Mapeamento geotécnico como base para o planejamento urbano e ambiental: município de Jaú (SP)

Valéria Lopes Rodrigues¹ & Oswaldo Augusto Filho¹

Resumo O trabalho discute os resultados da pesquisa direcionada à elaboração de mapa geotécnico do perímetro urbano e de sua área de expansão no município de Jaú (SP). O método de mapeamento aplicado baseia-se na utilização de geofatores para a classificação das áreas quanto ao grau de restrição à ocupação urbana, conforme proposto originalmente por Matula (1976). A classificação dos mapas em 1ª, 2ª, 3ª e 4ª Ordens segue a orientação de Mathewson & Font (1974). Em todo trabalho fez-se uso de Sistema de Informações Geográficas – SIG como ferramenta básica para armazenamento e análise dos dados de interesse, além da produção dos mapas em todas as etapas. A pesquisa insere-se no aprimoramento dos subsídios do meio físico para o planejamento urbano e municipal no território brasileiro, e em particular, nos Planos Diretores. Os estudos foram desenvolvidos na escala principal de trabalho de 1:10.000.

Palavras-chave: mapeamento geotécnico, planejamento urbano, SIG, Jaú/SP.

Abstract *Engineering geological mapping for urban and environmental planning: the case of Jaú city (SP).* The paper discusses the results of research focusing on the elaboration of engineering geological map comprising the urban perimeter and its expansion area in the Jaú city, located at São Paulo state, Brazil. The mapping method is based on the utilization of the geofactors to classify the restriction degree of urban occupation, such as originally proposed by Matula (1976). The concept of 1st, 2nd, 3rd and 4th Order maps is given by Mathewson & Font (1974). Geographic Information System – GIS was employed to store and analyze the concerned data and to produce the maps in all the stages of the work. The research aims to improve the inputs related to physical environment to the urban and municipal planning in the Brazilian territory detaching the Managing Plans. The studies are being carried out at the main scale of 1:10.000.

Keywords: engineering geological mapping, urban planning, GIS, Jaú/SP.

INTRODUÇÃO O crescimento das cidades no Brasil têm sido intenso nas últimas décadas, demandando medidas corretivas e de planejamento territorial na gestão das áreas urbanas e do município como um todo. Neste âmbito, a legislação federal exige que municípios com mais de 20 mil habitantes elaborem o seu plano diretor.

Muitas das experiências de elaboração e aplicação, deste instrumento de planejamento, já realizadas têm apresentado limitações diversas, e entre estas, a não consideração adequada dos aspectos do meio físico, em particular os de natureza geotécnica, de terrenos ocupados ou a serem ocupados pelas cidades.

O objetivo geral da pesquisa é contribuir para o desenvolvimento de instrumentos que ajudem no planejamento urbano e ambiental das cidades, sistematizando informações de natureza geológico-geotécnica numa base de dados digital e geo-referenciada, através de mapas e outras formas de consulta e análise.

Como objetivos específicos deste trabalho são propostos: (a) Elaborar o mapa geológico-geotécnico, para a área urbana e expansão do município de Jaú, com escala principal dos trabalhos 1: 10.000 e apresentação na escala 1:20.000, utilizando o conceito de geofatores proposto por Matula (1976) e outros métodos de ma-

peamento geotécnico, tendo como modelo as diretrizes elaboradas pelo Ministério das Cidades para fomentação do plano diretor; (b) Definir áreas restritas à ocupação descrevendo seus problemas e propondo soluções, quando as mesmas forem passíveis de aplicação; (c) Utilizar Sistemas de Informação Geográfica (SIG) como instrumento principal de coleta, armazenamento e análise dos dados de interesse; (d) Disponibilizar os mapas de trabalho e informações utilizadas na estruturação da base de dados digital, no intuito de serem utilizados como instrumento para o planejamento territorial de Jaú.

A escolha do município de Jaú como área de estudo justifica-se pelo seu potencial de demanda por instrumentos de planejamento territorial e urbano, por estar em fase de discussão e elaboração do seu Plano Diretor e também pela disponibilização, por diferentes órgãos e entidades, de diversos dados fundamentais para o desenvolvimento dos trabalhos propostos nesta pesquisa.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA Para elaboração deste trabalho foram pesquisadas várias metodologias de mapeamento geotécnico, principalmente aquelas ligadas ao planejamento urbano. Com tal pesquisa bibliográfica estudou-se e definiu-se a base teórica que

1 - Departamento de Geotecnia, EESC-Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos (SP), Brasil.
E-mails: valufscar@yahoo.com.br; oafilho@sc.usp.br

daria suporte ao trabalho.

A primeira escolha refere-se aos termos utilizados em cartografia, carta ou mapa. Para os produtos cartográficos deste trabalho será utilizado o termo Mapa, seguindo a classificação de Mathewson & Font (1974). Os documentos de outros autores, utilizados na pesquisa, apresentam o nome original de sua publicação.

Resumidamente, o valor do mapeamento geotécnico está no prévio estabelecimento de um modelo que expresse o conjunto de recursos, de condicionantes e fenômenos atuantes no meio físico, de modo que os mapas possam ter valor efetivo em ações disciplinadoras do uso do solo ou mesmo para ações preventivas de defesa civil (Mendes 2001).

Cartografia Geotécnica no Planejamento Urbano e Ambiental Uma das grandes utilidades da cartografia geotécnica é fornecer informações ao planejamento urbano e regional, determinando o melhor uso e ocupação possível à área estudada, e também promover a sustentabilidade ambiental, adequando as atividades antrópicas ao meio físico com o mínimo de danos.

O crescimento desordenado das cidades e as intensas atividades antrópicas, transformam o meio ambiente, causando problemas de natureza física, social e econômica. Neste contexto, a busca pela sustentabilidade nos municípios é cada vez maior, e para isto criam-se instrumentos de planejamento e gestão de políticas públicas.

Mathewson & Font (1974) alertaram para a necessidade de que as informações geológico-geotécnicas cheguem aos planejadores e políticos, de maneira que possam ser aplicadas diretamente à política administrativa de uso e ocupação do solo.

O mapeamento geotécnico pode fornecer informações essenciais ao planejamento urbano, tais como a seleção de área adequada à expansão urbana e/ou contribuição na obtenção de um plano urbano e regional respeitando e protegendo o ambiente de forma econômica (Mendes 2001).

Santos (2004) diz que o planejamento voltado à conservação ambiental e desenvolvimento sustentável é, por enquanto, mais um ideal utópico do que um paradigma, mais uma palavra da moda do que um conceito usado, ainda assim ressalta que esforços foram feitos como: (a) Criação da Comissão de Desenvolvimento Sustentável (CDS), da Organização das Nações Unidas (ONU), que assegura compromissos assumidos na Rio-92; (b) Criação da Rio+5, estimulando a aplicação dos princípios da Agenda 21; (c) O desenvolvimento das Agendas 21 locais em 1200 municípios.

A política de desenvolvimento urbano, executada pelo poder público municipal, conforme diretrizes gerais fixadas em Lei, têm por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem-estar de seus habitantes, definindo que o instrumento básico desta política é o Plano Diretor (Oliveira 2001).

