



Avaliação do terreno em cartografia geotécnica expedita para planejamento urbano: exemplo de ilha Solteira (Brasil)

Terrain evaluation in fast engineering geological mapping for urban planning: example in Ilha Solteira (Brazil)

de Lollo, José Augusto ¹ ✉ - Mendonça dos Santos, Franciane ² - Suman Curti, Juliano ³

Recibido: 18 de Junio de 2012 • Aceptado: 24 de Junio de 2013

Resumen

El conocimiento de las condiciones del medio es fundamental para la planificación urbana. Más recientemente instrumentos legales han sido propuestos por el gobierno brasileño para ordenar la planificación para las áreas urbanas visando proyectos urbanos más apropiados a los condicionantes geológicos y la reducción de daños debidos a desastres naturales. La Cartografía del Medio es la alternativa más viable para el levantamiento y representación espacial de tales informaciones, sea para previsión de comportamiento sea para identificación de impactos y riesgos en situaciones variadas, pero su aplicación por veces representa altos costes, en particular cuando los datos fundamentales acerca del medio (suelos, rocas, relieve, aguas y uso del suelo) no tienen calidad pertinente. El uso de la técnica de evaluación del terreno ha se mostrado eficiente para el levantamiento de las condiciones de ocurrencia de rocas e suelos. La aplicación de la técnica en la de expansión urbana de Ilha Solteira (en la escala 1:10.000) resultó una carta preliminar eficaz para identificar los condicionantes de los principales problemas existentes en el área, especialmente ocurrencia de erosión e colapso de suelos.

Palabras-clave: Cartografía Geotécnica, Planificación Urbana, Formas de relieve, Ilha Solteira.

Resumo

O conhecimento das condições do meio físico é fundamental para o planejamento urbano. Mais recentemente instrumentos legais têm sido propostos pelo governo brasileiro para disciplinar o planejamento para as áreas urbanas visando melhor adequação dos projetos urbanos aos condicionantes geológicos e redução de danos decorrentes de desastres naturais. A Cartografia Geotécnica é a alternativa mais viável para o levantamento e representação espacial de tais informações, tanto para previsão de comportamento como para identificação de impactos e riscos em situações variadas, mas sua aplicação por vezes representa altos custos na elaboração de tais estudos, em particular quando os dados fundamentais acerca do meio (solos, rochas, relevo, águas e uso do solo) não têm qualidade apropriada. O uso da técnica de avaliação do

1. Professor Titular, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP.

✉ lolloja@dec.feis.unesp.br

2. Mestranda, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP. Alameda Bahia, 550, CEP 15.385-000, Ilha Solteira - SP, Brasil.

3. Aluno, Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP. Alameda Bahia, 550, CEP 15.385-000, Ilha Solteira - SP, Brasil.

terreno como mecanismo preliminar de caracterização do meio físico tem se mostrado eficiente para o levantamento das condições de ocorrência do substrato rochoso e de materiais inconsolidados. A aplicação da técnica na área de expansão urbana de Ilha Solteira (na escala 1:10.000) resultou um zoneamento preliminar do meio físico eficaz para identificar os condicionantes dos principais problemas geotécnicos existentes na área, especialmente ocorrência de materiais inconsolidados colapsíveis e erodíveis.

Palavras chaves: Cartografia Geotécnica, Planejamento Urbano, Formas de Relevo, Ilha Solteira.

Abstract

Urban planning requires knowing the conditions of the environment. Legal instruments have recently been proposed by the Brazilian government to control the planning of urban areas in order to better integrate the urban projects to the geological conditions and to reduce the damage ensuing from natural disasters. Engineering Geological Mapping is the most viable alternative for the survey and spatial distribution of such information, in order to predict behavior as well as to identify impacts and risks in various situations. However, its application can represent high costs when such studies are prepared, particularly when the key data about the environment (soil, rocks, relief, water and land use) do not have suitable quality. The use of the terrain evaluation as a preliminary mechanism to characterize the physical environment has proven to be effective to survey the conditions of occurrence of bedrock and unconsolidated materials. The application of the technique in the urban expansion area of Ilha Solteira (scale of 1:10.000) resulted in a preliminary zoning of the physical environment that was effective to identify the determinants of the main geotechnical problems in the area, especially the occurrence of collapsible and erodible materials.

Keywords: Engineering Geological Maps, Urban Planning, Landforms, Ilha Solteira.

INTRODUÇÃO

A importância do conhecimento das condições do meio físico (solos, rochas, águas superficiais e subterrâneas) para o planejamento urbano é matéria consagrada na literatura científica por todo o mundo e considerada na legislação brasileira que trata dos projetos de parcelamento do solo desde a década de 30.

Mais recentemente instrumentos legais têm sido propostos pelo governo brasileiro para disciplinar o planejamento para as áreas urbanas como a Medida Provisória 547/2011 (Brasil, 2011), que “institui o cadastro nacional de municípios com áreas propícias à ocorrência de escorregamentos de grande impacto ou processos geológicos correlatos” e define que os municípios devem “elaborar carta geotécnica de aptidão à urbanização, estabelecendo diretrizes urbanísticas voltadas para a segurança dos novos parcelamentos do solo urbano”.

A Cartografia Geotécnica é a alternativa mais viável para o levantamento e representação espacial de tais informações, tanto para previsão de comportamento como para identificação de impactos e riscos em situações variadas. Podem ser citados exemplos de levantamento e avaliação de atributos para o planejamento regional e urbano em locais onde se disponha das informações necessárias para tais análises, como *Martin-Duque et. al. (2003)*, *Rodrigues e Lollo (2007)*, *Hadmoko et. al. (2010)*, e *Mendes e Lorandi (2010)*.

Desde o início do uso da técnica da elaboração de trabalhos de cartografia geotécnica seus executores têm a preocupação de tornar ágeis as atividades de levantamentos e definição de unidades do meio físico. O conhecimento geomorfológico permitiu o desenvolvimento de um processo de análise viável para tal finalidade.

