

MAPEAMENTO GEOTÉCNICO PARA GESTÃO MUNICIPAL

Engineering geological mapping for municipality land use planning

Ana Elisa Silva de Abreu*

Oswaldo Augusto Filho**

RESUMO – Este artigo apresenta os resultados da aplicação de um método misto de mapeamento geotécnico em Analândia, SP (Brasil). Este método alia as características consideradas positivas em três métodos de mapeamento geotécnico utilizados no país, a saber: o método da EESC/USP, o método do IPT e o Detalhamento Progressivo, utilizado na UNESP-Rio Claro. Após a conclusão do mapeamento, as unidades geológico-geotécnicas tiveram sua capacidade de uso avaliada e foram verificados os conflitos de uso, considerando-se os usos do solo atuais. Como resultado, foi possível propor ações de planejamento para a área rural e para a área urbana do município. Conclui-se que o diagnóstico realizado através da aplicação deste método permitiu a reunião dos dados geológico-geotécnicos necessários à elaboração do Plano Diretor, otimizando a aplicação dos recursos disponíveis para tal fim.

SYNOPSIS – This paper presents the results of the use of an engineering geological mapping method in the municipality of Analândia, SP (Brazil). The method merges the positive aspects of three methods currently used in the country: the method proposed by the Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP), the method used by Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) and the so called Progressive Detailing Method, used by the UNESP-Rio Claro. After the conclusion of the maps, the land use capacity of the mapped units has been evaluated and it has been compared to the present land use. This led to the identification of land use conflicts and to the proposal of planning measures. The results show that the method is suitable for providing the geological-geotechnical information in a way that planners find of value for planning municipality land use.

PALAVRAS CHAVE – Método de mapeamento geotécnico, planejamento do uso do solo, Analândia.

1 – INTRODUÇÃO

A Constituição Federal do Brasil, de 1988, e o Estatuto da Cidade ampliaram as atribuições dos municípios com relação ao planejamento do uso do solo. O Plano Diretor é um dos instrumentos básicos do planejamento municipal, e dele partem as definições dos objetivos para a ocupação do município como um todo e a escolha das estratégias que possibilitarão a implementação destes objetivos.

A primeira etapa para a elaboração de um Plano Diretor é a realização de um diagnóstico da situação atual, envolvendo a caracterização dos aspectos dos meios físico, biótico e antrópico que compõem o quadro local e regional. O mapeamento geotécnico é uma das ferramentas para a composição deste quadro diagnóstico.

Este trabalho apresenta pesquisa voltada ao desenvolvimento de mapeamento geotécnico para subsidiar a elaboração de Planos Diretores e ações de gestão municipal.

* Mestre em Geotecnia - Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo – USP

** DSc. Professor – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo – USP
oafilho@sc.usp.br

A linha mestra da abordagem proposta procura combinar os aspectos positivos de outros três métodos já consagrados e com várias experiências de aplicação no território brasileiro, principalmente no estado de São Paulo.

O método de mapeamento geotécnico desenvolvido pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP), incorporando aspectos do método do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) e do método do Detalhamento Progressivo, utilizado pela Universidade Estadual Paulista (UNESP), de Rio Claro, define o arcabouço metodológico e técnico-científico que orientou o desenvolvimento desta pesquisa.

O município de Analândia, situado na porção centro-leste do estado de São Paulo, foi escolhido para aplicação do método misto de mapeamento geotécnico, pois agrega problemas típicos de áreas urbanas e de áreas rurais e porque já se dispunham de informações sobre o meio físico da região, tais como as bases topográficas nas escalas escolhidas para o trabalho, e mapa das formações geológicas de superfície na escala 1:50.000.

Os trabalhos foram desenvolvidos em duas escalas principais: 1:50.000 (município) e 1:10.000 (área urbana e de expansão).

2 – BASE CONCEITUAL

Para a definição das etapas a serem seguidas para a realização do mapeamento geotécnico propriamente dito, foi realizada extensa revisão bibliográfica, concentrando-se a pesquisa na análise dos métodos de mapeamento geotécnico propostos e aplicados internacionalmente e no Brasil. De forma geral, pode-se agrupar os métodos de mapeamento geotécnico em duas grandes linhas de abordagem: a sintética e a analítica. Estas duas linhas de abordagem estão relacionadas a princípios apresentados por Descartes (de acordo com Magalhães, 2005) para a resolução de problemas: pode-se dividir um problema em partes, ao que se denomina análise do problema, ou pode-se começar a resolução do problema pela parte mais simples e ir aos poucos até os assuntos mais complexos, o que se assimila à síntese.

Na abordagem analítica aplicada ao mapeamento geotécnico o meio físico é subdividido em suas partes componentes (atributos), estas partes são mapeadas e entendidas e, posteriormente, reagrupadas, para compor o todo. Na abordagem sintética, o meio físico é entendido como um conjunto indissociável de fatores e sua dinâmica e inter-relação são analisadas de forma integrada.

Para caracterização dos métodos de mapeamento que foram objeto deste estudo, foram analisados em maior detalhe 36 trabalhos de mapeamento geotécnico desenvolvidos na EESC/USP, desde a proposição inicial do método, em 1987, passando por sua consolidação, até os dias de hoje, e 15 trabalhos desenvolvidos com o método do IPT, pela própria instituição e por outros órgãos, entre 1979 e 2004.

O trabalho de Almeida (2000) e o trabalho de Freitas (2000) podem ser considerados os exemplos mais claros de aplicação do método da EESC/USP e do IPT, respectivamente, de forma consolidada.

Como resultado deste trabalho sistemático de revisão bibliográfica, pode-se afirmar que o método de mapeamento geotécnico adotado pela EESC/USP caracteriza-se como uma abordagem analítica, enquanto que o método adotado pelo IPT caracteriza-se como uma abordagem sintética. O trabalho de Abreu e Augusto Filho (2007) apresenta uma comparação mais extensa entre estes dois métodos.

O método do Detalhamento Progressivo, utilizado pela equipe da UNESP – Rio Claro, foi descrito inicialmente por Cerri et al. (1996) e consolidado através dos trabalhos de Zaine (2000) e Pereira (2006). Este método não tende, em princípio, para nenhuma das duas correntes discutidas anteriormente (analítica ou sintética). Ao contrário, ele prevê que o mapeamento possa ser realizado

utilizando-se os procedimentos de qualquer uma das duas abordagens. A análise dos trabalhos de mapeamento que já foram desenvolvidos com este método mostra que ele guarda mais afinidades com o método do IPT. O grande diferencial deste método foi propor que o mapeamento seja realizado em mais de uma escala, adotando-se maior detalhamento em áreas mais relevantes e/ou onde se identificam conflitos e que este detalhamento progressivo seja adotado como parte essencial do método para aquisição de conhecimento em relação ao meio físico.

3 – MÉTODO

Com base nos resultados da revisão bibliográfica, descritos resumidamente no item anterior, estabeleceu-se um roteiro de elaboração de mapas geotécnicos que agregasse os aspectos positivos de abordagens já consolidadas, em particular, as desenvolvidas pela EESC/USP, pelo IPT e pela UNESP-Rio Claro, e que também fosse direcionado a subsidiar Planos Diretores e ações de planejamento municipal, considerando-se os aspectos relevantes do meio físico, tanto na sua dinâmica (processos), como no seu comportamento frente às diferentes formas de uso e eventuais restrições.

Este método abrange 11 etapas principais, sendo a seqüência e o encadeamento das mesmas ilustrado no fluxograma da figura 1. Estas etapas são descritas a seguir. Buscou-se validar (testar) o método proposto no município de Analândia – SP, como apresentado no item 4 a seguir.

3.1 – Etapa 1: levantamento dos dados existentes

Consiste no levantamento dos dados do meio físico já disponíveis para a área, inclusive trabalhos de cartografia geotécnica realizados anteriormente na região, em escala regional ou abrangendo apenas parte do município.

3.2 – Etapa 2: elaboração das bases cartográficas

O método proposto prevê a utilização de diferentes escalas de trabalho, permitindo otimizar recursos e detalhamento na medida do necessário, conforme o quadro diagnóstico da área vai se formando.

Esta etapa envolve a preparação da base cartográfica do trabalho, primeiro numa escala regional, que no caso estudado foi 1:50.000. Para preparação desta base cartográfica foram utilizadas as folhas topográficas SF-23-Y-A-I-2, Corumbataí e SF-23-Y-A-I-1, São Carlos, ambas na escala 1:50.000 e elaboradas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 1971.