Análise Multi-Critério na Cartografia Geotécnica A análise de multi-critério é uma ferramenta de apoio à decisão que deve ser vista como uma atividade

com dois componentes principais: a construção do modelo e a gestão do processo de tomada de decisões, a figura 1 mostra um fluxograma do processo de tomada de decisão por análise de multi-critério.

Figura 1 - Procedimento do método de multi-critério.

De acordo com Parizi (2003), este modelo apresenta flexibilidade na combinação entre mapas, possibilitando a utilização de uma escala de valores em função do grau de significância relativo de cada critério (atributo) envolvido na análise.

Entre os modelos de análise multi-critério, a soma ponderada atribui pesos para cada critério (atributo) e em seguida, para cada ação avaliada (finalidade) realiza um somatório do produto do peso pela avaliação do atributo, este valor obtido é dividido pela soma dos pesos atribuídos como indica a equação 1 (Soares inédito).

$$S^j = \frac{\sum_{i=1}^n E_i^j \cdot p_i}{\sum_{i=1}^n p_i} \quad (1)$$

p_i = Coeficiente de ponderação

E_i^j = Avaliação (valor) do atributo i para a ação j

S_j = Soma ponderada da ação j

ÁREA DE ESTUDO Jaú possui uma área de 688 Km² e altitude média de 522 metros, está localizada no centro-oeste do Estado de São Paulo, na Latitude Sul 22° 17' 44" e Longitude Oeste 48° 33' 30".

A área estudada é a região urbanizada e área de expansão urbana, do município totalizando 70,3 Km². Esta área foi escolhida por ser passível da aplicação de uma metodologia para planejamento urbano, e também pela disponibilidade de um bom acervo fotográfico e dados geotécnicos ainda não utilizados. A figura 2 ilustra a localização do município de Jaú no estado de São Paulo e a área de estudo no município.

MÉTODO E ETAPAS DE TRABALHO Com base na revisão elaborada e no escopo desta pesquisa, diretamente relacionada ao planejamento urbano e a utilização de SIG como ferramenta básica de análise,

Figura 2 - Localização da área de estudo.

optou-se por adotar, como referência geral para o desenvolvimento do trabalho, o método de mapeamento geotécnico inicialmente proposto por Matula (1976).

Este autor fez uso de geofatores para a região metropolitana de Bratislava (antiga Tchecoslováquia). Devido às condições ambientais distintas desta região em relação às brasileiras, a aplicação deste método em nosso território requer adequações.

Já aplicado no município de Presidente Prudente (SP) por Godoy (1989), tal método sofreu modificações, que para o presente estudo foram avaliadas e adaptadas segundo os objetivos da pesquisa e as exigências da utilização de programas de SIG.

Assim, com base nestes aspectos, foram definidos os atributos geotécnicos e ambientais, que interferem na ocupação urbana, positiva ou negativamente, denominados de geofatores.

A definição dos geofatores depende das características da área a ser estudada e também da finalidade da pesquisa. Neste trabalho foram definidos três grupos de geofatores: (a) Grupo A: relacionados aos fenômenos de geodinâmica externa, ou seja, os processos como erosão pluvial e inundações que podem acarretar graves problemas para a urbanização; (b) Grupo B: são os que determinam as propriedades do terreno, descrevendo as características dos materiais (rochas e solos), do relevo local e das condições de drenagem e água subterrânea; (c) Grupo C: relacionados às áreas que contenham jazidas minerais, às Áreas de Proteção Permanente (APP), às Reservas Ambientais e às áreas de recarga de aquíferos.

A classificação dos mapas foi feita de acordo com Mathewson e Font (1974). Estes pesquisadores norte-americanos dividiram os documentos cartográficos em quatro ordens: (a) Mapas de 1ª Ordem: são os mapas básicos de observação, contém informações topográficas, dos solos e das rochas; (b) Mapas de 2ª Ordem: são os mapas que tratam diretamente das características físicas dos solos (resistência, declividade, etc), e da avaliação dos processos geodinâmicos (erosões, inundações, etc); (c) Mapas de 3ª Ordem: determinam as áreas adequadas para um propósito específico de uso do solo, suscetibilidade ou risco; (d) Mapas de 4ª Ordem: uso do solo para o planejamento, mapas

traduzidos para serem aplicados por gestores do uso do solo e do planejamento municipal.

Com base nestes princípios gerais foram definidas seis etapas principais de trabalho, para o desenvolvimento da pesquisa: (a) Definição dos geofatores a serem aplicados na área de estudo; (b) Estruturação da base de dados e elaboração dos Mapas de 1ª Ordem, MDT e Mapas de 2ª; (c) Levantamentos de campo; (d) Definição do modelo de ponderação dos geofatores, e elaboração dos Mapas de 3ª Ordem; (e) Ensaios geotécnicos e complementação dos levantamentos de campo; (f) Elaboração do Mapa de 4ª Ordem e das Diretrizes para o Planejamento.

RESULTADOS Os resultados obtidos nesta pesquisa são descritos nos itens deste tópico, sendo muitos deles ilustrados através de mapas. A classificação dos mapas foi feita de acordo com Mathewson e Font (1974) descrita anteriormente no tópico 4 (Método e etapas da pesquisa).

Definição dos Geofatores A escolha dos geofatores depende das características específicas do meio físico, dos aspectos geotécnicos presentes na área de estudo e da finalidade do trabalho, neste caso, a elaboração de um instrumento para subsidiar o planejamento urbano e ambiental.

Considerando os trabalhos anteriores que se basearam na abordagem proposta por Matula (1976) e os condicionantes geotécnicos presentes na área, foram definidos geofatores específicos para cada grupo, como mostra a tabela 1.

Mapas de 1ª Ordem Os mapas de 1ª Ordem serviram de base aos demais produtos cartográficos. Neste trabalho eles são formados pelos documentos topográficos, hidrográficos e geológicos, as fotografias aéreas e as informações geotécnicas, (disponíveis ou produzidas durante a pesquisa). A interpretação e análise dos mapas de 1ª Ordem fornecem as condições para a produção dos mapas das próximas etapas.

Assim, têm-se como Mapas de 1ª Ordem: Base Cartográfica (Topográfico, Hidrográfico, Microbacias e fotografias aéreas digitais), Mapa de Unidades Geológicas e Mapa de Documentação.

Tabela 1 - Geofatores propostos para área.

Grupos		Geofatores
A	Processos de Geodinâmica Externa	Densidade de sulcos e ravinas
		Densidade de escorregamentos
		Densidade de inundações
B	Características dos solos e das rochas	Materiais inconsolidados
		Profundidade do topo rochoso
	Relevo	Declividade
		Densidade de encostas côncavas
	Hidrogeologia	Densidade de drenagem
C	Áreas a serem preservadas	Áreas de proteção ambiental

Tabela 2 - Divisão das microbacias na área de estudo.

Nº	Curso d'água	Área (km²)	Ordem
1	Córrego Bom Retiro	2,2	1ª
2	Córrego Santo Antônio	7,3	3ª
3	Córrego da Figueira	9,2	2ª
4	Córrego dos Pires	16,2	2ª
5	Córrego São José	4,8	1ª
6	Córrego Santa Cruz	2,5	2ª
7	Córrego Jataí	6,4	1ª
8	Rio Jaú	14,3	5ª
9	Córrego da Barra Mansa	7,3	*

*Não possui drenagem perene na área de estudo.