O uso de formas de relevo (*landforms*) para uma caracterização preliminar das condições do meio físico com vistas à

avaliação de propostas de implantação de obras de engenharia teve seu início na década de 1940.

Os trabalhos pioneiros se concentravam no uso desta ferramenta exclusivamente para a avaliação de condições de implantação de obras lineares (estradas principalmente). Apenas a partir da década de 1970 estes trabalhos passaram a ser efetuados abrangendo maiores áreas e com uma preocupação de avaliação regional das condições do meio físico, visando o planejamento regional da ocupação do meio físico.

A técnica tem sido bastante usada no Brasil para a avaliação regional das condições do meio físico, havendo poucas tentativas de aplicação da mesma para levantamentos de áreas urbanas e de expansão urbana, mesmo sabendo-se que a técnica apresenta imenso potencial de aplicação nesta área já que permite que se efetuem levantamentos preliminares ágeis e eficazes das condições do meio físico, pressuposto básico para a aplicação de qualquer processo de avaliação de ocupação destas áreas.

A principal razão para a adoção da técnica em escala urbana é a falta de informações prévias do meio físico, o que pode significar altos custos na elaboração dos estudos, em particular quando os dados fundamentais do meio (solos, rochas, relevo, águas e uso do solo) não se encontram disponíveis ou não estão devidamente atualizados.

A técnica de avaliação do terreno, conforme sistematizada por *Lollo (1996)* e *Griffiths e Stokes (2008)*, reúne as condições para permitir o zoneamento e caracterização das unidades do meio físico com baixos custos e rapidez, além de fornecer as informações para amostragem orientada dos materiais para estudo de seu comportamento.

No presente artigo a técnica foi aplicada na área urbana e de expansão urbana de Ilha Solteira (Estado de São Paulo, Brasil) uma cidade, que a exemplo de tantas outras cidades brasileiras, teve a instalação de seu núcleo urbano inicial e sua

posterior expansão realizada sem a devida consideração dos condicionantes naturais.

Com o objetivo de apresentar as informações básicas para que se possam avaliar as condições de ocorrência de solos na área de expansão urbana do município de forma a planejar adequadamente a ocupação, foi elaborada uma Carta de Elementos de Terreno (escala 1:10.000), com base na técnica de avaliação do terreno e em resultados de levantamentos de campo e consulta a boletins de sondagem a percussão (Processo FAPESP 2012/07842-4).

A TÉCNICA DE AVALIAÇÃO DO TERRENO

A técnica de avaliação do terreno é que a mesma se baseia no reconhecimento, interpretação e análise de feições do relevo (denominadas landforms) considerando que as mesmas, por serem reflexo dos processos naturais atuantes sobre os materiais da superfície terrestre, devem refletir as condições dos mesmos.

Os primeiros trabalhos de aplicação de landforms como critério de descrição regional se devem a *Herberson (1905, apud Grant, 1970)* e *Fenneman (1916, apud Grant, 1970)*, porém, a primeira discussão do uso destes elementos para o zoneamento regional se deve a *Bourne (1931)*. A interligação entre os elementos da paisagem e as condições de solos e rochas e, como consequência, as condições geotécnicas se deve a *Belcher (1942a; 1942b; e 1943)*.

Após estes trabalhos, foram desenvolvidos estudos visando à utilização de fotografias aéreas para a identificação de landforms e sua aplicação em projetos de engenharia civil, como em *Belcher et al (1943)*, *Belcher (1946)*, *Jenkins et al. (1946)* e *Hittle (1949)*.

A partir do início da década de 50, houve uma proliferação de trabalhos desta natureza cujo principal enfoque era a elaboração, a partir de fotos aéreas, de mapas utilizados para o zoneamento geral multifinalidade de determinada área, como nos trabalhos de *Miles (1951)*, *Mintzer e Frost (1952)*, *Christian e Stewart (1953)*, *Beckett e Webster (1962)* e *Miles (1962)*. Deste ponto em diante a técnica de popularizou por todo o mundo passando a ser utilizada para diversas finalidades de avaliação das condições do meio físico para implantação de obras civis.

A técnica baseia-se na possibilidade de dividir a área estudada em parcelas, em função de sua uniformidade fisiográfica, partindo-se do pressuposto que estas feições do relevo (landforms) são o reflexo do conjunto de processos de dinâmica externa atuantes no passado e no tempo atual, condicionando não só sua forma, mas também os materiais nela presentes. O procedimento usual envolve a interpretação de fotografias aéreas, podendo-se aplicar a técnica lançando-se mão unicamente de trabalhos de campo, porém esta última opção significa longos trabalhos de campo, sendo, portanto pouco utilizada, a não ser que o trabalho envolva área de dimensões reduzidas.

De acordo com as dimensões que o landform analisado apresenta e com o enfoque que se pretende dar à análise, são usados três níveis hierárquicos: sistema de terreno (land system); unidade de terreno (land unit); e elemento de terreno (land element).

Maior dentre os níveis hierárquicos de landform, o sistema de terreno corresponde a uma associação de formas de relevo e é delimitado por trabalhos de aerofotointerpretação (sistemática de reconhecimento e identificação de características

dos terrenos), visando um reconhecimento das grandes expressões geomorfológicas observadas.

A unidade de terreno corresponde a uma forma individual que compõe um sistema, sendo reconhecida em trabalhos de aerofotoanálise (reconhecimento e delimitação de feições em padrões ou unidades).

O elemento de terreno corresponde a uma parcela da unidade de terreno, e sua delimitação é feita a partir da técnica de aerofotodedução (associação das informações coletadas com o conhecimento do intérprete sobre o terreno e os materiais nele presentes).