3.3 – Etapas 3 e 4: diagnóstico dos processos e restrições geotécnicas na área, definição e mapeamento dos atributos de interesse

Estas duas etapas foram conduzidas paralelamente e de forma complementar. A etapa 3 compreendeu a aplicação do método sintético, buscando-se diagnosticar os processos instalados na área e quais seus condicionantes, e a etapa 4 compreendeu a aplicação do método analítico, mapeando-se de forma isolada os atributos do meio físico de interesse à geotecnia.

Em ambas as etapas foram realizados trabalhos de foteointerpretação e trabalhos de campo. Os levantamentos aerofotogramétricos utilizados foram aqueles realizados pela a) Secretaria de Agricultura do Estado de São Paulo, ano de 1962, na escala 1:25.000, Coleção Prospec – Levantamentos, Prospecções e Aerofotogrametria S/A; b) pelo IBC-GERCA em 1972 na escala 1:25.000, Serviço Aerofotogramétrico da Cruzeiro do Sul S/A e c) pela empresa Base Aerofotogrametria e Projetos Ltda, na escala 1:30.000, de Julho de 2006.

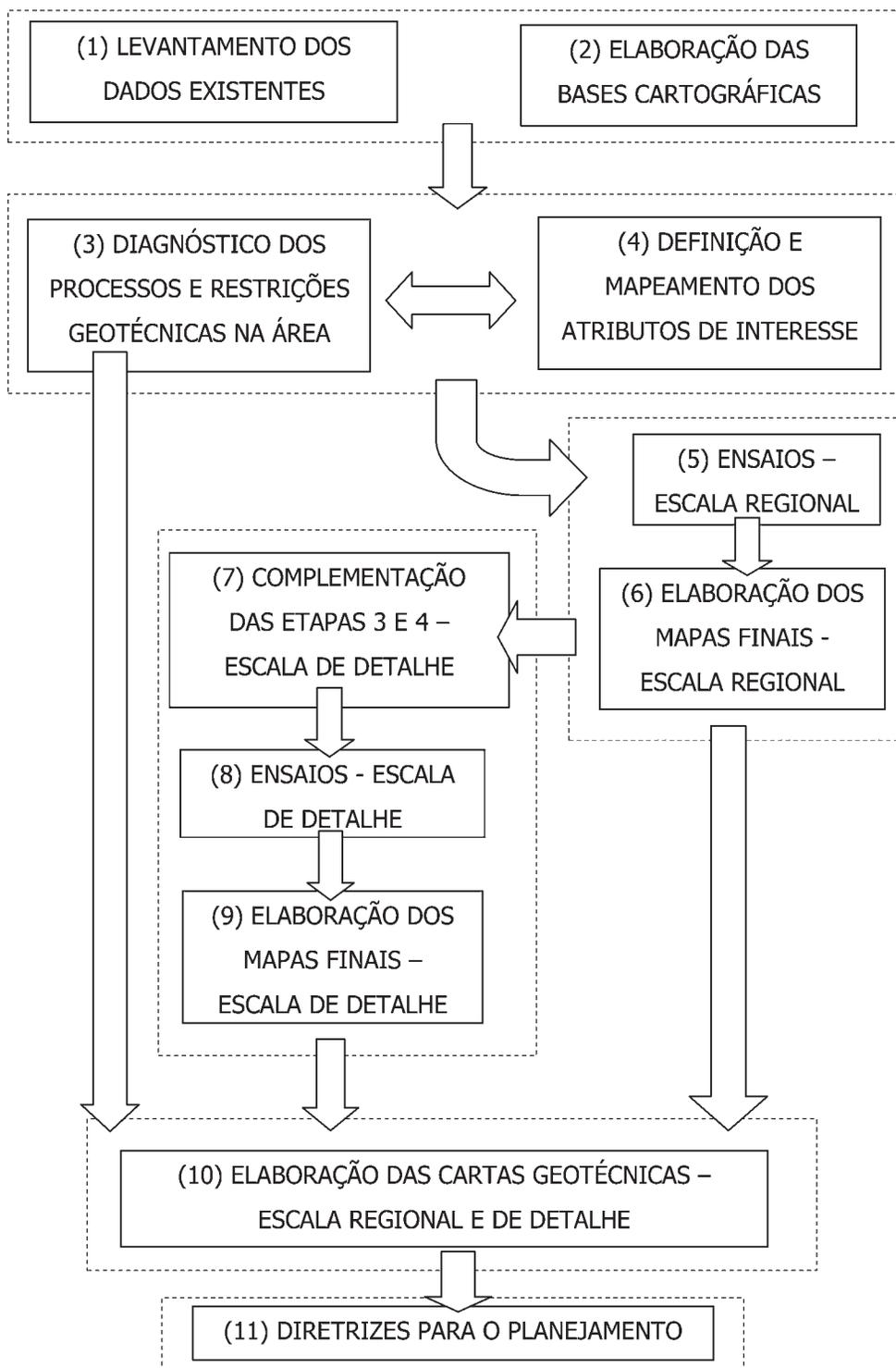


Fig. 1 – Fluxograma do método aplicado.

Os atributos do meio físico considerados de interesse para a elaboração da carta geotécnica do município de Analândia foram: substrato rochoso e materiais inconsolidados, declividades e uso do solo.

No mapeamento dos materiais inconsolidados o objetivo foi o de identificar quais são os perfis típicos da área. Considerou-se um perfil típico como a seção vertical ideal, elaborada a partir da generalização das informações obtidas de fontes diversas, que organiza as camadas de materiais inconsolidados e indica intervalos de espessura típicos para aquele material em determinada posição topográfica (Almeida, 2000).

O traçado das unidades foi realizado com base nas informações colhidas nos trabalhos de campo, na interpretação das fotografias aéreas, na interpretação dos resultados dos ensaios e no Mapa das Formações Geológicas de Superfície, escala 1:50.000, da folha SF-23-Y-A-I-2 (Corumbataí), publicado pelo Instituto Geológico da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo em 1984.

O mapa de declividades para a escala regional foi gerado a partir das bases topográficas na escala 1:50.000, utilizando-se as rotinas do programa ArcView 3.2. Foi utilizado “grid” com malha de 25 metros para obtenção do modelo digital do terreno.

Como mapa de uso do solo foi adotado o trabalho de Ferreira (2005), que realizou a classificação supervisionada da imagem TM Landsat de 21 de março de 2001, para geração de um mapa de uso do solo do município de Analândia. Além disso, foi realizado um levantamento junto ao Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), através do Cadastro Mineiro, disponível em <https://sistemas.dnpm.gov.br/sicom/resultado.asp>, dos processos relativos à exploração mineral que abrangem áreas do município de Analândia.

3.4 – Etapa 5: ensaios de caracterização – escala regional

Foram realizados os seguintes ensaios para caracterização dos horizontes dos perfis típicos de materiais inconsolidados: granulometria conjunta (NBR-7181/84), com a utilização do hexametáfosfato de sódio como defloculante, determinação da massa específica dos sólidos (NBR-6508/84), determinação dos limites de consistência (NBR-6459/84 e NBR-7180/84) e o ensaio de determinação da massa específica seca do material (Zuquete, 1987). Por correlação foram calculados o índice de vazios e o grau de saturação dos materiais ensaiados.

3.5 – Etapa 6: elaboração do mapa final de materiais inconsolidados – escala regional

A distribuição dos materiais inconsolidados proposta em um mapa preliminar elaborado na etapa 4 foi analisada em função dos resultados dos ensaios de caracterização, e, a partir daí, foi elaborado o mapa final de materiais inconsolidados na escala 1:50.000. Ao final desta etapa estava confirmada a necessidade de mapeamento do perímetro urbano em escala de maior detalhe, pois os processos do meio físico encontram-se acelerados nesta região.

3.6 – Etapa 7: complementação das etapas 3 e 4 - mapeamento geotécnico do perímetro urbano – escala de detalhe

A área abrangida pelo perímetro urbano foi escolhida como aquela em que a execução do mapeamento geotécnico em escala de detalhe (1:10.000) era mais importante. Em vista disso, os trabalhos de elaboração das bases cartográficas (etapa 2), diagnóstico dos processos instalados (etapa 3) e de mapeamento dos atributos (etapa 4) foram complementados.

Para a elaboração da base topográfica na escala de detalhe, as folhas topográficas SF-23-Y-A-I-2-NO-F, Analândia I, e SF-23-Y-A-I-2-SO-B, Analândia II, ambas na escala 1:10.000 e elabora-

das pela Secretaria de Economia e Planejamento do Estado de São Paulo em 1979, foram escaneadas, georeferenciadas e vetorizadas.

Para complementação e atualização da malha urbana foi utilizado o levantamento aerofotogramétrico realizado pela empresa Base Aerofotogrametria e Projetos Ltda, na escala 1:30.000, de Julho de 2006.