BASE CARTOGRÁFICA A base cartográfica foi produzida a partir da digitalização das folhas topográficas na escala 1:10.000 (IGC, 1980), abrangendo as curvas de nível, pontos cotados e a hidrografia na área estudada.

A digitalização foi executada manualmente no programa *CadMap*, foram sobrepostos os arquivos digitais finalizados, aos fotomosaicos, tanto de 2000 quanto de 2005, gerando duas bases de períodos distintas.

A área de estudo foi dividida em microbacias pertencentes à bacia do Rio Jaú. Esta divisão facilita a localização dos dados e também a sintetização dos resultados. Em todos os mapas apresentados as microbacias são destacadas, inclusive na legenda.

A tabela 2 apresenta as microbacias, seus cursos d'água principais, suas áreas e ordens respectivas segundo o critério de Strahler (1952) apud Christofolletti (1980).

MAPA DE DOCUMENTAÇÃO Este mapa destaca os pontos de interesse contendo as informações coletadas junto a órgãos públicos e profissionais da área geotécnica (poços profundos e de inspeção, e sondagens à percussão), e produzidas (pontos de nascentes, afloramentos rochosos, observação de campo e de coleta de amostras).

As primeiras visitas ao campo foram para o reconhecimento da área, a verificação dos contatos geológicos e o cadastro de pontos de afloramentos rochosos. As coordenadas UTM destes locais foram levantadas utilizando GPS portátil (erro médio 10 m) e foram registradas as profundidades médias observadas para o topo rochoso, através de trenas métricas (sempre com dois operadores).

Também foram locados os pontos de nascentes que se encontram dentro da área de estudo. Além do registro das coordenadas dos pontos com GPS, fez-se uma breve descrição de cada local, a fim de se avaliar suas condições ambientais frente à legislação vigente (Lei No 7.803, de 18 de julho de 1989).

Foram coletados dados de poços profundos para exploração de água subterrânea e poços de inspeção mais rasos, utilizados na investigação de poços de

gasolina que continham descrição geológica.

Os boletins dos perfis dos poços, muitas vezes, não dispunham da localização geográfica do furo, assim optou-se por ir a cada local para registro das coordenadas no sistema UTM-SAD69, adotado nos produtos cartográficos da na pesquisa. Utilizou-se um *Global Positioning System* (GPS) portátil. Adotou-se a precisão média de 10 metros para o registro das coordenadas. As cotas das bocas dos poços foram obtidas com base no MDT, elaborado a partir da base topográfica 1:10.000.

Os locais com sondagens à percussão foram locados na malha viária utilizando-se o programa *CAD-Map*, e posteriormente, através da ferramenta *Surface Tools (Arcview 3.2a)*, extraíram-se do MDT as cotas e as coordenadas das bocas dos furos. Através dos boletins de sondagens identificaram-se as profundidades do NA e do topo rochoso (basalto), quando atingido pela perfuração.

Ao final do desenvolvimento do mapa de 4ª Ordem verificou-se a validade das classes de restrições obtidas frente ao cenário real da área estudada. A tabela 3 lista os pontos cadastrados no estudo.

Tabela 3 - Pontos de interesse cadastrados durante a pesquisa.

Tipo de dado	Quantidade de pontos
Perfis de poços profundos	21
Perfis de poços de inspeção	19
Sondagens à percussão SPT	134
Nascentes	8
Afloramentos rochosos	6
Visitas de campo	21
Locais de amostragem	6
Vista final de validação	14
total	229

MAPA DE UNIDADES GEOLÓGICAS As Unidades Geológicas foram digitalizadas (*Arcview 3.2a*) a partir do Mapa Geológico do Estado de São Paulo escala 1:250.000 (DAEE 1982). Além dos depósitos aluvionares cenozóicos, ocorrem duas formações principais na área de estudo, a Serra Geral e a Itaqueri.

A Formação Serra Geral (Grupo São Bento) é caracterizada pelos derrames de lavas eruptivas superpostas que abrangem áreas enormes com camadas espessas, tendo coloração de cinza a negra e uma textura afanítica (minerais não visíveis a olho nu). É composta essencialmente por basaltos que apresentam espessura individual bastante variável, desde poucos metros a mais de 50 m e extensão individual que pode ultrapassar a dez quilômetros. Neles, intercalam-se arenitos com as mesmas características dos arenitos da Formação Botucatu, a maioria com estruturas típicas de dunas e outros indicando deposição subaquosa. Também estão presentes rochas intrusivas básicas com diques e sills de diabásio.

A Formação Itaqueri de idade cretácea-terciária constitui-se de um pacote de até 120 metros de espessura, de camadas alternadas de arenitos com cimento argiloso, folhetos e conglomerados, estes situados tanto na base quanto no interior do pacote. Os arenitos têm granulação variada, podem ser argilosos e apresentar intensa silicificação. Os clastos dos conglomerados têm composição variada, provenientes de fora da bacia de deposição. Estes sedimentos foram acumulados em ambiente de elevada energia, sujeitos a mudanças bruscas de velocidade das águas, possivelmente em depósitos de leques aluviais em clima de acentuada aridez (Ponçano *et al.* 1981).

Recobrando estas duas unidades geológicas, ocorrem as coberturas cenozóicas compostas basicamente de depósitos aluvionares associados às maiores drenagens presentes na área de estudo.

Foi realizada uma averiguação não sistemática nos trabalhos de campo, visando uma melhor adequação dos contatos entre as principais formações geológicas presentes na área de estudo, compensando em parte a grande diferença entre as escalas do mapa geológico utilizado como base e as adotadas na pesquisa. Salienta-se também que este mapa foi considerado um produto cartográfico intermediário, utilizado principalmente para produção do Mapa de Materiais Inconsolidados.

Modelo Digital de Terreno - MDT O MDT é uma representação numérica do relevo da área de estudo, que além da visualização 3D, permite a produção de outros mapas como de declividade e de curvatura de encostas, classificados como mapas de 2ª Ordem neste trabalho.

O MDT foi elaborado a partir da base topográfica 1:10.000, utilizando-se o módulo *topogrid* do *Arcinfo 7.1*, que considera as curvas de nível, os pontos cotados, as linhas drenagem e o seu sentido de fluxo. Adotou-se um *grid* de 5m para elaboração do MDT. Posteriormente este *grid* foi convertido para o formato

TIN (*Triangular Irregular Network*) dentro do *Arcview 3.2a*, que permite sua visualização 3D e a produção do mapa de declividade.

Mapas de 2ª Ordem Os Mapas de 2ª Ordem são analíticos, descrevem, classificam e agrupam as características geodinâmicas, geotécnicas, geomorfológicas, hidrogeológicas e ambientais, sendo representados neste trabalho pelos geofatores A, B e C. Todas as análises e os produtos cartográficos associados à elaboração destes mapas foram realizados utilizando o SIG *Arcview 3.2a*.

Os mapas de 2ª Ordem produzidos caracterizam os geofatores A, B e C, considerados nas análises finais de restrições geotécnicas e ambientais da área de estudo.