A etapa de trabalhos de campo objetiva a verificação dos resultados obtidos da interpretação das fotos aéreas, de forma a proporcionar maior precisão ao zoneamento estabelecido e possibilitar as atividades de generalização. Consiste do levantamento de seções-tipo dos landforms identificados, nas quais se busca uma caracterização dos materiais existentes bem como de sua variabilidade vertical e lateral, permitindo uma identificação de condições de materiais que sejam típicas dos landforms identificados.

A caracterização geotécnica dos materiais presentes nos landforms de dá através do uso de informações anteriores e de ensaios de campo e laboratório, com uma amostragem orientada às áreas-chave selecionadas previamente ou a locais onde tenham sido levantadas as seções-tipo das unidades. Esta relação entre áreas-chave, seções-tipo e amostragem proporciona as bases para as interpolações ou extrapolações que são posteriormente efetuadas.

Descrições pormenorizadas do histórico e evolução da técnica de avaliação do terreno, bem como de seus mecanismos, podem ser encontradas em *Aitchison e Grant (1968)*, *Edwards (1982)*, *Cooke e Doornkamp (1990)*, *Zuquette (1991)*, e *Lollo (1996)*.

As aplicações efetuadas em escala regional permitem a avaliação de qualquer tipo de finalidade de uso proposto para a área estudada, porém, em função das dimensões das áreas (normalmente da ordem de centenas de quilômetros quadrados) e do tipo de produto de sensores remotos comumente utilizados (fotos aéreas em escala 1:60.000), a aplicação da avaliação do terreno fica restrita a, no máximo, o nível hierárquico unidade de terreno.

Isto faz com que trabalhos desta natureza apenas permitam uma avaliação preliminar quando se trata de analisar projetos ou obras específicos, uma vez que as áreas abrangidas por estas propostas de ocupação são extensas. O resultado de aplicações com estas características (escala regional) é um mapa (ou conjunto de mapas) onde se apresenta as formas de relevo presentes e os materiais a elas associados, acompanhados de um texto ou quadro síntese das unidades.

Os problemas relacionados à escala fazem com que, neste caso, a análise de propostas específicas de uso ou zoneamento ambiental só seja possível com a realização de extensos levantamentos locais complementares, os quais podem ainda lançar mão do uso da técnica de avaliação do terreno, porém partindo-se do uso de produtos de sensores remotos em maiores escalas. Alguns exemplos deste tipo de aplicação no *Brasil* são *Souza (1992)*, *Collares (1994)*, *Saraiva (1994)*, *Collares (1995a e 1995b)*, *Aguiar (1996)*, e *Lollo (1996)*.

Nas aplicações em áreas urbanas ou de expansão urbana além da necessidade de utilização de produtos de sensores

remotos em maiores escalas (as mais utilizadas têm sido 1:25.000, 1:20.000, e 1:10.000) os estudos também são mais aprofundados, em virtude de se efetuar o zoneamento das áreas estudadas até o nível hierárquico elemento de terreno.

O maior detalhe requerido por este tipo de análise (seja na etapa de fotointerpretação seja na etapa de trabalhos de campo) proporciona a produção de mapas mais completos (do ponto de vista da qualidade da informação apresentada) permitindo análises de propostas de implantação de projetos e obras locais.

Exemplos deste tipo de aplicação podem ser encontrados em *Ávila et. al. (1985)* e *Zuquette et. al. (1992)*, onde, os autores apresentam, a par das finalidades diferentes para as quais cada trabalho foi apresentado, informações bastante completas não só dos landforms presentes, mas, principalmente, análises de condições de ocupação mais adequadas para as áreas parceladas.

ÁREA ESTUDADA

O fato da ocupação inicial da área urbana da cidade de Ilha Solteira ter se dado, na década de 60, em função da necessidade de instalação dos trabalhadores responsáveis pela construção da U.H.E. de Ilha Solteira, se constituindo portanto num provisório (já que o núcleo urbano deveria atender exclusivamente às necessidades da obra e ser posteriormente desativado), fez com que as análises para este início de implantação se dessem de forma superficial.

Porém o desenvolvimento das atividades comercial e agropecuária, aliadas à fundação da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira da Universidade Estadual Paulista criaram condições para que a cidade crescesse e se desenvolvesse de forma a se tornar um núcleo urbano definitivo.

Apesar desta transformação, a cidade continuou, durante todo este período, com um modelo de crescimento que é característico dos núcleos urbanos brasileiros, sem a devida

consideração das condições do meio físico de interesse para um correto planejamento urbano. Este crescimento consolidou-se (do ponto de vista administrativo) no ano de 1991 com a emancipação política da cidade, vindo a constituir o atual município de Ilha Solteira. A localização da área estudada pode ser observada na Figura 1.

A elevação da cidade à categoria de município resultou significativa expansão de sua área urbana e trouxe consigo a necessidade de construção de diversas obras de infraestrutura, atividades estas desenvolvidas sem as devidas considerações das condições naturais envolvidas no processo.

A cidade de Ilha Solteira (SP), bem como grande parte das regiões oeste e centro do Estado de São Paulo, está situada num contexto geológico da Bacia do Paraná que compreende a presença de unidades estratigráficas do Grupo Bauru e de Coberturas Cenozóicas indiferenciadas, compostos por litologias que quando intemperizadas apresentam a tendência de desenvolvimento de solos arenosos finos de grande porosidade, com potencial de desenvolvimento de processos erosivos e de colapso de solos.

A ocorrência destes solos no município tem ocasionado, ao longo dos anos, grandes despesas com obras de recuperação de residências e imóveis comerciais danificados por processos de recalques em elementos de fundação, processos estes que poderiam ter sido evitados caso os projetos de fundações tivessem levado em conta as características dos solos.