O mapa de uso do solo da área de expansão urbana foi elaborado através de interpretação visual deste mesmo levantamento e de observações de campo.

As técnicas utilizadas para o diagnóstico dos processos instalados e delimitação dos atributos substrato rochoso e materiais inconsolidados foram descritas no item 3.3.

O mapa de declividades foi gerado a partir das bases topográficas na escala 1:10.000, utilizando-se as rotinas do programa ArcView 3.2. Foi utilizado “grid” com malha de 5 metros para obtenção do modelo TIN.

3.7 – Etapa 8: ensaios e dados quantitativos – escala de detalhe

Para complementação das informações qualitativas sobre os aspectos geológico-geotécnicos do meio físico, foram reunidos os dados de sondagens a percussão executados na cidade.

3.8 – Etapa 9: elaboração do mapa final de materiais inconsolidados – escala de detalhe

A distribuição dos atributos proposta em um mapa preliminar de materiais inconsolidados, elaborado na etapa 7, foi analisada em função dos resultados das sondagens de simples reconhecimento, e então foi elaborado o mapa final de materiais inconsolidados na escala 1:10.000.

3.9 – Etapa 10: elaboração das cartas geotécnicas – escalas regional e de detalhe

Através da avaliação crítica de todos os dados reunidos ao longo da pesquisa sobre os atributos substrato rochoso, materiais inconsolidados, declividades e sobre os processos do meio físico que ocorrem na área, tanto em nível regional, quanto em nível de detalhe, foram confeccionadas as cartas geotécnicas do município de Analândia e da área de expansão urbana.

3.10 – Etapa 11: diretrizes para o planejamento do uso do solo

As diretrizes para o planejamento do uso do solo foram elaboradas a partir da avaliação das aptidões de cada unidade geotécnica para o uso rural (escala regional) e para o uso urbano (escala local), bem como da elaboração de mapas de conflito de uso, considerando-se o atributo uso do solo, mapeado nas fases anteriores.

4 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Analândia tem área de 327 km² e faz divisa com os municípios de Corumbataí, Itirapina, São Carlos, Descalvado, Pirassununga e Santa Cruz da Conceição. O relevo predominante é suave ondulado a ondulado, sendo a frente escarpada das cuestas e alguns morros testemunhos dos destaques mais importantes da paisagem regional.

O núcleo urbano está localizado aproximadamente em posição central no município, na latitude 22°08'S e longitude 47°40'W. A cidade dista 250 km da capital e o acesso à mesma é realizado pela rodovia SP-225.



Fig. 2 – Localização da área de trabalho.

Neste município estão situadas as nascentes de contribuintes para as bacias dos rios Corumbataí, Mogi-Guaçu e Jacaré-Guaçu, ou seja, a qualidade das águas nesta região afeta o abastecimento público de cidades como Rio Claro, Piracicaba, Descalvado e São Carlos, além do próprio município.

Para a espacialização dos resultados e orientação ao planejamento das ações de gestão municipal o município foi dividido em 8 sub-bacias, apresentadas na figura 3.

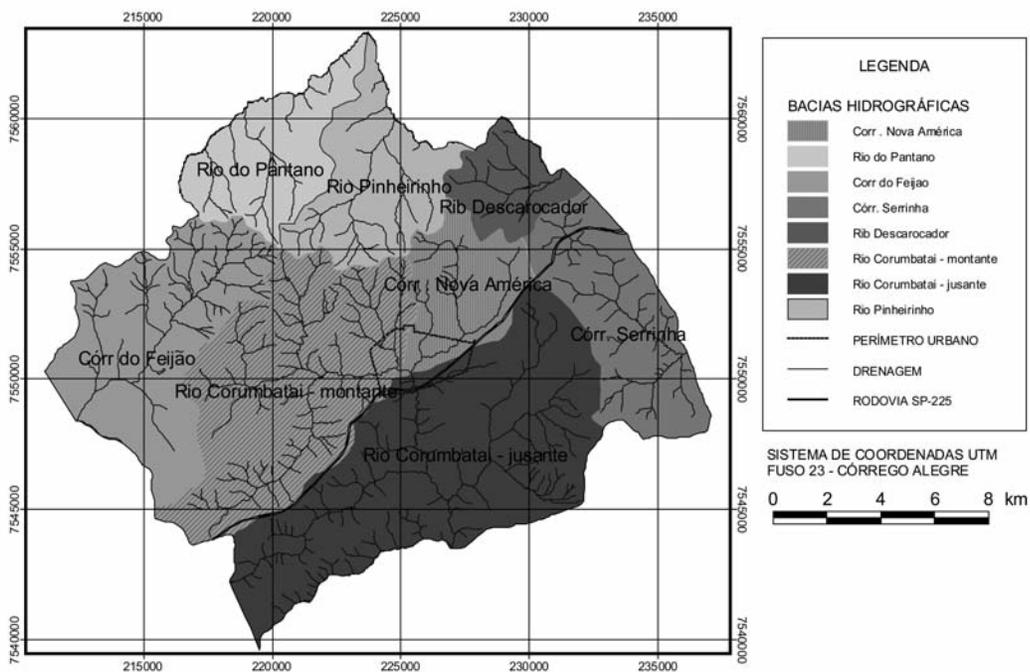


Fig. 3 – Sub-bacias para planejamento das ações de gestão do uso do solo no município de Analândia – SP.

Outra justificativa para o planejamento do uso do solo municipal é o fato do município de Analândia estar inserido parcialmente em duas áreas de proteção ambiental (APA) estaduais, a saber: APA Corumbataí-Botucatu-Tejupá e APA Piracicaba-Juqueri-Mirim.

Outrossim, entre 1980 e 2000 a população urbana do município de Analândia mais do que dobrou, e o avanço da área urbana desencadeou uma série de processos de degradação do meio físico, notadamente erosão acelerada.

Além disso, no município de Analândia está sediada uma das maiores minerações de areia industrial do país, sendo necessário o planejamento do uso do solo municipal para garantir a exploração deste bem mineral em condições sustentáveis.

5 – RESULTADOS

5.1 – Mapeamento dos atributos

5.1.1 – *Substrato rochoso*

No município de Analândia ocorrem rochas atribuídas às formações Pirambóia, Serra Geral, Botucatu e Itaqueri.

As rochas pertencentes à Formação Pirambóia ocupam 71% da área municipal, correspondendo às regiões colinosas de cota entre 560 e 800 metros em relação ao nível do mar. Elas estão recobertas em grandes extensões por materiais inconsolidados transportados mais recentemente, atribuídos à Formação Santa Rita do Passa Quatro. Por este motivo, as rochas da Formação Pirambóia afloram apenas nas porções sul e sudeste do município, nos vales dos rios Corumbataí e afluentes e no vale do Córrego do Capim Fino.

Elas se caracterizam como camadas de arenitos finos a médios, intercaladas a camadas de conglomerados arenosos ou arenitos conglomeráticos, ou intercaladas a camadas de argila arenosa.

Onde ocorrem camadas argilosas formam-se níveis d'água suspensos, com surgência de água na encosta ou exsudação de água nos taludes de corte artificiais. Também se verificou que comumente ocorre surgência de água no contato solo transportado-rocha, quando esta formação está capeada por materiais coluvionares recentes. Há registros da existência de cavernas nestes arenitos.

Quanto à Formação Serra Geral, em Analândia é possível delimitar ao menos três tipos de rochas ígneas associadas a esta formação: derrames propriamente ditos, intrusivas colocadas como soleiras, que acompanham a grosso modo as camadas sedimentares da região, e diques.

Os basaltos foram identificados no topo da Serra do Cuscuzeiro, com pequena espessura e pequena distribuição em área. Os diques produzem normalmente relevos positivos em relação às rochas da Formação Pirambóia e destacam-se como cristas alinhadas na paisagem.

A principal soleira sustenta o que se denominou de escarpa inferior, que corresponde ao degrau topográfico entre as cotas 760 e 800 metros, verificado ao longo dos vales dos rios Corumbataí, Ribeirão do Retiro, Ribeirão da Barra e Córrego Santa Terezinha. Trata-se de rochas básicas faneríticas finas, de cor cinza escura. Também ocorrem soleiras de formato mais irregular e menor continuidade em área, principalmente nas proximidades da cidade de Analândia. São rochas faneríticas finas a médias, variando de ocorrência para ocorrência, com cor cinza escura.

As rochas atribuídas à Formação Botucatu ocorrem em cotas superiores a 800 metros em relação ao nível do mar, e caracterizam-se como arenitos silicificados, que sustentam o que se denominou de escarpa superior. Esta escarpa corresponde ao degrau topográfico existente entre as cotas 800 e 900 metros e compõe a borda das serras do Cuscuzeiro, do Atalaia e da Serra Grande.