MAPAS DE DENSIDADE Para elaboração dos mapas de densidade, estabeleceu-se uma malha regular com espaçamento de 1km (*grid*), cobrindo a área estudada (Fig. 3).

As densidades foram calculadas considerando-se a razão entre o comprimento linear, a área ou o número de ocorrências de um determinado geofator e a área de cada célula desta malha (1 km²). Os valores de densidade obtidos foram associados aos centros destas células, gerando uma malha de pontos com espaçamento de 1 km. Por fim estes pontos foram interpolados, utilizando o método do inverso do quadrado da distância, gerando o mapa final de densidade do geofator analisado (arquivo *raster* com *grid* de 5m).

Os valores de densidade após a interpolação foram classificados através da função *natural breaks*, (quebras naturais). Este método de classificação identifica os pontos de quebra entre as classes de uma população de dados, usando uma fórmula estatística baseada na variabilidade (otimização de *Jenks*). É um método

Figura 3 - Grid utilizado na elaboração dos mapas de densidade.

bastante complexo, porém, basicamente ele minimiza a soma da variância dentro de cada uma das classes, encontrando assim os agrupamentos e os padrões inerentes à população de dados analisada.

A classificação da informação é feita em quantas classes o usuário desejar, no caso optou-se por 4 classes, seguindo o conceito de restrições à ocupação como baixa, média, alta e muito alta, da menor para a maior densidade, obtida em cada classe do geofator. Ele é um dos métodos de classificação de dados disponível no Arcview 3.2a.

A tabela 4 mostra a distribuição em percentagem de área das classes de restrição obtidas nos mapas de densidades, relação à área total estudada. O mapa de densidade de inundações é apresentado na figura 4, como exemplo.

MAPA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS A definição das principais unidades de materiais inconsolidados presentes na área estudada baseou-se na classificação de perfis de alteração proposta por Vaz (1996) que utiliza critérios genéticos (solos residuais e transportados) e parâmetros da mecânica dos solos e rochas (textura, índices físicos, grau de alteração, fraturamento, resistência, etc.).

Numa primeira etapa, os mapas de unidades geológicas e o de declividade, reclassificada para os intervalos de 0-30% e maior que 30%, foram sobrepostos, resultando na identificação de quatro grandes unidades de materiais inconsolidados: depósitos aluvionares (DA), solo residual de arenito da Formação Itaqueri (RI) e solo residual dos basaltos e intrusivos associados da Formação Serra Geral, subdividido nos tipos 1 e 2 (R1SG e R2SG) em função da declividade ($< 30\%$ ou $\geq 30\%$) que reflete diretamente no grau de evolução pedológico e características gerais do perfil de alteração (estrutura, textura, resistência, etc.).

Na sequência dos trabalhos de caracterização e mapeamento dos materiais inconsolidados, foram realizados levantamentos de campo, com a descrição de perfis de alteração expostos nos taludes de corte; análise das investigações geotécnicas adicionadas à base de dados do projeto (sondagens a percussão, poços rasos e profundos); amostragem dos solos e execução de ensaios de caracterização geotécnica em laboratório.

A tabela 5 apresenta uma síntese das características geológico-geotécnicas das unidades de materiais inconsolidados mapeados na área de estudo e a distribuição em percentagem de área ocupada por cada unidade em relação à área total (70,3 km²). A figura 5 ilustra o mapa obtido.

Ensaios geotécnicos Foi executada uma campanha de amostragem expedita (seis locais) para a realização de ensaios de caracterização geotécnica em laboratório, objetivando complementar as informações de interesse para a avaliação do comportamento potencial dos materiais inconsolidados identificados na área de estudo frente à implantação de obras civis urbanas.

Os ensaios geotécnicos realizados foram: Análise Granulométrica Conjunta (NBR-6502), Massa Específica dos Sólidos (NBR08) e Limites de Atterberg (ABNT métodos de ensaios MB-30 e MB31). Utiliza-

Tabela 4 - Percentagem de área ocupada pelas classes de restrição em relação à área total estudada, para os mapas de densidade.

Mapas de densidade	Classes de restrição			
	baixa	média	alta	muito alta
Densidade de sulcos e ravinas (m/km ²)	79	17	2	2
Densidade de escorregamentos (m ² /km ²)	75	18	5	2
Densidade de inundações (ocorrências/km ²)	86	11	2	1
Densidade de encostas côncavas (m ² /km ²)	3	30	50	16
Densidade de drenagem (m/km ²)	42	40	17	1

ram-se três métodos de classificação para as amostras: classificação granulométrica pelo diagrama triangular (Triângulo e Feret), classificação unificada dos solos (SUCS) e classificação HRB (Rodoviária).

Na primeira, os solos foram classificados textualmente levando em conta as frações de argila, silte e areia de cada um, que foram lançadas em um diagrama triangular, na segunda os solos são classificados quanto à textura e os resultados dos limites de Atterberg, além de caracterizar o solo quanto a utilização como base ou sub-base de pavimentos. Na tabela 6 são descritas as classes de solo segundo a classificação granulométrica, a SUCS e a HBR obtidas para as amostras ensaiadas.

MAPA DE PROFUNDIDADE DO TOPO ROCHOSO Os dados de poços com a identificação do topo rochoso, as sondagens à percussão que atingiram profundidades com valores impenetráveis ao ensaio SPT e as visitas de campo com a identificação de afloramentos rochosos, foram agrupados totalizando 92 pontos de amostragem. Estes dados foram interpolados, utilizando o método do inverso da distância ao quadrado e uma malha (*grid*) de 5m.

Os quatro intervalos de profundidades do topo rochoso foram estabelecidos com base nas restrições geotécnicas potenciais na execução de obras de infraestrutura urbana que necessitam de escavação (sistemas viários e de saneamento, por exemplo). A tabela 7 apresenta a distribuição em área das classes de profundidade (metros) do topo rochoso consideradas.

MAPA DE DECLIVIDADE O Mapa de Declividade foi elaborado a partir do MDT no formato TIN, utilizando a função *derive slope*, criando-se uma grade numérica (*grid*) de declividade em graus, que posteriormente foi classificada em quatro intervalos de classes de declividades expressas em percentagem.

Estas quatro classes foram estabelecidas mantendo-se o mesmo número de níveis de restrição adotados nos demais mapas de 2ª Ordem (geofatores) elaborados e considerando-se as restrições potenciais ao parcelamento dos solos, conforme proposto pelo IPT (1991).

A tabela 8 apresenta a distribuição em área obtida destas classes de declividade, destacando suas prin-

Figura 4 - Mapa de densidade de inundações.

Tabela 5 - Síntese das características geológico-geotécnicas dos materiais inconsolidados mapeados.