Com o objetivo de apresentar as informações básicas para que se possam avaliar as condições de ocorrência de solos na área de expansão urbana do município e que, a partir destas informações, o poder público possa planejar adequadamente a ocupação destas áreas de expansão, foi realizado o presente trabalho, cujo objetivo foi levantar as informações de interesse e representá-las na forma de mapa e relatório das condições de ocorrência de solos na área considerada.

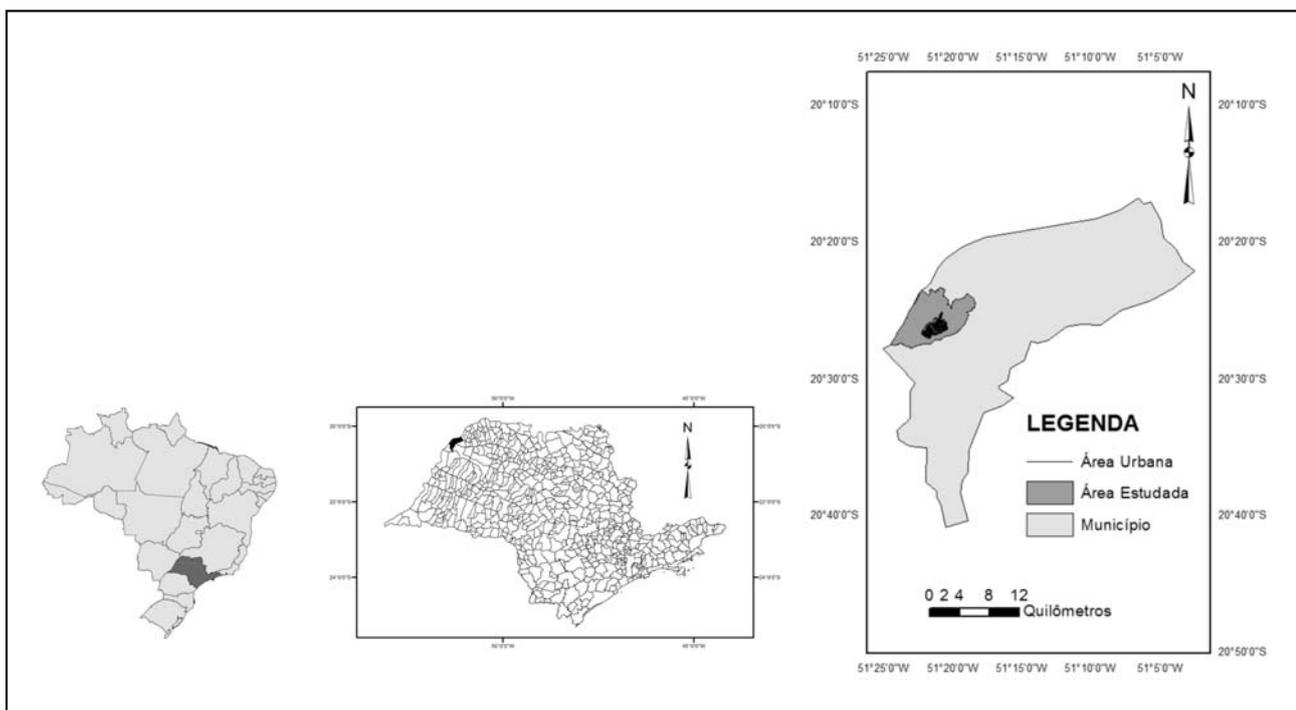


Figura 1. Localização da área estudada.

As condições naturais da área concorreram para que o resultado dos tipos de perfis de alteração de solos desenvolvidos não pudesse ser diferente disso. As unidades do substrato rochoso, inseridas no contexto da Bacia do Paraná, apresentam basaltos da Formação Serra Geral nas áreas de vales e tipos arenosos nas porções mais elevadas do relevo (colina suave ondulada). Estes litotipos arenosos são representados por arenitos com cimentação carbonática pertencentes ao Grupo Bauru. As figuras 2 e 3 ilustram a distribuição das unidades do substrato rochoso na área e uma coluna estratigráfica simplificada das unidades do substrato presentes na área.



Figura 2. Distribuição das unidades estratigráficas do substrato na área estudada.

O clima subtropical quente e úmido com altos índices de pluviosidade associado a um relevo suave que favorece fortemente a infiltração das águas pluviais também foi fator importante para o desenvolvimento dos atuais perfis de alteração de solos. Este conjunto de fatores (principalmente a ação dos

condicionantes climáticos e a presença de cimento carbonático) foi fator determinante no desenvolvimento dos materiais inconsolidados presentes na área, altamente porosos e pouco estruturados.

Fruto da ausência de planejamento da ocupação do território e das condições geotécnicas desfavoráveis anteriormente descritas uma série de fenômenos indesejáveis do ponto de vista ambiental e administrativo tem ocorrido no município.

Estes problemas podem ser divididos em duas categorias: enquanto alguns são relativamente antigos e datam da época da implantação do núcleo urbano, outros já existiam e foram potencializados por intervenções posteriores.

No primeiro grupo encontram-se os problemas decorrentes de colapso de solos. A região apresenta solos colapsíveis, e o problema é agravado pelo fato de que nas obras de implantação do núcleo urbano foram utilizadas manilhas de cerâmica para a rede de esgoto, manilhas estas que se rompem facilmente favorecendo a saturação do solo e seu conseqüente colapso. Este fenômeno tem sido bastante estudado no município, como se pode verificar em Mellios (1985), Carvalho e Souza (1990), Ferreira, Peres, e Benvenuto (1990), Lollo e Morais (1993), e Menezes (1997).

No segundo grupo podem ser incluídos os problemas relacionados à erosão de solos. A alta porosidade existente na maioria dos solos presentes no município associada ao seu estado fofo faz com que os mesmos apresentem um grande potencial à erosão desde que não adequadamente manejados. A intensificação da ocupação urbana, efetuada muitas vezes com cortes no terreno com perfil ou altura inadequados tem facilitado a presença de processos erosivos.