No topo das serras do Cuscuzeiro, da Atalaia e da Serra Grande ocorrem as litologias atribuídas à Formação Itaqueri. São principalmente conglomerados de matriz argilosa ou argilo-arenosa, com seixos milimétricos a decimétricos. Também ocorrem pacotes de camadas centimétricas com proporções variadas de matriz e seixos (variando, portanto, de argilitos arenosos a conglomerados) e com seixos de tamanhos diversos. Nos afloramentos desta formação não foram observadas rochas sãs ou rochas alteradas duras (conforme definição de Vaz, 1996). As rochas encontravam-se sempre como rocha alterada mole (RAM), ou seja, materiais que só podem ser escavados manualmente com picareta ou, mecanicamente, com escarificador.

5.1.2 – Materiais inconsolidados

Os materiais inconsolidados foram classificados em dois grandes grupos: transportados e residuais. Em Analândia foram mapeadas 4 unidades de solos residuais e 5 unidades de solos transportados.

O perfil típico dos solos residuais desenvolvidos sobre a Formação Pirambóia, para declividades da ordem de 10-30%, pode ser definido como uma camada de rocha alterada mole com cor variegada (branco, marrom claro, vermelho), sob uma camada de solo de alteração ou saprolito (SA), arenoso, com espessura de um metro, mais friável e de coloração mais homogênea, porém ainda variegada. Mais próximo da superfície ocorre o solo eluvial (SE), de cor marrom, que se sobrepõe ao SA. Sua espessura total é de 60 centímetros. Os horizontes SA e SE têm características semelhantes em termos geotécnicos, caracterizando-se como solos arenosos, onde predominam as frações areia fina e areia média, não plásticos e classificados como A-2-4 no sistema rodoviário (HRB-AASHTO). Estes solos são explorados como areias industriais.

Nas regiões de relevo mais suave, o solo eluvial tem espessura superior a 1,5 metro. A estrutura do material é homogênea, maciça e a cor é marrom ou marrom claro. O material predominante é descrito como uma camada de areia fina pouco argilosa, marrom claro, sem estrutura visível, com raros grânulos subangulosos milimétricos de quartzo.

Nas regiões com declividade superior a 30% a RAM passa a SA, sendo que o contato entre ambos acompanha a estratificação. O SA é relativamente mais friável e homogêneo que a RAM, em relação à cor e às estruturas, e tem espessura entorno de 70 centímetros. Nestas situações não se desenvolve solo eluvial.

Os materiais inconsolidados residuais da Formação Botucatu caracterizam-se como areias finas quartzosas, com raros grãos de areia grossa, sem estrutura visível, com cor marrom, bastante friáveis e classificados como A-2-4 no sistema rodoviário. Em todos os afloramentos, alguns com altura de exposição superior a 5 metros, observou-se apenas o horizonte de solo eluvial (conforme definição de Vaz, 1996).

Os materiais inconsolidados residuais da Formação Serra Geral têm pequena distribuição geográfica e normalmente pequena espessura, pois os afloramentos destas litologias no município de Analândia estão restritos a relevos escarpados ou a morros de cristas pontiagudas, com declividades elevadas nas encostas.

O perfil típico de alteração destas litologias é composto por uma camada mais superficial de solo eluvial, argiloso, homogêneo, de cor vinho, com espessura que varia de 50 centímetros (encostas) a 2 metros (topo de morro), classificado como A-7-5 no sistema rodoviário. Sob esta camada ocorre o saprolito, composto por blocos de rocha alterada dura (RAD), milimétricos a centimétricos, dispersos em matriz argilosa de cor vinho. A alteração intempérica é tipicamente esferoidal, aumentando a proporção de RAD e de rocha sã, conforme se aprofunda o perfil. Os solos resultantes da alteração das rochas básicas em Analândia são normalmente solos pouco desenvolvidos, ocorrendo à superfície diversos blocos de RAD, centimétricos, arredondados.

Quanto aos solos residuais desenvolvidos sobre a Formação Itaqueri, foram identificados três tipos de materiais, cujos perfis típicos são:

- Solos desenvolvidos sobre rochas areno-conglomeráticas: horizonte de solo de alteração, em que a alternância de camadas mais e menos conglomeráticas está nítida, ou seja, a estrutura sedimentar está preservada, apesar de os minerais já terem sofrido alteração. As camadas têm espessura centimétrica e matriz argilosa ou areno-argilosa, com seixos de dimensões variadas. Sua cor é marrom. Não há solo eluvial desenvolvido. Nas áreas preparadas para plantio são abundantes os seixos de dimensões decimétricas e concreções lateríticas, o que é desfavorável para a agricultura mecanizada.
- Solos desenvolvidos sobre conglomerados: horizonte de solo de alteração, de cor vermelha e branca, com espessura superior a 2 metros, micáceo, e com a estrutura dos conglomerados preservada, que passa a solo eluvial de cor vermelha, argiloso com grânulos e seixos e de estrutura maciça.
- Couraças ferruginosas: nos topos dos morros ocorre solo residual concrecionário (laterizado), que pode ter vários metros de espessura. Este horizonte concrecionário caracteriza-se como material de 2ª categoria nos contratos de escavação, ou seja, só pode ser escavado mecanicamente com escarificador. Sobre esta camada está desenvolvido solo eluvial com espessura aproximada de 50 centímetros, composto por camada de areia argilo-siltosa, com grânulos de quartzo milimétricos e fragmentos de carvão, estrutura maciça e cor marrom claro ou marrom.

Sob a denominação Formação Santa Rita do Passa Quatro foram agrupados todos os materiais inconsolidados de idade (terciário?)-quaternária (Melo, 1995) presentes na área do município, exceto aqueles que se encontram claramente associados às drenagens e escarpas atuais, que foram mapeados como aluviões e tálus recentes. Optou-se por manter a denominação Formação Santa Rita do Passa Quatro, que já tem sido utilizada na região, e entende-se que os depósitos nela reunidos abrangem um espectro amplo de sedimentos continentais. Não foram observados afloramentos de rocha nesta unidade, sendo bastante provável que estes sedimentos não tenham sofrido processo de consolidação e diagênese.

O material mais característico da Formação Santa Rita do Passa Quatro no município de Anápolis são as areias finas a médias com (ou sem) grânulos milimétricos de quartzo. Trata-se de materiais sem estrutura visível, com colorações diversas, sempre homogêneas em um mesmo afloramento, podendo ser marrons, marrons claros, ou de cor laranja. Normalmente não apresentam diferenciação em horizontes de solos com características geotécnicas distintas. Classificam-se como solos A-2-4 no sistema rodoviário. Estes materiais ocupam normalmente as colinas amplas e interflúvios. São explorados como areia industrial (para a indústria de fundição) e como areia para construção.

O segundo tipo de material com expressiva distribuição em área e continuidade lateral atribuído a esta formação corresponde às areias argilosas com raros grânulos milimétricos de quartzo e de rocha básica alterada, que afloram no topo de colinas amplas ou no topo aplainado das escarpas que compõem os divisores de águas dos rios Corumbataí, Ribeirão do Retiro e Ribeirão da Barra. Sua ocorrência está normalmente associada à proximidade de intrusivas básicas, sendo que os sedimentos ocorrem como capeamento da intrusão ou lateralmente a ela. A coloração do material é marrom avermelhado. Eles se classificam como solos A-2-4 no sistema rodoviário. Apenas localmente foram identificadas linhas de seixos, por vezes na base, por vezes no meio do depósito.

O terceiro grupo de materiais inconsolidados atribuídos à Formação Santa Rita do Passa Quatro corresponde a um pacote de camadas sedimentares alternadas, com diferentes características granulométricas e espessuras que variam de poucos centímetros a poucos metros. São camadas de areias

com grânulos milimétricos, areias argilosas com grânulos milimétricos, areias com grânulos e seixos milimétricos a decimétricos e cascalhos com quantidades variadas de matriz arenosa. Também são comuns fragmentos de carvão milimétricos a centimétricos nesta unidade. Melo (1995) interpreta tais depósitos como possíveis remanescentes de ocorrências maiores (paleotálus) situadas ao longo do sopé da escarpa de cuesta, quando esta ainda não se encontrava recuada para a posição atual.

Os materiais associados a depósitos de tálus recentes caracterizam-se como areias finas argilosas ou areias finas, de cores marrom ou marrom claro, friáveis, maciças, onde podem estar presentes fragmentos de carvão, e que estão associadas a blocos de arenito de dimensões métricas. No contato do tálus com a rocha alterada dura ocorre surgência de água.