Material inconsolidado	Sigla	Características geológico-geotécnicas	% de área ocupada
Depósitos aluvionares	DA	Solo transportado, cuja distribuição é governada por cursos d'água e pelo relevo (baixas declividades), pode possuir matéria orgânica, reduzindo sua capacidade de suporte, sendo um solo com alta restrição à ocupação.	2
Solo residual da Formação Itaqueri	RI	Textura arenosa, areno-argilosa ou argilo-arenosa; de cor avermelhada originário do arenito, suscetível à processos erosivos.	7
Solo residual da Formação Serra Geral	R1SG	Horizonte de solo residual maduro pouco espesso, ocorrência de horizonte de solo residual jovem, e eventualmente do topo rochoso a profundidades reduzidas (<5m). Presença de estruturas reliquias da rocha mãe, cores variadas, textura argilosa com fragmentos de rocha.	9
	R2SG	Horizonte de solo residual maduro espesso (>5m). estrutura homogênea, poroso, laterizado. Textura argilosa.	82

Figura 5 - Mapa de Materiais Inconsolidados.

Tabela 6 - Classificação das amostras por três métodos (granulometria, SUCS e HBR).

AMOSTRAS	Tipo de solos	Classificação Granulométrica	Classificação Unificada dos Solos (SUCS)	Classificação Rodoviária (HBR)		
				Grupos	Classificação Geral	Qualidade para uso como Sub-leito
E1	RI	Areia argilosa	SC	A-2-4	Areia argilosa	Bom
E2	RI	Argila arenosa	SM	A-4	Solo Siltoso	Regular
E3	R2SG	Argila	CL com areia	A-5	Solo Siltoso	Regular
E4	R2SG	Argila	CL com areia	A-7-6	Solo Argiloso	Ruim
E5	R2SG	Argila	CL com areia	A-7-6	Solo Argiloso	Ruim
E6	R2SG	Argila	CL com areia	A-7-5	Solo Argiloso	Ruim

cipais restrições potenciais ao parcelamento do solo.

MAPA DE RESTRIÇÕES AMBIENTAIS Este mapa delimita as áreas que tenham restrições ambientais, garantidas por Lei. Para o local em estudo existem dois tipos de áreas com restrições ambientais legais: (a) APP (Lei Nº 7.803, de 18 de julho de 1989): é a faixa mínima de vegetação necessária à proteção dos recursos hídricos, da biodiversidade e do solo. Ela é delimitada às margens dos cursos d'água (nascentes, córregos, rios, lagos). Na área de estudo foram delimitadas as APP em toda malha hidrográfica através do comando *buffer* (define uma área de influência em relação a qualquer representação cartográfica do mapa). No caso, as representações cartográficas são os córregos, rios e lagos; (b) Reserva Particular de Patrimônio Natural (RPPN) Decreto Nº. 1.922 (BRASIL1996): é uma área de domínio privado a ser especialmente protegida, por iniciativa de seu proprietário, mediante reconhecimento do Poder Público, por ser considerada de relevante importância pela sua biodiversidade, ou pelo seu aspecto paisagístico, ou ainda por suas características ambientais que justifiquem ações de recuperação. Existe uma RPPN no município de Jaú localizada na área de expansão urbana, dentro da Fazenda Amadeu Botelho. Foi criada em 2000 pela Portaria 19, é formada por bioma de Mata Atlântica e sua área total é de 1,4 Km².

Modelo de Ponderação dos Geofatores Antes da elaboração dos mapas de 3ª e 4ª Ordens foi necessário definir o modelo de ponderação que será utilizado na hierarquização entre os grupos de geofatores A, B e C e os geofatores utilizados em cada grupo. O modelo de ponderação criado baseou-se na análise multi-critério (item 2.2) com a definição de pesos considerando a importância relativa entre os geofatores e as classes de geofatores dos grupos A e B.

Para os geofatores A, foi dada maior importância para os processos de dinâmica externa mais frequentes e com maiores danos potenciais para a ocupação urbana na

Tabela 7 - Distribuição em área das classes de profundidade de topo rochoso.

Nível de Restrição	Classes (m)	Área ocupada pela classe (Km ²)	% da área total de estudo
Baixa	>10	36,7	52,2
Média	5-10	18,6	26,4
Alta	2-5	14,8	21,0
Muito Alta	0-2	0,3	0,4
Área Total		70,3 Km ²	

Tabela 8 - Classes de declividades por área.

Restrição	Declividade (%)	Área (Km ²)	% da área total	Restrições ao uso do solo (IPT, 1991)
Baixa	0 - 6	40,0	57	Poucas restrições
Média	6 - 15	25,3	36	Identificação dos processos erosivos pluviais.
Alta	15 - 30	4,4	6	Maior dificuldade para serviços de terraplenagem, implantação do sistema viário, drenagem, etc.
Muito Alta	>30	0,7	1	Intensificação dos movimentos de massa e a ocupação esta sujeita à restrições da Lei Lehman*
Área Total		70,3 Km ²		

* Lei Federal 6.766/79

área analisada. Os geofatores B foram analisados conforme sua relevância enquanto característica do meio físico para o planejamento urbano. A tabela 9 sintetiza os critérios de hierarquização adotados para os geofatores A e B.

Com base na hierarquização apresentada na tabela 9 e no trabalho de Parizi (2003), foram estabele-

Tabela 9 - Síntese dos critérios hierarquização dos geofatores A e B.

Grupo	Geofator	Importância relativa	Análise
A	Densidade de sulcos e ravinas	Média	Processos relativamente frequentes e afetando vários locais. Podem induzir escorregamentos e inundações (pelo assoreamento de drenagens).
	Densidade de escorregamentos	Baixa	Processos pouco frequentes e afetando áreas restritas, associadas muitas vezes a evolução de processos erosivos de maior porte.
	Densidade de inundações	Alta	Processos bastante frequentes e com um histórico de danos sociais e econômicos significativos. Podem induzir erosão e escorregamentos marginais às drenagens.
B	Materiais Inconsolidados	Média	Pode impor restrições às obras urbanas (solos aluvionares, por exemplo), além de controlar processos de erosão e escorregamentos.
	Profundidade do Topo Rochoso	Baixa	Impõe restrições para serviços de terraplenagem e implantação de sistemas de adução e saneamento. Pouco significativo na área estudada (predominam solos profundos).
	Declividade	Alta	Impõe características específicas ao projeto urbanístico (sistema viário, disposição dos lotes, terraplenagem, etc), além de condicionar a dinâmica de processos de erosão e escorregamento. Pode impor restrições legais (Lei Lehman).
	Densidade de encostas côncavas	Média	Influencia diretamente o escoamento superficial e consequentemente, a dinâmica dos processos de erosão e inundação.
	Densidade de drenagem	Média	Impõe restrições ao projeto urbanístico (terraplenagem, sistema viário) e influencia diretamente a dinâmica das inundações.

cidos os pesos em percentagem para os geofatores dos grupos A e B, que foram ponderados em separado.

Para as classes de cada geofator adotaram-se os pesos de 1 a 4, seguindo a hierarquia dos agrupamentos de baixa, média, alta e muita alta restrição, definidos nos mapas de 2ª Ordem. Os geofatores C, por representarem restrições ambientais legais, foram considerados igualmente como áreas de muito alta restrição, sendo sobrepostos aos demais geofatores no mapa final de restrições geotécnicas e ambientais elaborado. (Mapa de 4ª Ordem).