SISTEMÁTICA APLICADA

A sistemática utilizada para o levantamento das condições do meio físico da área estudada teve como base a proposta de Lollo (1996) a qual já havia apresentado resultados bastante positivos quando aplicada em escala regional. No trabalho ora apresentado teve-se o cuidado de incluir nesta sistemática as etapas relacionadas ao zoneamento da área em termos de elementos de terreno (nível hierárquico não considerado nos trabalhos efetuados em escala regional). A síntese desta sistemática é apresentada a seguir.

- A. Levantamento de Informações e Materiais: obtenção de sensores remotos, mapas existentes, e informações de investigações geotécnicas anteriores executadas na área estudada e obtenção ou elaboração da base cartográfica.

Idade (M.a.)	Período	Unidade Estratigráfica	Litologia
100	Cretáceo	Grupo Bauru (Ksb)	Arenitos médios a finos, maciços, com cimentação carbonática e cor vermelha.
150			
200	Jurássico	Formação Serra Geral (JKsg)	Basaltos toleíticos em derrames tabulares, textura vesicular e compacta.

Figura 3. Coluna estratigráfica esquemática das unidades estratigráficas presentes na área estudada.

B. Uso de Fotos Aéreas / Avaliação do Terreno :

b.1 Montagem do Fotomosaico

b.2 Delimitação de Sistemas de Terreno :

interpretação do fotomosaico
fotointerpretação preliminar
uso de mapas topográficos
generalizações
fotointerpretação final
mapa de sistemas de terreno

b.3 Delimitação de Unidades de Terreno :

fotoanálise preliminar
trabalho de campo (seções-tipo)
generalizações
fotoanálise final
mapa de unidades de terreno

b.4 Delimitação de Elementos de Terreno :

fotodedução preliminar
trabalho de campo (seções-tipo)
generalizações
fotodedução final
mapa de elementos de terreno

C. Uso de Mapas Anteriores :

checagem e análise

D. Caracterização Geotécnica das Unidades :

amostragem e ensaios

E. Elaboração de Mapas e Documentos Relacionados

RESULTADOS

O trabalho consistiu do levantamento de toda a área do município utilizando-se fotografias aéreas na escala 1:20.000. Na área do município foram identificados dois sistemas de terreno (denominados A e B), sendo o primeiro deles composto por duas unidades de terreno (A.1 e A.2) e o segundo (sistema B) composto por três unidades de terreno (B.1, B.2 e B.3). A Unidade B.2 apesar de presente no município de Ilha Solteira, não ocorre na área urbana nem na área de expansão urbana, razão pela qual não é registrada na área em estudo.

Na área de expansão urbana o levantamento foi detalhado até o nível elemento de terreno proporcionando um total de dez elementos de terreno sendo três deles pertencentes à unidade A.1 (elementos A.1.1, A.1.2 e A.1.3), dois pertencentes à unidade A.2 (elementos A.2.1 e A.2.2), três pertencentes à unidade B.1 (B.1.1, B.1.2 e B.1.3), e dois pertencentes à unidade B.3 (elementos de terreno B.3.1 e B.3.2).

Além dos trabalhos de fotointerpretação foram efetuados trabalhos de campo para a confirmação das análises efetuadas na avaliação do terreno e o completo conhecimento dos landforms em termos dos perfis de alteração de solos associados a cada um deles. Apresenta-se a seguir as descrições de cada uma destas formas de relevo, cuja distribuição na área pode ser observada na Figura 1.

Sistema A: colinas médias suave onduladas com encostas convexas e média frequência de canais associadas a vales pequenos e profundos com encostas convexas, com alta frequência de canais e presença de ravinas. As formas presentes neste