Os aluviões recentes caracterizam-se por camadas de areias pouco argilosas ou areias muito argilosas, saturadas, plásticas, de cores cinza claro a cinza escuro. Ocupam grandes extensões, principalmente na bacia do Rio do Pântano, a norte da Serra do Cuscuzeiro e na bacia do Ribeirão do Feijão, sempre associados às planícies dos rios atuais.

Os colúvios recentes ocorrem frequentemente na área mapeada, porém têm normalmente pequena espessura e pequena continuidade lateral, não podendo ser individualizados nas escalas de mapeamento adotadas.

Para caracterização geotécnica dos horizontes que compõem os perfis típicos e alteração das unidades de materiais inconsolidados foram realizados ensaios de caracterização, cujos resultados médios são apresentados no quadro 1. Com base nestes dados os materiais inconsolidados puderam ser classificados utilizando-se o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS) e a classificação rodoviária (Sistema HRB-AASHTO).

Quadro 1 – Resultados dos ensaios de caracterização dos materiais inconsolidados.

Camada	Granulometria NBR 6502/95				e _{campo}	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Classificação	
	P (%)	AR (%)	SI (%)	AG (%)					Sistema Unifi- cado	Sistema Rodo- viário
SE Pirambóia	2	86	4	8	0,804	–	–	NP	SM	A-2-4
SA Pirambóia	0	90	4	6	ND	–	–	NP	SW-SM	A-2-4
SE Botucatu	0	86	5	9	ND	–	–	NP	SM	A-2-4
SE Basalto (Fm Serra Geral)	0	6	29	65	1,593	98	46	52	MH	A-7-5
SA Itaqueri areno- conglomerático	9	39	13	39	1,191	39	25	14	CL-ML	A-6
SA Itaqueri conglomerático.	1	54	17	28	0,880	45	26	19	SC-SM	A-7-5
SE Itaqueri concrecionário	4	52	20	24	0,924	37	29	8	SM	A-4
SRPQ arenoso	0	90	3	7	0,854	–	–	NP	SP-SM	A-2-4
SRPQ areno- argiloso	1	78	4	17	0,882	24	15	9	SC	A-2-4

Legenda: P = pedregulho; AR = areia; SI = silte; AG = argila; NP = não plástico; ND = não determinado
SRPQ = solo residual da Formação Santa Rita do Passa Quatro; SA = solo de alteração; SE = solo eluvial

5.1.3 – Declividades

Quanto às declividades, predominam no município de Analândia declividades entre 0 e 3% e entre 6,1 e 12%, conforme quadro 2.

Quadro 2 – Porcentagem em área das classes de declividade no município de Analândia

Classe de Declividade	Porcentagem em área no município
0 - 3%	30,5%
3,1 – 6,0%	10,7%
6,1 – 12,0%	24,2%
12,1 – 20%	17,3%
20,1 – 30%	9,9%
30,1 – 60%	6,9%
60,1 – 100%	0,5%

OBS: Declividades acima de 100% ocorrem em área inferior a 0,02% do município.

Foram adotadas as classes de declividade sugeridas por Klingebiel e Montgomery (1961, apud Salomão e Iwasa, 1995), pois estas refletem situações de interesse para o planejamento de práticas de conservação do solo em área de uso agrícola, como convém para a elaboração do plano diretor do município de Analândia. A classe de declividades superiores a 20 % foi subdividida para destacar os processos de movimentos de massas em que predomina a ação da gravidade, como é o caso de escorregamentos.

Na área de expansão urbana predominam declividades entre 0 e 15%, conforme quadro 3.

Quadro 3 – Porcentagem em área das classes de declividade na área de expansão urbana.

Classe de Declividade	Porcentagem na área de expansão urbana
0 – 5%	19,5%
5,1 – 15%	58,9%
15,1 – 20%	11,6%
20,1 – 30%	7,5%
> 30%	2,6%

Foram adotadas as classes sugeridas por Instituto Geológico (1993, apud Costa, 1996), pois estas refletem situações de interesse para o planejamento do uso do solo em áreas urbanas.

5.1.4 – Cobertura e uso do solo

Quanto ao uso do solo, Ferreira (2005) concluiu que no município de Analândia o uso do solo é predominantemente rural, sendo a maior parcela das terras ocupada por pastagens e cana-de-açúcar, que juntas perfazem 45% da área total do município. O quadro 4 apresenta a porcentagem em área que cada uso do solo ocupava no município em 2001.

Com relação às bacias hidrográficas, o uso do solo se distribui como apresentado no quadro 5.

Nos trabalhos de campo verificou-se que áreas ocupadas por pastagens foram ou estão sendo substituídas por plantações de cana-de-açúcar, de eucaliptos ou de laranja. Este fenômeno já havia sido constatado por Ferreira (2005), que o coloca como uma consequência do fato de que a pecuária extensiva é atualmente uma atividade econômica de baixa rentabilidade.

Quadro 4 – Superfície relativa das classes de uso e cobertura do solo no município de Analândia.

Uso do solo	Porcentagem relativa em área
Solo exposto	1,74%
Mata	15,49%
Citricultura	10,23%
Mata ciliar	8,79%
Área urbana	0,69%
Represas e lagos	0,18%
Cana-de-açúcar	15,85%
Mata secundária	10,16%
Pastagem	29,06%
Silvicultura	7,75%
Total	100,00%

Extraído de Ferreira (2005).

Outro aspecto importante com relação ao uso do solo no município de Analândia é o setor mineral. No município se localiza uma das maiores minerações de areia industrial do país. Trata-se da Mineração Jundu, cuja cava se localiza a 3,5 quilômetros da área urbana. Além disso, SMA/IG (2002, apud Torezan, 2005) já havia selecionado parte do município como área de interesse especial quanto a aspectos relacionados à exploração atual, ao potencial de incremento na atividade, aos conflitos ou à proximidade a áreas urbanas ou Unidades de Conservação, em trabalho de levantamento da atividade de mineração na bacia hidrográfica do rio Mogi-Guaçu. O fato se deve por tra-

Quadro 5 – Frequência das classes de uso do solo por bacia hidrográfica.

Uso do solo	Rio do Pântano	Córr. Serrinha	Rio Pinheirinho	Córr. Nova América
Mata	48%	34%	35%	28%
Reflorestamento	1%	2%	0%	3%
Citricultura	0%	10%	4%	10%
Cana de açúcar	10%	38%	8%	10%
Pastagem	38%	15%	52%	43%
Área urbana	0%	0%	0%	6%
Solo exposto	3%	1%	1%	0%
Total	100%	100%	100%	100%

tar de uma região com expressiva concentração de processos de requerimentos e autorizações de pesquisa mineral junto ao DNPM, principalmente para areia industrial.

No quadro 6 é apresentada sua distribuição em área dos processos de pesquisa mineral em tramitação junto ao DNPM em novembro de 2006.

Quadro 5 – Frequência das classes de uso do solo por bacia hidrográfica. (continuação)

Uso do solo	Córr. do Feijão	Rib. Descaroador	Corumb. montante	Corumb. jusante
Mata	33%	16%	39%	40%
Reflorestamento	11%	0%	1%	13%
Citricultura	17%	47%	17%	0%
Cana de açúcar	13%	0%	16%	17%
Pastagem	26%	35%	25%	26%
Área urbana	0%	0%	1%	1%
Solo exposto	0%	2%	1%	3%
Total	100%	100%	100%	100%

Quadro 6 – Distribuição em área, por bem mineral.

Bem mineral	% da área municipal
Areia industrial, para fundição e para vidro	10,4%
Areia para construção civil	3,8%
Argila refratária, argila aluminosa, argila, turfa	11,8%
Água mineral, água potável de mesa	3,6%
Arenito para corretivo de solo	0,1%
Áreas não requeridas	70,3%

Apesar da atividade de mineração não restringir necessariamente o uso do solo por outras atividades, deve-se considerar, para a elaboração de planos diretores, que a extração mineral envolve rigidez locacional, devido ao fato do bem mineral não estar disponível naturalmente em todos os locais, e promove impactos positivos e negativos para outros tipos de uso, por exemplo, com a implantação de cavas de mineração a céu aberto. Devido à rigidez locacional, a mineração deverá ser considerada prioritária em relação a outros usos, que podem ser executados em outras áreas.