As equações 2 e 3 descrevem as fórmulas de ponderação adotadas, segundo o modelo da Soma Ponderada, proposta por Soares inédito.

$$\text{GeofatoresA} = \frac{PC_{drav} \times 40 + PC_{desc} \times 10 + PC_{dinun} \times 50}{100} \quad (2)$$

$$\text{GeofatoresB} = \frac{(PC_{mi} \times 20) + (PC_{tr} \times 10) + (PC_{decl} \times 30) + (PC_{denc} \times 20) + (PC_{ddren} \times 20)}{100} \quad (3)$$

Onde:

10,20,30,40 e 50 são os pesos do geofator no grupos A e B.

PC = Peso das classes de restrição do geofator (1,2,3 e 4)

drav = densidade de sulcos e ravinas

desc = densidade de escorregamentos

dinun = densidade de inundações

mi = materiais inconsolidados

tr = profundidade do topo rochoso

decl = declividade

denc = densidade de encostas côncavas

ddren = densidade de drenagem

Mapas de 3ª Ordem Os mapas de 3ª Ordem representam a síntese cartográfica das restrições geotécnicas e ambientais considerando cada um dos três grupos de geofatores A, B e C e suas respectivas classes de restrição em separado.

Para os grupos de geofatores B e C, os mapas de 2ª Ordem de cada um dos geofatores considerados, agrupados segundo as quatro classes de restrição (baixa, média, alta e muito alta), foram convertidos em arquivos matriciais (grid) com celular de 5m. a cada célula foi atribuído o peso correspondente a classe de restrição do geofator analisado.

Os arquivos matriciais gerados pelo procedimento acima foram somados, seguindo as equações de ponderação 2 e 3 (apresentadas no item 5.5), dentro da função *map calculator* disponível no módulo *spatial analyst* do *Arcview 3.2a*.

Os arquivos finais obtidos pela somas ponderadas foram classificados em quatro intervalos de restrição ambiental e geotécnica (baixa, média, alta e muito alta), resultando nos mapas de 3ª Ordem síntese das restrições geotécnicas e ambientais dos geofatores A e B.

O mapa de 3ª Ordem síntese das restrições geo-

técnicas e ambientais, associadas aos geofatores C, foi obtido pela totalização das áreas de APP e de preservação ambiental (RPPN – Amadeu Botelho), classificadas como muito alta restrição.

As tabelas 10, 11 e 12 apresentam a distribuição em área das classes de restrições dos mapas de 3ª Ordem dos geofatores A, B e C respectivamente.

Tabela 10 - Áreas ocupadas pelas classes de restrição para os geofatores A, dentro de cada microbacia.

GEOFATORES A			% da área da classe de restrição por microbacia			
Nº	Microbacia	Área (km²)	Baixa	Média	Alta	Muito Alta
1	Córrego Bom Retiro	2,2	72,2	16,9	5,8	5,1
2	Córrego Santo Antônio	7,3	34,3	39,3	9,4	17,0
3	Córrego da Figueira	9,2	95,3	4,4	0,3	0,0
4	Córrego dos Pires	16,2	54,8	24,9	17,3	3,0
5	Córrego São José	4,8	95,4	3,2	1,4	0,0
6	Córrego Santa Cruz	2,5	64,2	17,2	18,6	0,0
7	Córrego Jataí	6,4	88,3	8,9	2,8	0,0
8	Rio Jaú	14,3	58,2	27,7	11,6	2,5
9	Córrego da Barra Mansa	7,3	89,0	7,5	2,8	0,7

Tabela 11 - Áreas ocupadas pelas classes de restrição para os geofatores B, dentro de cada microbacia.

GEOFATORES B			% da área da classe de restrição por microbacia			
Nº	Microbacia	Área (km²)	Baixa	Média	Alta	Muito Alta
1	Córrego Bom Retiro	2,2	31,9	39,4	25,7	2,7
2	Córrego Santo Antônio	7,3	5,3	26,7	38,7	29,4
3	Córrego da Figueira	9,2	45,5	50,2	3,6	1,2
4	Córrego dos Pires	16,2	49,1	36,5	12,8	1,7
5	Córrego São José	4,8	48,1	26,8	14,9	11,0
6	Córrego Santa Cruz	2,5	8,4	34,6	46,1	12,0
7	Córrego Jataí	6,4	52,9	33,4	12,2	1,0
8	Rio Jaú	14,3	5,8	46,6	32,1	15,1
9	Córrego da Barra Mansa	7,3	99,4	0,8	0,0	0,1

Tabela 12 - Áreas ocupadas pelas classes de restrição para os geofatores C, dentro de cada microbacia.

Nº	Microbacia	Área (km²)	área Geofator C (km²)	% da área da microbacia
1	Córrego Bom Retiro	2,2	0,08	3,6
2	Córrego Santo Antônio	7,3	1,04	14,3
3	Córrego da Figueira	9,2	0,25	2,7
4	Córrego dos Pires	16,2	0,47	2,9
5	Córrego São José	4,8	0,13	2,6
6	Córrego Santa Cruz	2,5	0,12	4,7
7	Córrego Jataí	6,4	0,18	2,7
8	Rio Jaú	14,3	1,81	12,6
9	Córrego da Barra Mansa	7,3	0,00	0,0

Mapa de 4ª Ordem O mapa de 4ª Ordem representa o produto cartográfico síntese considerando simultaneamente os três grupos de geofatores A, B e C (mapas de 3ª Ordem) e foi denominado de Mapa de Restrições Geotécnicas e Ambientais. Para melhor visualização das áreas de restrições geotécnicas e ambientais, este mapa será apresentado em duas Figuras: Mapa síntese de 3ª Ordem dos geofatores A (Fig. 6) e Mapa síntese de 3ª Ordem dos geofatores B e C (Fig. 7).

As classes de restrições associadas ao grupo de geofatores A refletem o quadro atual da dinâmica dos principais processos superficiais atuantes na área estudada (inundação, erosões lineares pluviais e escorregamentos), indicando os locais que merecem mais atenção sob o ponto de vista da implantação de medidas corretivas e mitigadoras por parte dos gestores públicos (Fig. 6).

Figura 6 - Mapa síntese de 3ª Ordem dos Geofatores A.

Figura 7 - Mapa síntese de 3ª Ordem dos Geofatores B e C.

Como os dois grupos de geofatores B e C estão diretamente relacionados às restrições geotécnicas e ambientais predisponentes para a implantação de novos empreendimentos urbanos, foi elaborado um quadro síntese (Tab. 13) com as quatro classes de restrição (baixa, média, alta e muito alta) associadas a estes geofatores e as respectivas diretrizes e recomendações gerais para a sua ocupação.

Para a verificação do Mapa de 4ª Ordem fez-se um levantamento de campo final, percorrendo toda a área de estudo. Esta avaliação teve por objetivo a constatação dos

resultados do mapa final frente à realidade, verificando-se assim a eficiência do método utilizado. Tais observações de campo corresponderam ao objetivo referido, mostrando que as áreas apontadas no Mapa de Restrições Geotécnicas e Geoambientais representam o cenário real da área de estudo frente aos geofatores utilizados.

DISCUSSÕES De maneira geral, analisando-se a percentagem de área ocupada por processos muito alta restrição, a microbacia mais afetada é a do Córrego

Tabela 13 - Síntese dos geofatores B e C.