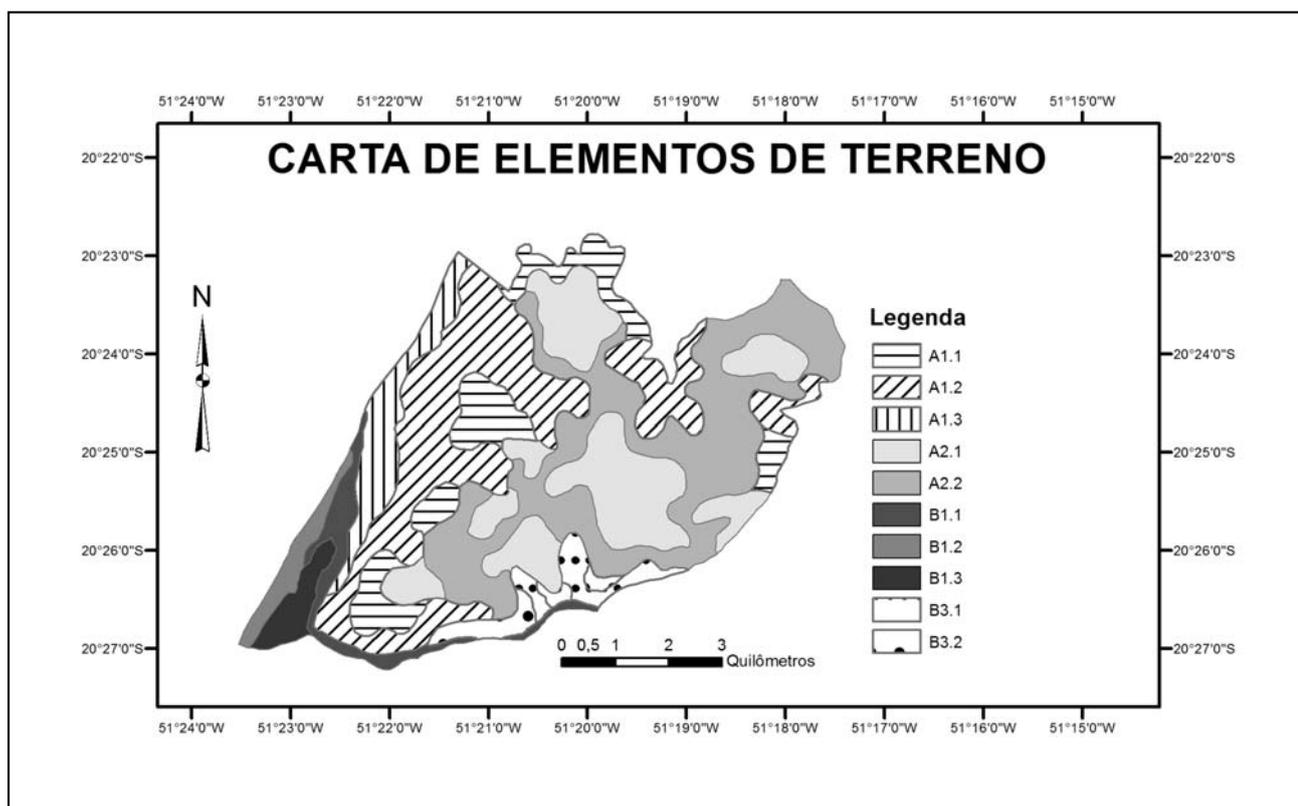


Figura 4. Carta de Elementos de Terreno para a área urbana e de expansão urbana de Ilha Solteira.

sistema e os trabalhos de campo efetuados permitem afirmar que o substrato rochoso do mesmo são os arenitos do Grupo Bauru.

Unidade A.1: vales pequenos profundos com encostas convexas, evidências de processos erosivos na porção inferior das encostas, frequência de canais média a alta e presença de ravinhas. Materiais inconsolidados arenosos finos homogêneos pouco espessos (espessuras raramente superiores a 5m).

Elemento A.1.1: porção superior das encostas, formas convexas pouco íngremes, ausência de ravinhas e média frequência de canais, perfis de alteração mais espessos (chegando a atingir espessuras de até 7m).

Elemento A.1.2: porção inferior das encostas, formas retilíneas evoluindo para côncavas, bastante íngremes, alta frequência de canais e intenso ravinamento. Os materiais inconsolidados são pouco espessos (espessuras variando entre 2 e 5m).

Elemento A.1.3: fundo dos vales, forma retilínea, alta frequência de canais com coalescência de pequenos vales, com arrasamento das encostas e formas planas. Os perfis de materiais inconsolidados são bastante rasos (< 2m) chegando-se mesmo a ter exposição do substrato rochoso em alguns locais.

Unidade A.2: colinas médias suave onduladas com encostas convexas com média frequência de canais. As formas mais suaves sugeriam presença de perfis de alteração de solos bem desenvolvidos e bastante espessos o que foi confirmado nos trabalhos de campo ao se verificar a presença de perfis de alteração com grandes espessuras (muitas vezes superiores a 20m) de solos arenosos finos homogêneos.

Elemento A.2.1: metade superior e topo das colinas, formas convexas e topo relativamente aplainado, baixa frequência de canais. Perfis de materiais inconsolidados arenosos fofos com espessuras comumente superiores a 20m.

Elemento A.2.2: porção inferior das colinas, formas convexas e com média frequência de canais. Materiais inconsolidados com perfis menos espessos (espessuras raramente superiores a 10m).

Sistema B: vales amplos e médios, pouco profundos com encostas retilíneas a côncavas, e frequência de canais alta a média.

Unidade B.1: vales amplos com encostas côncavas, alta frequência de canais, encostas abruptas suavizando-se em direção à drenagem, extensos depósitos aluviais na base. Localmente tem-se a presença de terraços aluviais na porção mais alta (terço superior) apresentando pequenas porções convexas. Os depósitos aluviais são pouco espessos porém os terraços apresentam espessuras de até 10m.

Elemento B.1.1: planícies aluviais recentes e depósitos aluviais em canais abandonados. Os materiais inconsolidados compreendem depósitos aluviais arenosos finos pouco espessos (no máximo 5m de espessura) com lentes de argila decimétricas.

Elemento B.1.2: terraços aluviais em porções superiores de encostas (perfil convexo). Os perfis de materiais inconsolidados são homogêneos e bastante espessos (até 10m de espessura) apresentando depósitos arenosos finos.

Elemento B.1.3: vales amplos com encostas côncavas, bastante dissecados, alta frequência de canais. Este elemento apresenta perfis de materiais inconsolidados bastante rasos (espessuras inferiores a 2m) fruto de processos erosivos.

Unidade B.2: colinas médias a amplas, suave onduladas, com encostas convexas na sua metade superior a côncava na metade inferior com baixa frequência de canais. Apresenta perfis de materiais inconsolidados arenosos finos homogêneos pouco espessos (espessuras menores que 5m). Tal unidade não apresenta ocorrência na área em estudo.

Unidade B.3: vales médios com encostas côncavas a retilíneas, média frequência de canais, sem evidência de depósitos aluviais, e espessuras médias de perfis de alteração de solos (5 a 10m). Os materiais inconsolidados presentes são francamente argilosos e bem estruturados.

Elemento B.3.1: metade inferior das encostas, formas côncavas íngremes tendendo a retilíneas. Perfis de materiais inconsolidados menos espessos (espessuras geralmente em torno de 5 a 6m).

Elemento B.3.2: metade superior das encostas, formas convexas tendendo a côncavas pouco íngremes. Porções mais suaves da encosta com perfis de alteração de solos argilosos homogêneos bem desenvolvidos (chegando a atingir 10m de espessura).

Um dos aspectos fundamentais a serem analisados quando se efetua zoneamento do meio físico para fins geotécnicos é a relação unidades do meio físico x comportamento geotécnico dos materiais presentes nestas unidades.