Com relação ao uso do solo na área de expansão urbana, que tem ao todo 7,18 km², foram definidas 11 classes de uso, a saber:

- Áreas pouco adensadas e/ou não ocupadas: correspondem aos loteamentos abertos (com ar-ruamento implantado), onde praticamente não há edificações construídas, e às áreas inseridas na malha urbana ainda não loteadas. Em todas estas áreas as terras são esporadicamente utilizadas como pastagens e a vegetação é do tipo campo;
- Áreas com adensamento médio: correspondem às áreas com loteamentos implantados em que há edificações construídas, porém ainda predominam áreas não impermeabilizadas em relação às áreas impermeabilizadas;

- Áreas com adensamento elevado: correspondem às áreas com loteamentos implantados em que há edificações construídas e onde as áreas impermeabilizadas superam as áreas não impermeabilizadas;
- Loteamentos com vegetação do tipo cerrado: trata-se de loteamentos abertos nas décadas de 1960-1970, em que a infra-estrutura urbana não foi implantada e onde não se construíram edificações, havendo atualmente na quadras vegetação do tipo cerrado;
- Mata e/ou cerrado: vegetação do tipo mata ciliar ou cerrado;
- Silvicultura: vegetação do tipo eucalipto ou pinus, explorada de forma comercial;
- Pastagem: áreas de campos, exploradas comercialmente como pastagens para gado;
- Cana-de-açúcar: áreas utilizadas para o cultivo de cana-de-açúcar;
- Citricultura: áreas utilizadas para o cultivo de laranja;
- Mineração: cava e solo exposto em área de mineração de areia para construção civil;
- Estrada: estrada asfaltada, administrada pelo Departamento Estadual de Estradas de Rodagem (DER), que liga Analândia às cidades de Pirassununga e de Itirapina (SP-225).

Dentre estes usos, aqueles que abrangem maior porcentagem da área de expansão urbana são as áreas urbanizadas pouco adensadas e com adensamento médio (quadro 7). Além disso, identificou-se que 28,7% da área de expansão urbana está ocupada por usos não urbanos, e que dos 71,3% ocupados com usos urbanos, apenas 33,4% encontram-se medianamente a fortemente adensados.

Quadro 7 – Superfície relativa das classes de uso e cobertura do solo na área de expansão urbana de Analândia.

Uso do solo na área de expansão urbana	Porcentagem relativa em área
Usos urbanos	
Pouco adensado ou não ocupado	26,7%
Adensamento médio	22,8%
Adensamento elevado	10,6%
Loteamentos com cerrado	11,1%
Outros usos	
Mata e/ou cerrado	14,7%
Silvicultura	3,3%
Pastagem	6,1%
Cana-de-açúcar	1,6%
Citricultura	0,3%
Mineração	1,1%
Estrada	1,6%
Total	100,00%

Deve-se ainda destacar a existência de loteamentos abertos nas décadas de 1960 e 1970, que não foram ocupados e que se encontram atualmente tomados por vegetação do tipo cerrado. A APA Piracicaba- Jundiá-Mirim proíbe explicitamente o desmatamento em áreas urbanas, o que cerceia a ocupação destas áreas.

5.2 – Levantamento dos processos geológico-geotécnicos instalados

A erosão figura como o processo de degradação do meio físico mais notável no município de Analândia. A maior parte do município apresenta solos arenosos, o que favorece a instalação dos processos erosivos. Porém, mesmo em regiões onde predominam solos argilosos, foram verificadas ravinas, ainda que em menor quantidade.

A ocorrência de erosão laminar é evidente nos terrenos do município em que o solo se encontra total ou parcialmente exposto. As áreas de exploração de cascalho para manutenção de rodovias, atualmente desativadas, porém não recuperadas, são alguns dos focos deste tipo de erosão. Além disso, verificou-se que o preparo do solo para a plantação de cana-de-açúcar envolve grande movimentação de terra, especialmente em áreas ocupadas por pastagens e que passarão a receber esta cultura. Nestes casos o preparo do solo promove o aterramento de feições erosivas lineares, porém disponibiliza grande volume de material solto à superfície, que será facilmente carregado pela erosão laminar durante os períodos chuvosos.

A erosão em sulcos manifesta-se principalmente em áreas de pastagens, com declividades superiores a 24%, e está normalmente relacionada às trilhas de gado, que se tornam pontos de concentração do escoamento das águas de chuvas. Não se verificou a sua evolução para ravinas, mesmo em áreas que têm sido utilizadas como pastagens desde a década de 1960.

Por outro lado, verificou-se que a alteração do uso do solo, de pastagem para agricultura mecanizada (cana-de-açúcar, eucalipto ou laranja) resultou na correção destas erosões, de tal forma que hoje em dia não se percebem mais sulcos em locais onde claramente havia grandes concentrações em 1962.

Outra ocorrência comum de sulcos é no leito das estradas de terra, tanto na área urbana quanto na área rural. Isto se verifica tanto em regiões de solos arenosos, quanto em regiões de solos argilosos e está relacionado à ausência de um sistema de drenagem adequado. Nas estradas municipais são previstos camaleões, sangras e caixas de infiltração para contenção da erosão, porém em muitas situações estes dispositivos não estão implantados ainda. O mesmo tipo de contenção é utilizado em algumas vias urbanas. O procedimento adotado para correção dos sulcos (e ravinas) é o de aprofundar o leito (tanto em área urbana, quanto em área rural), o que resulta em vias cada vez mais encaixadas no terreno e concentrando cada vez mais o escoamento superficial. O mesmo se verifica nas estradas secundárias das plantações de cana-de-açúcar em épocas de entressafra, pois não há manutenção das vias.

As ravinas e boçorocas são bastante comuns no município de Analândia. A análise dos comprimentos totais de erosões lineares identificadas nas fotos aéreas de 1962, de 1972 e de 2006, bem como dos dados levantados em campo, indicou que a maior parte das ravinas e boçorocas do município já estava instalada em 1962. Seu surgimento deve estar relacionado à expansão da fronteira agrícola no estado de São Paulo e ao desmatamento para plantio de café que ocorreu no fim do século XIX e início do século XX.

Para corroborar esta afirmação, verificou-se que o comprimento total de erosões lineares no município de Analândia diminuiu significativamente entre 1962 e 1972. O quadro 8 apresenta os dados referentes a esta redução, sendo possível verificar que ela ocorreu em todas as bacias hidrográficas do município. A análise por bacias hidrográficas é relevante, pois estas têm sido cada vez mais utilizadas em ações de planejamento ambiental e do uso e ocupação do solo.

Na comparação dos comprimentos de erosões lineares com a situação atual, para área de 97 km², para a qual se dispunham das fotografias aéreas de 2006, verifica-se que o comprimento de erosões lineares diminuiu ainda mais entre 1972 e 2006 nas áreas rurais, porém cresceu no perímetro urbano.

Verificou-se nos trabalhos de campo, de forma análoga ao que ocorreu com algumas das concentrações de sulcos, que a implantação de agricultura mecanizada acarretou na correção de algu -

Quadro 8 – Densidade de erosões lineares por bacia hidrográfica, em 1962 e em 1972.

Bacia hidrográfica	Área da bacia (km ²)	Densidade de erosões (m/km ²)	
		1962	1972
Ribeirão do Pântano	26	27,3	8,5
Córrego do Pinheirinho	29	103,3	64,2
Ribeira Descaroador	14	87,9	51,4
Córrego Serrinha	35	278,3	141,2
Rio Corumbataí jusante	86	176,1	104,8
Córrego da Nova América	22	112,1	107,4
Rio Corumbataí montante	65	235,0	147,2
Córrego do Feijão	50	114,3	68,0
Totais	327	163,0	98,1

mas destas feições erosivas. Entretanto, o método de correção utilizado é o de se realizar aterros lançados (ou simplesmente empurrar a terra) para tampar os buracos de erosão, não havendo qualquer preocupação com drenagem de fundo (no caso das boçorocas) ou drenagem superficial, e muitas vezes a erosão linear volta a se manifestar na primeira estação chuvosa.

Muitas das ravinas e boçorocas identificadas nas fotos aéreas de 1962 e de 1972 encontram-se atualmente estabilizadas, com vegetação de porte arbóreo desenvolvida em seu interior. Em alguns casos elas se encontram praticamente estabilizadas, com atividade localizada, representada pelos escorregamentos de pequeno porte dos taludes laterais, em algum dos braços da feição, mas não em toda a extensão. Em outros casos elas ainda estão ativas em toda a extensão.

Como feições recentes na área urbana foram identificadas seis ravinas e uma boçoroca, que inexistiam em 1972, e ravinas relacionadas a estradas rurais e à rodovia SP-225. Todas estas feições são resultantes da concentração inadequada do escoamento superficial, que na implantação de novos bairros, quer na manutenção de ruas, estradas e rodovias.

Este conjunto de dados aponta para uma melhoria no manejo ambiental da região com relação ao quesito erosão, devido à adoção de técnicas de cultivo em curvas de nível e à substituição gradativa de pastagens por áreas de culturas perenes ou anuais, porém não atesta necessariamente que a erosão como um todo tenha diminuído, pois não se quantificam as perdas por erosão laminar.