Classes	Características do meio-físico e ambientais	Recomendações
1	Solo R2SG. Relevo Suave com declividades entre 0-6%. Baixas densidades de: drenagem e de curvatura de encostas (côncavas), topo rochoso variável acima de 10 metros.	Áreas recomendadas para instalação de equipamentos urbanos tais como: loteamentos residenciais e industriais. Com acompanhamento técnico e laudos geotécnicos específicos. Com planejamento da infra-estrutura. Atenção principal na drenagem de águas pluviais, evitando alagamentos e erosões por solapamento de solo.
2	Solos R2SG e RI: Relevo Suave com declividades entre 0-6%. Médias densidades de: drenagem e de curvatura de encostas (côncavas), topo rochoso variável acima de 5 metros.	
3	Solos R2SG e R1SG: Declividades entre 0-30%. Densidades de drenagem variando de Médias à Muito Altas e densidade de curvatura de encostas (côncavas) Altas e muito Altas. Topo rochoso variável acima de 2 metros.	Áreas passíveis de uso urbano com acompanhamento técnico e laudos geotécnicos específicos. Além planejamento da infra-estrutura, maior cuidado com sistemas de drenagem, principalmente quanto à dissipação de energia em drenagens superficiais, evitando problemas com erosões lineares. Atenção nos projetos com corte e aterro (análise cuidadosa do solo), mesmo com declividades relativamente baixas, a má orientação nesses tipos de projetos podem acarretar problemas com colapso ou deslizamentos.
4	Solos R2SG e DA: Relevo acidentado com declividades maiores que 15% ou muito plano com declividades menores que 2% (inundações). Altas e muito Altas densidades de: drenagem e de curvatura de encostas (côncavas), topo rochoso raso ao longo do Rio Jaú, variando de 0-5 metros, ao longo das demais é se torna muito variável (0-80 m).	Evitar ocupação, principalmente nas áreas de várzeas e encostas íngremes. Utilização como área de preservação e recuperação da paisagem natural e/ou áreas de lazer, com intervenções direcionadas e orientadas. Devem ser realizados laudos geotécnicos e geoambientais seguindo as restrições legais.

Santo Antônio, isso se deve principalmente a concentração de sulcos em uma área expressiva.

As demais microbacias possuem áreas de menor proporção para restrição muito alta, mas para a classe de alta restrição se destacam as Microbacias dos Córregos Santa Cruz e dos Pires, esta última com alta densidade a inundações.

As microbacias dos Córregos da Figueira e do São José são as que apresentam os melhores panoramas, com média de 95 % de suas áreas com baixa restrição aos geofatores A. Sendo a primeira uma microbacia já urbanizada, não possui muitas áreas com solo exposto, não tendo deflagração de processos erosivos, já as ocorrências de inundações são pequenas pelo fato de o Córrego da Figueira ter um grande trecho canalizado, o que acaba sim influenciando processos de inundação, mas que vão ser refletidos somente na Bacia do Rio Jaú (a jusante).

Já na microbacia do córrego São José ocorre, principalmente, dentro de propriedades rurais, parte com pecuária, parte com cultivo de cana-de-açúcar. Não foram constatados processos erosivos significativos e as inundações que ocorrem, por não afetarem os sistemas urbanos, não são cadastradas pela defesa civil.

As microbacias do Córrego Jataí e do Córrego Barra Mansa apresentam também bons resultados quanto as áreas de baixa restrição, existindo apenas ocorrências isoladas de processos, principalmente inundações, deixando aproximadamente 90% das bacias em ótima condição.

A microbacia do Rio Jaú apresenta mais de 14% de sua área total com alta e muito alta restrição, princi-

palmente associada à elevada frequência de inundações.

Analisando as microbacias frente às restrições dos geofatores B nota-se que duas delas, Rio Jaú e Córrego Santo Antônio, possuem áreas pouco significativas quanto à baixa restrição, sendo cerca de 70% de suas áreas identificadas com alta e muito alta restrição à ocupação.

Já a microbacia do Córrego Barra Mansa apresenta 91,6% de sua área com baixa restrição, o que caracteriza a área como sendo privilegiada à expansão urbana. A microbacia do Jataí também apresenta bons resultados tendo 46,1% de áreas com baixa restrição e apenas 3,4% de com muito alta.

As demais microbacias apresentam percentagens distribuídas entre as 4 classes de restrição, salientando as microbacias do São José com 18,5% da área com alta restrição e a do córrego Santa Cruz com 68,5% da área com alta restrição.

Analisando o Mapa da Figura 7 e a própria tabela 11, nota-se que a microbacia do Córrego Santo Antônio e a bacia do rio Jaú são as mais afetadas. Na primeira o principal motivo é a localização da RPPN com boa parte dentro da microbacia, já caso do rio Jaú, além de uma parte da RPPN, a faixa de APP ao longo de seu curso é o fator determinante nesta questão.

No caso do município de Jaú existem problemas geotécnicos associados às características físicas do local em que eles ocorrem, mas também existem outros ocorrendo em áreas sem predisposição para tais. Para melhor avaliação da área estudada as análises dos resultados (por bacia) foram sintetizadas na tabela 14.

O melhor exemplo é a Microbacia do Córrego

Tabela 14 - Síntese das classes de restrição por Microbacia.

Microbacia	Principais Classes de restrição ao meio-físico	Principais Problemas
Córrego do Bom Retiro	Alta restrição.	Ocorrências de inundações.
Córrego Santo Antônio	Alta e muito alta restrições (restrição ambiental). Ao norte da bacia há favorecimento à ocupação urbana.	Processos erosivos lineares e inundações.
Córrego da Figueira	Média e alta restrição ao longo da drenagem, ao sul da bacia há áreas com baixa restrição que favorecem a ocupação.	Inundações na montante.
Córrego dos Pires	Média e baixa restrições predominam (Norte e Nordeste) tendo alta restrição ao longo da drenagem.	Ravinas e inundações.
Córrego São José	Áreas de baixa e média restrições ao norte da bacia, e altas e muito altas à jusante.	Inundações.
Córrego Santa Cruz	Áreas de baixa e média restrições, ao norte da bacia, e altas à jusante.	Ravinas e escorregamentos na parte nordeste da bacia.
Córrego Jataí	Predomínio de baixa e media restrição, alta somente ao longo da drenagem. Favorável à ocupação na porção sudoeste.	Inundações na montante da bacia.
Rio Jaú	Predomínio de alta e muito altas restrições, grande área com restrição ambiental. Tendo alguns locais com média restrição afastados da drenagem entre as microbacias da Figueira e do Jataí	Inundações. Ocupação quase integral da APP.
Córrego da Barra Mansa	Predomínio de baixa restrição. Sendo praticamente toda a bacia favorável à ocupação.	Escorregamentos.

go Barra Mansa, que possui restrição baixa (91,6%) e média (8,6%), no entanto apresenta problemas com processos erosivos decorrentes de ação antrópica, especificamente falha na infra-estrutura de um loteamento residencial instalado na área.