Os resultados apresentados no tópico anterior mostram que sob este aspecto o uso da técnica de avaliação do terreno proporcionou um zoneamento eficiente uma vez que aos landforms identificados foi possível associar, com muita eficiência, condições geotécnicas bem definidas, tanto em termos de substrato rochoso como em termos de materiais inconsolidados.

Porém apenas esta constatação não é suficiente uma vez que o trabalho também se propunha a estabelecer, frente aos problemas de ordem geotécnica existentes na área estudada, principalmente áreas urbana e de expansão urbana, as condições geotécnicas nas quais os mesmos se dão. Assim sendo, cada um dos problemas identificados será, a seguir, relacionado com as condições do meio físico identificadas no presente trabalho.

CONCLUSÕES

Com relação à ocorrência de solos colapsíveis, verifica-se que o local escolhido para a implantação do núcleo urbano foi o fator predisponente fundamental e sobre o qual inclusive pouco se pode fazer uma vez que tal núcleo já está implantado.

A área escolhida para tal finalidade representa, como se pode verificar na Figura 1, a principal área de ocorrência da Unidade A.2 que se caracteriza justamente pela ocorrência de perfis espessos de solos arenosos fofos com alto potencial de colapsividade. O mesmo ocorre para grande parte da área de expansão urbana hoje existente e em condições de ocupação mais imediata.

As características do meio físico desta parcela da área, porém não podem ser simplesmente consideradas como definitivamente desfavoráveis uma vez que análises mais acuradas do problema mostram que esta ocupação é perfeitamente viável desde que se considere a maneira correta de proceder nesta área. Neste caso devem ser consideradas diferentes soluções técnicas para projetos de fundação.

A Unidade de Terreno A.2 apresenta dois elementos de terreno com diferentes características de espessura de perfil de alteração do solo.

O Elemento de Terreno A.2.1 apresenta perfis de materiais inconsolidados mais espessos (chegando a atingir mais de dez metros de espessura) e neste caso a única solução possível é a adoção, para construções térreas ou de dois pavimentos, de projetos de fundação mais adequados a esta condição, com menor distribuição de carga por elemento de fundação utilizado no projeto. Já para construções de edifícios o problema pode ser contornado com a adoção de elementos de fundação mais profundos, que tenham sua base apoiada abaixo do limite inferior desta camada de solo.

Para as áreas de ocorrência do Elemento de Terreno A.2.2 a solução adotada pode ser mais simples. Como neste elemento os perfis de materiais inconsolidados apresentam menores espessuras (raramente superiores à 4m) basta que a base dos elementos de fundação utilizados situe-se abaixo desta profundidade.

É óbvio que tais soluções também devem estar acompanhadas de projetos de redes de utilidade (água e esgoto) e de drenagem superficial que não favoreçam a saturação do solo (mecanismo desencadeador do colapso do solo).

Os problemas erosivos identificados na área situam-se em locais de ocorrência da Unidade de Terreno B.3 (Elementos B.3.1 e B.3.2) e o processo, em todos os casos estudados, foi desencadeado pela execução inadequada de condutos de redes pluviais em pontos de descarga em drenagens nesta Unidade de Terreno.

O fato de que a unidade de terreno em questão apresenta substrato rochoso composto por basaltos (vesiculares e compactos) da Formação Serra Geral a profundidades pequenas (raramente superiores à 5m) faz com que os processos erosivos instalado não apresentem forte evolução em termos de incisão vertical evoluindo principalmente por alargamento do canal de drenagem por desabamentos de encostas quase verticais com base solapada pela erosão.

Estes processos erosivos, no entanto podem ser facilmente controlados através de obras corretas de descarga dos condutos de drenagem pluvial nos canais, com a execução conjunta de obras de dissipação de energia destas descargas.

TRABALHOS CITADOS NO TEXTO

AGUIAR, A.D.C. 1996.

Mapeamento Geotécnico da Folha de Conchal - SP: escala 1:50.000. *São Carlos, Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos.*

AITCHISON, G.D.; GRANT, K. 1968.

Terrain Evaluation for Engineering. *Division of Soil Mechanics Research Paper - CSIRO, Sydnal, 107.*

ÁVILA, I.G.; IWASA, O.Y.; PRANDINI, F.L.; FORNASSARI FILHO, N.; PONÇANO, W.L. 1985.

Carta Geotécnica da Grande São Paulo. *São Paulo, DMGA-IPT, Publicação 1618.*

BECKETT, P.H.T.; WEBSTER, R. 1962.

The Storage and Collation of Information on Terrain. *Military Engineering Experimental Establishment Interim Report 871, Christchurch.*

BELCHER, D.J. 1942a.

The Use of Soil Maps in Highway Engineering. *American Road Scholl, Proceedings, Purdue University, Engineering Bulletin n. 26, p. 64.*

BELCHER, D.J. 1942b.

Use of Aerial Photographs in War Time Engineering. *Rds. Str., 85-7.*

BELCHER, D.J. 1943.

The Engineering Significance of Soil Patterns. *Annual Meeting of Highway Research Board, 1943, Proceedings.*

BELCHER, D.J. 1946.

Engineering Applications of Aerial Reconnaissance. *Geological Society of America Bulletin, New York, 57-8.*

BELCHER, D.J.; GREGG, L.S. & WOODS, K.B. 1943.

The Formation, Distribution and Engineering Characteristics of Soils. *Highway Research Bulletin, Research Series n. 87.*

BRASIL, 2011.

MP 547/11, de 11 de Outubro de 2011. Altera as Leis 6.766/79, 10.257/01, e 12.340/10. *Diário Oficial da União, 13 de outubro de 2011.*

BOURNE, R. 1931.

Regional Survey and its Relation to Stocktaking of Agricultural and Forest Resources of the British Empire. *Ox. For. Mem., 13.*

CARVALHO, D.; SOUZA, A. 1990.