Com relação aos fatores do meio físico mapeados, para os quais foram calculadas as densidades de erosões lineares (figuras 4 e 5), verificou-se que as erosões lineares aumentam progressivamente, conforme aumenta a declividade, até 30%. A partir desta declividade a quantidade de erosões tende a diminuir, ocorrendo uma diminuição significativa para declividades superiores a 60%.

Estes dados são congruentes com o esperado, pois, para declividades superiores a 60% a espessura de solo tende a diminuir e os processos de movimento de massas predominantes passam a ser os rastejos, os escorregamentos e as corridas de massa.

Com relação aos materiais inconsolidados, aqueles que apresentam as maiores densidades de erosão linear são os solos residuais desenvolvidos sobre as formações Pirambóia e Botucatu. Esperava-se que os materiais francamente arenosos pertencentes à Formação Santa Rita do Passa

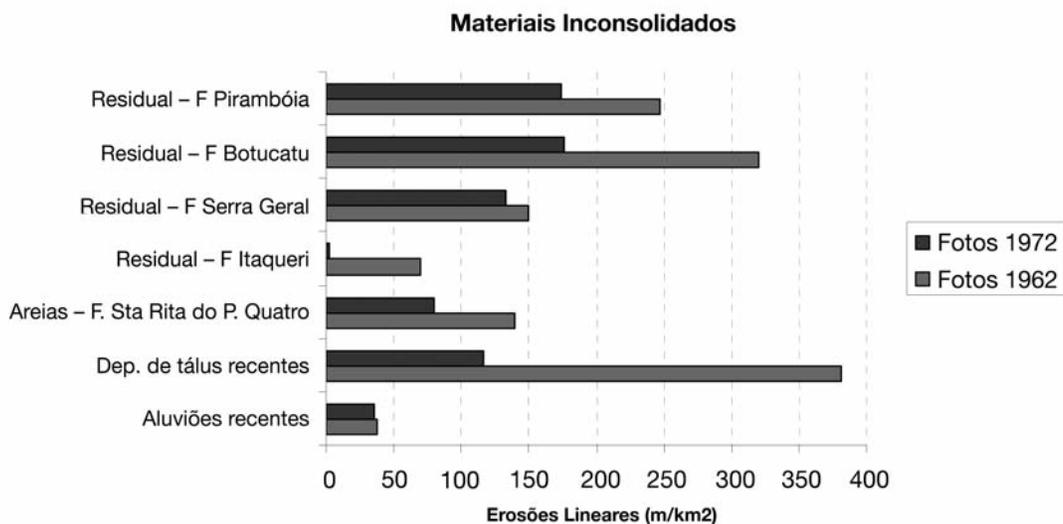


Fig. 4 – Densidade de erosões lineares, por classe de materiais inconsolidados, em 1962 e em 1972.

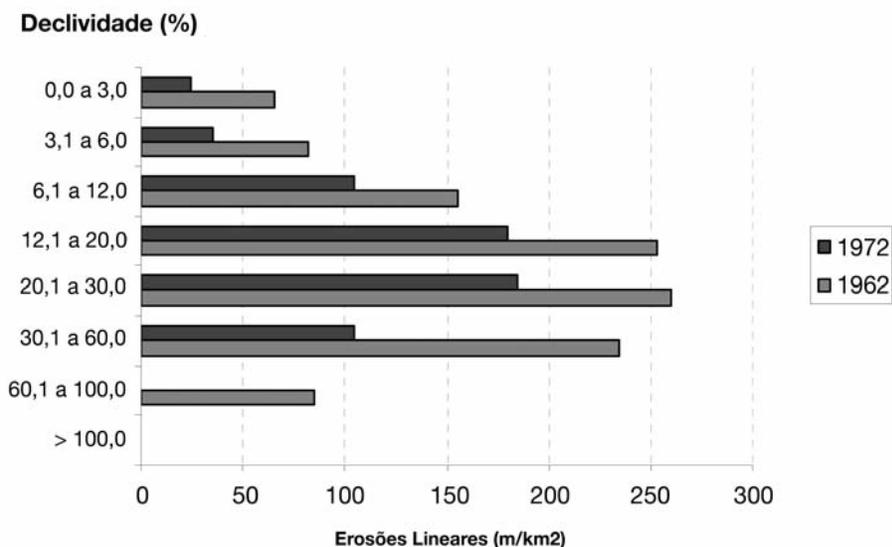


Fig. 5 – Densidade de erosões lineares, por classe de declividade, em 1962 e em 1972 (extraído de Hirai *et al.*, 2006).

Quatro apresentassem a terceira maior densidade, entretanto esta posição é ocupada pelos materiais residuais desenvolvidos sobre a Formação Serra Geral, que têm caráter argiloso no horizonte de solo residual maduro e silto-argiloso no horizonte de solo residual jovem.

Alem disso, na região de afloramento do arenito Pirambóia, são comuns boçorocas de pequeno porte, relacionadas à presença de níveis d'água suspensos neste pacote de rochas sedimentares, que intercala camadas impermeáveis de argilas e argilas arenosas, a camadas arenosas e conglomeráticas, bastante permeáveis.

Apesar da erosão ser um processo importante de degradação do meio físico no município de Analândia, não se verificam prejuízos significativos devido a assoreamentos e inundações no município.

Com relação a perdas econômicas devido ao acúmulo de sedimentos pode-se citar o completo assoreamento do lago do parque municipal, popularmente denominado “Lago da Bruxa”, localizado a jusante da boçoroca causada pela implantação do núcleo habitacional Nova Esperança.

Além disso, nos meses da estação chuvosa (verão) a Avenida Cinco, do bairro Centro, sofre constantes inundações. Estas inundações não estão, entretanto, relacionadas ao aumento da carga sedimentar transportada pelo rio Corumbataí. Devem-se principalmente à ocupação de uma área de várzea do rio e ao constante aterro desta área com entulhos e outros materiais para expansão do uso urbano.

Os movimentos de massa gravitacionais ocorrem como processos naturais de evolução das escarpas das serras do Cuscuzeiro, da Atalaia e Serra Grande. Trata-se normalmente de quedas de blocos, que geram corpos de tálus próximos ao sopé das escarpas. Eventualmente verificam-se cicatrizes de corridas de massa, associadas às drenagens que vencem as escarpas, através de aberturas mais significativas na vegetação. Estes processos encontram-se certamente acelerados pelo fato do topo da serra estar bastante desmatado e o uso do solo em áreas próximas às escarpas ser muitas vezes agricultura ou pastagem. Em quase toda a extensão da escarpa e da sua base encontra-se preservada a mata nativa, ou o uso do solo é rural, o que explica o fato de não haver perdas econômicas significativas relacionadas a estes deslizamentos.

Nas escarpas dos vales dos ribeirões do Retiro e da Barra também foram observadas cicatrizes de escorregamentos planares de pequeno porte, localizados em pontos da topografia com declividade superior a 70°.

No vale do Ribeirão do Retiro foram observadas cicatrizes de escorregamentos circulares de médio porte, localizadas em ruptura positiva do relevo, próxima à drenagem, em terrenos da Formação Pirambóia. Estes escorregamentos estão associados provavelmente à conjugação de quatro fatores: litologias arenosas pouco coesivas, relevo com ruptura positiva, extensa área de contribuição na encosta, com declividade de 24%, e ocupação por pastagem.

Escorregamento circular de grande porte foi verificado em um ponto da escarpa da Serra do Cuscuzeiro, associado à evolução das paredes de uma erosão presente na área desde 1962.

Nos materiais argilosos resultantes da alteração das rochas da Formação Itaqueri foram observados escorregamentos às margens de um reservatório, provavelmente relacionados à subida do nível d'água devido à construção do barramento.

A análise das fotografias aéreas de 1962, 1972 e 2006 resultou na identificação de poucas feições relacionadas exclusivamente a escorregamentos. Isto não implica que este processo não ocorra na área, como pôde ser constatado através dos trabalhos de campo. Implica apenas que os eventos não geraram cicatrizes de magnitude tal que possam ser identificadas nas fotos aéreas em escala 1:25.000 ou menor.

5.3 – Cartas geotécnicas do município de Analândia e da área de expansão urbana

A sobreposição dos atributos materiais inconsolidados e declividade e a posterior ponderação dos processos associados a cada unidade resultante desta sobreposição, levaram à delimitação de 12 unidades geotécnicas em escala regional e de 7 unidades geotécnicas em escala local. Os quadros 9 e 10 apresentados a seguir resumem as características destas unidades. As figuras 6 e 7 apresentam extratos das cartas geotécnicas nas escalas regional e de detalhe.