Para os casos em que as características da área contribuem para deflagração de processos, temos as bacias do Córrego Santo Antonio e do Rio Jaú. Ambas possuem altas densidades de: drenagem, declividade, curvatura de encostas côncavas, além de topo rochoso raso. O rio Jaú ainda sofre processos de inundações e a presença de aluvião em toda sua extensão. Todas essas características contribuem para o aparecimento e aumento de processos.

CONCLUSÕES Os resultados obtidos apontam que as melhores áreas de expansão estão localizadas no eixo Sudoeste/Nordeste do município de Jaú, ocupando partes das microbacias dos Córregos: Barra Mansa, Figueira, Jataí, São José e Pires. Vale lembrar que toda ocupação deve ser planejada, através de laudos geotécnicos e geoambientais. Nenhuma área por melhor que seja está livre de danos deflagrados pelas ações antrópicas nocivas ao meio ambiente, e por consequência ao ser humano.

Os resultados produzidos com a utilização do conceito de geofatores e de mapas de diferentes ordens, aliado ao emprego de SIG como ferramenta básica para a armazenagem, a análise e a produção de saídas gráficas e numéricas podem ser considerados satisfatórios, quanto aos objetivos principais propostos nesta pesquisa, destacando-se a produção de um instrumento para subsidiar o planejamento e a gestão urbana em questões

do meio físico, aspectos geotécnicos e ambientais.

Além dos mapas de 2ª, 3ª e 4ª Ordem produzidos, a própria base de dados georreferenciada e as ferramentas de análise espacial disponíveis no SIG, permitem a atualização e a elaboração dos novos cenários (mapas), podendo ser bastante úteis aos gestores municipais.

A conjugação de dados secundários existentes (investigações geotécnicas, registros da Defesa civil (municipal) e dados primários produzidos durante a pesquisa resultaram numa densidade de amostragem de 3,25 pontos por km², considerada adequada para mapeamentos geotécnicos na escala 1:10.000 (Zuquette 1987).

O conceito de geofatores auxilia na compreensão e análise das restrições geotécnicas e ambientais potenciais, principalmente, em ações técnicas que envolvem conhecimentos e profissionais multidisciplinares, condição característica das ações de planejamento urbano e territorial.

A distribuição dos produtos cartográficos (mapas) em diferentes ordens, em função do grau de tratamento e da interpretação do dado espacial obtido representado, permite uma melhor compreensão e a utilização otimizada por profissionais de diferentes formações.

A utilização de microbacias como unidade de análise, ponderando-se as áreas de ocorrência dos diferentes níveis de restrição geotécnica e ambiental, favorece a espacialização dos resultados e a quantificação preliminar de áreas mais ou menos favoráveis aos empreendimentos urbanos.

A utilização de diferentes SIG e programas de desenho digital (CADMap) no desenvolvimento da pes-

quiza reflete uma tendência atual de uma interatividade crescente entre estas ferramentas computacionais, reforçando o argumento de seu uso no planejamento urbano e municipal, pois permitem que os dados digitais armazenados sejam utilizados por uma gama maior de aplicativos, deixando mais alternativas de escolha e otimização de investimentos por parte do Poder Público.

Agradecimentos Agradeço à Fundação CAPES pelo apoio financeiro dado à esta pesquisa, a prefeitura municipal de Jaú pela disponibilização de dados essenciais sobre o município. A CATI (Jaú), ao SAEMJA (Jaú), a SANEJ (Jaú), a CBC ambiental (Bauru), ao DAEE (Araraquara), e aos colegas engenheiros pelo auxílio na aquisição dos dados geotécnicos utilizados.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). 1984. *Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica*. NBR6508/MB28, ABNT, 8p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). 1995. *Rochas e solos*. NBR7181/MB32, ABNT, 18p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). 1984. *Solo - Determinação do limite de liquidez*. NBR6459/MB30, ABNT, 6p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). 1984. *Solo - Determinação do limite de plasticidade*. NBR6459/MB31, ABNT, 3p.
- BRASIL. 1979. Lei N.º. Lei Nº. 6.766, de 19 de dezembro de 1979. *Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências*. Brasília – DF. Disponível: <http://www6.senado.gov.br/legislacao/ListaPublicacoes.action?id=125757>, Acesso em: 13/11/2007.
- BRASIL. 1989. Lei N.º. Lei Nº. 7.803, de 18 de julho de 1989. *Altera a redação da Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965*. Brasília – DF. Disponível: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l4771.htm. Acesso em: 27/02/2007.
- BRASIL. 1996. *Decreto n.º 1.922, de 5 junho de 1996. Legislação das Reservas Particulares – Projeto IBAMA/RPPN*. Brasília-DF. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/siucweb/guiadechefe/guia/lei.doc>. Acesso em 27/02/2007.
- Christoforetti A. 1980. *Geomorfologia*. 2ª ed., São Paulo, Ed. Blucher, 178p.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO (DAEE). 1982. *Mapa Geológico – Folha Bauru*. São Paulo/SP, DAEE, mapa geológico, escala 1:250.000.
- Godoy M.C.T.F. 1989. *Mapeamento geotécnico preliminar da região urbana de Presidente Prudente-SP: escala 1/25000*. Dissertação de Mestrado, EESC/USP, São Carlos/SP, 2v, 108p.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO (IGC). 1980. *Folhas Jaú I, II, III e IV*. Escala 1:10.000.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). 1991. *Banco de Dados Sobre Movimentos de Massa Catastróficos em Petrópolis entre 1940 e 1990*. São Paulo, Caderno de Mapas. IPT.
- Mathewson C. & Font R.G. 1974. Geologic environment: forgotten aspects in the land use planning process. *The Geological Society of America - Engineering Geology Case Histories*, **10**:23-38.
- Matula M. 1976. Principles and types of engineering geological mapping. Report of the omission on engineering geological mapping. *Bulletin the International Association of Engineering Geology*, **24**:227-234.
- Mendes R.M. 2001. *Mapeamento geotécnico da área central urbana de São José do Rio Preto (SP) na escala 1:10.000 como subsídio ao planejamento urbano*. Dissertação de Mestrado, CCET/UFSCar, São Carlos/SP, 283p.
- Oliveira I.C.E. 2001. *Estatuto da Cidade: para compreender*. Rio de Janeiro, Ed. IBAM/DUMA, 60p.
- Parizi C.C. 2003. *Metodologia para avaliação de áreas para implantação de empreendimentos habitacionais de interesse social baseada em análise multi-critério e cartografia geotécnica*. Dissertação de Mestrado, IPT, São Paulo/SP.
- Ponçano W.L., Carneiro C.D.R., Almeida F.F.M., Prandini F.L. 1981. *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo*. São Paulo, IPT, 94p.
- Santos R.F. 2004. *Planejamento Ambiental: Teoria e Prática*. São Paulo/SP, Ed. Oficina de Textos, 184p.
- Vaz L.F. 1996. *Classificação genética dos solos e dos horizontes de alteração de rocha em regiões tropicais*. *Revista Solos e Rochas*, **19**(2):117-136.
- Zuquette L.V. 1987. *Análise crítica sobre cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras*. Tese de doutoramento. EESC/SP, São Carlos/SP, 673p.

Manuscrito ID 11156

Submetido em 23 de abril de 2008

Aceito em 05 de dezembro de 2008