Análise do efeito de umedecimento do solo em fundações rasas e profundas em solos porosos. *Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, Salvador, 1990, Anais, Salvador, ABMS, v. 2, p. 109-114.*

- CHRISTIAN, C.S. & STEWART, G.A. 1953.
General Report on Survey of the Katherine-Darwin Region.
Sidney. Australian Land Research Series - CSIRO.
- COLLARES E.G. 1994.
Mapeamento Geotécnico da Quadricula de Bragança Paulista (escala 1:50.000) : ênfase nos materiais inconsolidados.
São Carlos, Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos.
- COLLARES E.G. 1995a.
Mapeamento Geotécnico da Quadricula de Pinhal : escala 1:50.000.
Relatório Interno do Projeto Mapeamento Geotécnico do Centro-leste do Estado de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos.
- COLLARES E.G. 1995b.
Mapeamento Geotécnico da Quadricula de Valinhos : escala 1:50.000.
Relatório Interno do Projeto Mapeamento Geotécnico do Centro-leste do Estado de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos.
- COOKE, R.U. & DOORNKAMP, J.C. 1990.
Mapping Geomorphology.
In: COOKE, R.U. & DOORNKAMP, J.C. Geomorphology in Environmental Management: a new introduction. New York, Clarendon Press.
- EDWARDS, R.J.G. 1982.
Land Surface Evaluation for Engineering Practice. report by a work party under the auspices of the Geological Society.
Quarterly Journal of Engineering Geology, 15-4.
- FERREIRA, R.C.; PERES, J.E.E. & BENVENUTO, C. 1990.
Uma análise de modelos geotécnicos para a previsão de recalques em solos colapsíveis.
Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, Salvador, 1990, Anais, Salvador, ABMS, v. 2, p. 73-79.
- GRANT, K. 1970.
Terrain Evaluation: a logical extension of Engineering Geology.
International Congress of the International Association of Engineering Geologists, Paris, 1970, Proceedings, Paris, IAEG, v. 2, p. 971-980.
- GRIFFITHS, J.S., STOKES, M., 2008.
Engineering geomorphological input to ground models: an approach based on Earth systems.
Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, Vol. 41, p. 73-91.
- HADMOKO, D.S., LAVIGNE, F., SARTOHADI, J., HADI, P., 2010.
Landslide hazard and risk assessment and their application in risk management and land use planning in eastern flank of Menoreh Mountains, Yogyakarta Province, Indonesia.
Natural Hazards, Vol. 54, p. 623-642.
- HITTLE, J.E. 1949.
Airphoto Interpretation of Engineering Sites and Materials.
Photogramm. Engng., 15.
- JENKINS, D.S.; BELCHER, D.J.; GREGG, L.E. & WOODS, K.B. 1946.
The Origin, Distribution and Airphoto Identification of United States Soils.
U.S. Dept. of Commerce, Washington.
- LOLLO, J.A. 1996.
O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na Quadricula de Campinas.
São Carlos, Tese (Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos.
- LOLLO, J.A. & MORAIS, A.S. 1993.
Caracterização de solos potencialmente colapsíveis a partir de ensaios de reconhecimento.
Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Ilhéus (BA), 1993, Anais, Ilhéus, SBEA, v. 1, p. 63-71.
- MARTIN-DUQUE, J.F., PEDRAZA, J., SANZ, M.A., BODOQUE, J.M., GODFREY, A.E., DIEZ, A., CARRASCO, R.M., 2003.
Landform classification for land use planning in developed areas: an example in Segovia Province (Central Spain).
Environmental Management, Vol. 32, p. 488-498.
- MELLIOS, G.A. 1985.
Provas de carga em solos porosos.
Seminário de Engenharia de Fundações Especiais, São Paulo, Anais, São Paulo, ABMS, 1985, v. 2, p. 73-102.

- MENDES, R.M., LORANDI, R., 2010.
Geospatial Analysis of Geotechnical Data Applied to Urban Infrastructure Planning.
Journal of Geographic Information System, Vol. 2, p. 23-31.
- MENEZES, S.M. 1997.
Análise do comportamento de estacas pré-moldadas em solo de alta porosidade do interior do Estado de São Paulo.
São Paulo, Tese (Doutorado), Escola Politécnica.
- MILES, R.D. 1951.
Application of Aerial Photographs to Preliminary Engineering Soil Surveys.
Symposium on Surface and Subsurface Reconnaissance, 1951, Symposium, [s.l.], American Society Testing Materials, p. 57.
- MILES, R.D. 1962.
A Concept of Land Forms, Parent Materials and Soils in Airphoto Interpretation Studies for Engineering Purposes.
Symposium on Photo Interpretation, 1962, Transactions, Delft, International Society for Photogrammetry, p. 462-476.
- MINTZER, O.W. & FROST, R.E. 1952.
How to Use Air-photos and Maps for Material Survey.
Highway Research Board Bulletin, Washington, 62.
- RODRIGUES, R.A., LOLLO, J.A., 2007.
Influence of domestic sewage leakage on the collapse of tropical soils.
Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Vol. 66, p. 215-223.
- SARAIVA R.M. 1994.
Mapeamento Geotécnico da Folha de Socorro com base na Análise das Formas de Relevo ("landform").
São Carlos, Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos.
- SOUZA, N.C.D.C. 1992.
Mapeamento Geotécnico Regional da Folha de Aguaí : com base na compartimentação por formas de relevo e perfis típicos de alteração.
São Carlos, Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos.
- ZUQUETTE, L.V. 1991.
Mapeamento Geotécnico: uma nova abordagem.
Ribeirão Preto, Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo.
- ZUQUETTE, L.V.; PEJON, O.J.; SINELLI, O.; & GANDOLFI, N. 1992.
Carta de Riscos Potenciais de Erosão - Cidade de Franca (SP) - escala 1:25.000.
Simpósio Latino-Americano de Risco Geológico Urbano, Pereira, 1992, Pereira.