Na área de expansão urbana não ocorrem os depósitos de tálus recentes, os sedimentos arenodáceos atribuídos à Formação Santa Rita do Passa Quatro, as formações Itaqueri e Botucatu e

seus produtos de alteração. Por este motivo estão ausentes no mapa geotécnico desta área as unidades TA, SR3, IT1, IT2, BO1 e BO2.

Os intervalos de declividades foram reorganizados, para que refletissem melhor as solicitações impostas ao meio pela ocupação urbana. Isto implicou também na subdivisão de unidades que na escala regional não haviam sido subdivididas. Além disso, foi criada a classe de terrenos com declividades acima de 30%, aos quais se aplicam as restrições da Lei Lehmann (Lei Federal no 6.766, de 19 de Dezembro de 1979).

Os quadros-sínteses das cartas geotécnicas descrevem estas unidades. No quadro 11 é apresentado um extrato do quadro-síntese que acompanha o mapa geológico-geotécnico regional (escala 1:50.000) e no quadro 12 é apresentado um extrato do quadro-síntese que acompanha o mapa geológico-geotécnico local (escala 1:10.000).

Quadro 9 – Unidades geológico-geotécnicas definidas no município de Analândia e porcentagem de ocorrência.

Unidades	Características das unidades	Sub-unidades	Características das subunidades	% da área municipal
AL	Aluviões recentes. Declividades inferiores a 3%		–	2,3%
TA	Depósitos de tálus recentes. Declividades de 3 a 20%		–	1,9%
SR1	Solos transportados da Formação Santa Rita do Passa Quatro, areno-argilosos. Declividades de 3 a 20%		–	5,6%
SR2	Solos transportados da Formação Santa Rita do Passa Quatro, arenosos. Declividades variáveis	SR2.1	Declividades entre 0 e 12%	50,5%
		SR2.2	Declividades entre 12 e 20%	
		SR2.3	Declividades superiores a 20%	
SR3	Solos transportados da Formação Santa Rita do Passa Quatro, areno-rudáceos. Declividades de 6 a 20%		–	0,2%
BO1	Solos residuais da Formação Botucatu. Declividades variáveis	BO1.1	Declividades entre 0 e 12%	2,0%
		BO1.2	Declividades entre 12 e 20%.	
BO2	Solos residuais da Formação Botucatu. Declividades superiores a 20%, predominando aquelas superiores a 40%		–	5,0%
PI	Solos residuais da Formação Pirambóia. Declividades variáveis	PI.1	Declividades entre 0 e 12%	19,1%
		PI.2	Declividades entre 12 e 20%	
		PI.3	Declividades maiores que 20%	
IT1	Solos laterizados da Formação Itaqueri, Declividades entre 0 e 12%		–	1,5%
IT2	Solos residuais da Formação Itaqueri, não laterizados. Declividades variáveis	IT2.1	Declividades entre 6 e 20%	7,4%
		IT2.2	Declividades superiores a 20%.	
SG1	Solos residuais da Formação Serra Geral. Declividades de 6 a 20%		–	1,8%
SG2	Solos residuais da Formação Serra Geral. Declividades superiores a 20%		–	2,6%

Quadro 10 – Unidades geológico-geotécnicas definidas na área de expansão urbana de Analândia e porcentagem de ocorrência.

Unidades	Características das unidades	Sub-unidades	Características das subunidades	% da área municipal
AL	Aluviões recentes. Declividades inferiores a 3%		–	2,1%
SR1	Solos transportados da Formação Santa Rita do Passa Quatro, areno-argilosos. Declividades variáveis	SR1.A	declividades entre 5 e 15%	3,0%
		SR1.B	declividades predominantes entre 15 e 20%	
SR2	Solos transportados da Formação Santa Rita do Passa Quatro, arenosos. Declividades variáveis	SR2.A	declividades entre 0 e 15%	57,7%
		SR2.B	declividades entre 15 e 20%	
		SR2.C	declividades entre 20 e 30%	
PI1	Solos residuais da Formação Pirambóia. Declividades variáveis.	PI1.A	declividades entre 0 e 15%	20,9%
		PI1.B	Nível d'água com profundidade entre 5 e 15 metros, espessuras de mat. inconsolidados até 15 metros, declividades entre 15 e 20%	
PI2	Solos residuais da Formação Pirambóia. Decliv. de 20 a 30%		–	8,2%
SG1	Solos residuais da Formação Serra Geral. Decliv. inferiores a 20%	SG1.A	Declividades entre 0 e 15%	3,8%
		SG1.B	Declividades entre 15 e 20%	
SG2	Solos residuais da Formação Serra Geral. Declividades de 20 a 30%		–	1,9%
LL	Declividades superiores a 30%		–	2,3%

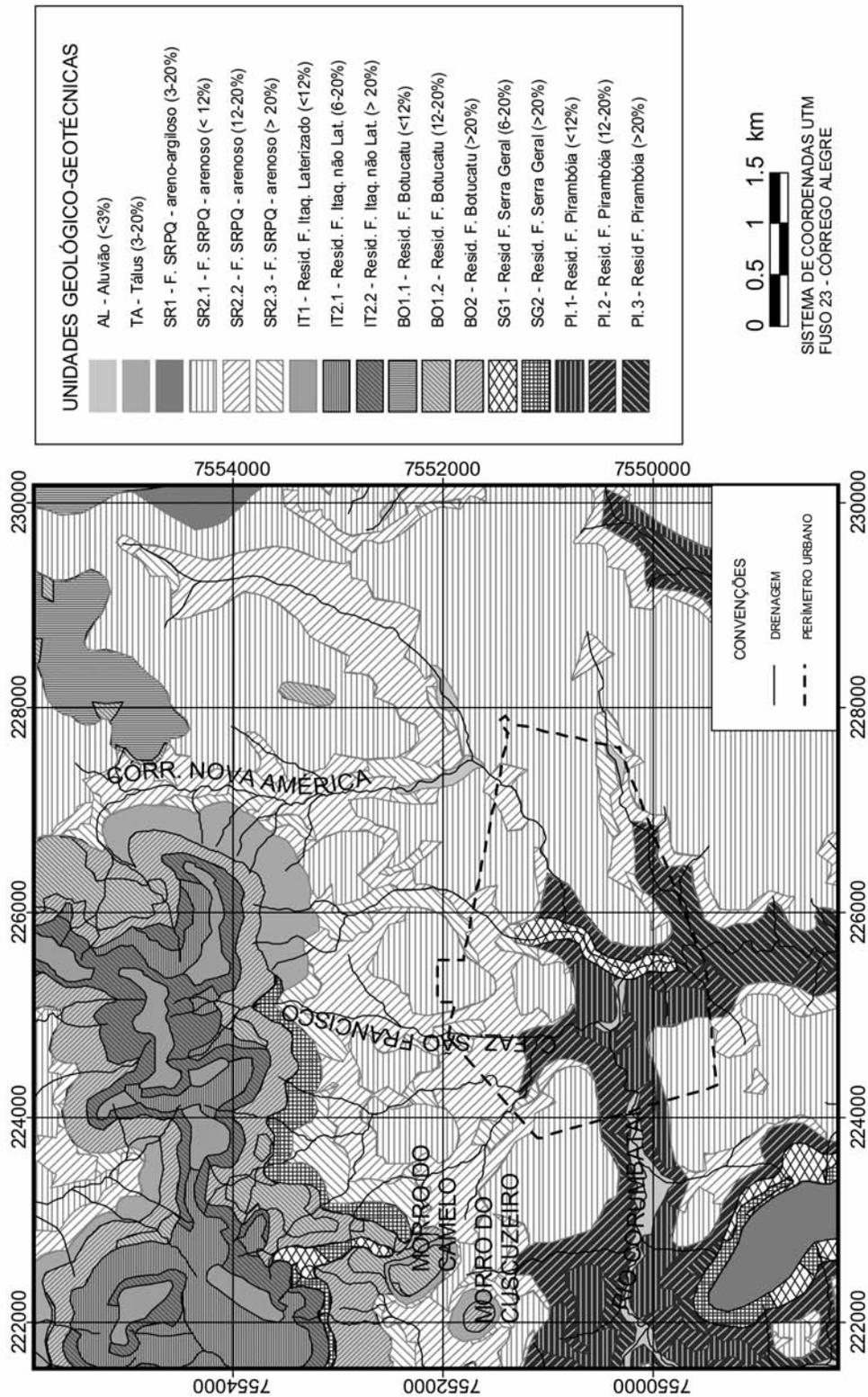


Fig. 6 – Extrato da carta geotécnica do município de Analândia-SP. Ver extrato do quadro-síntese no quadro 9.

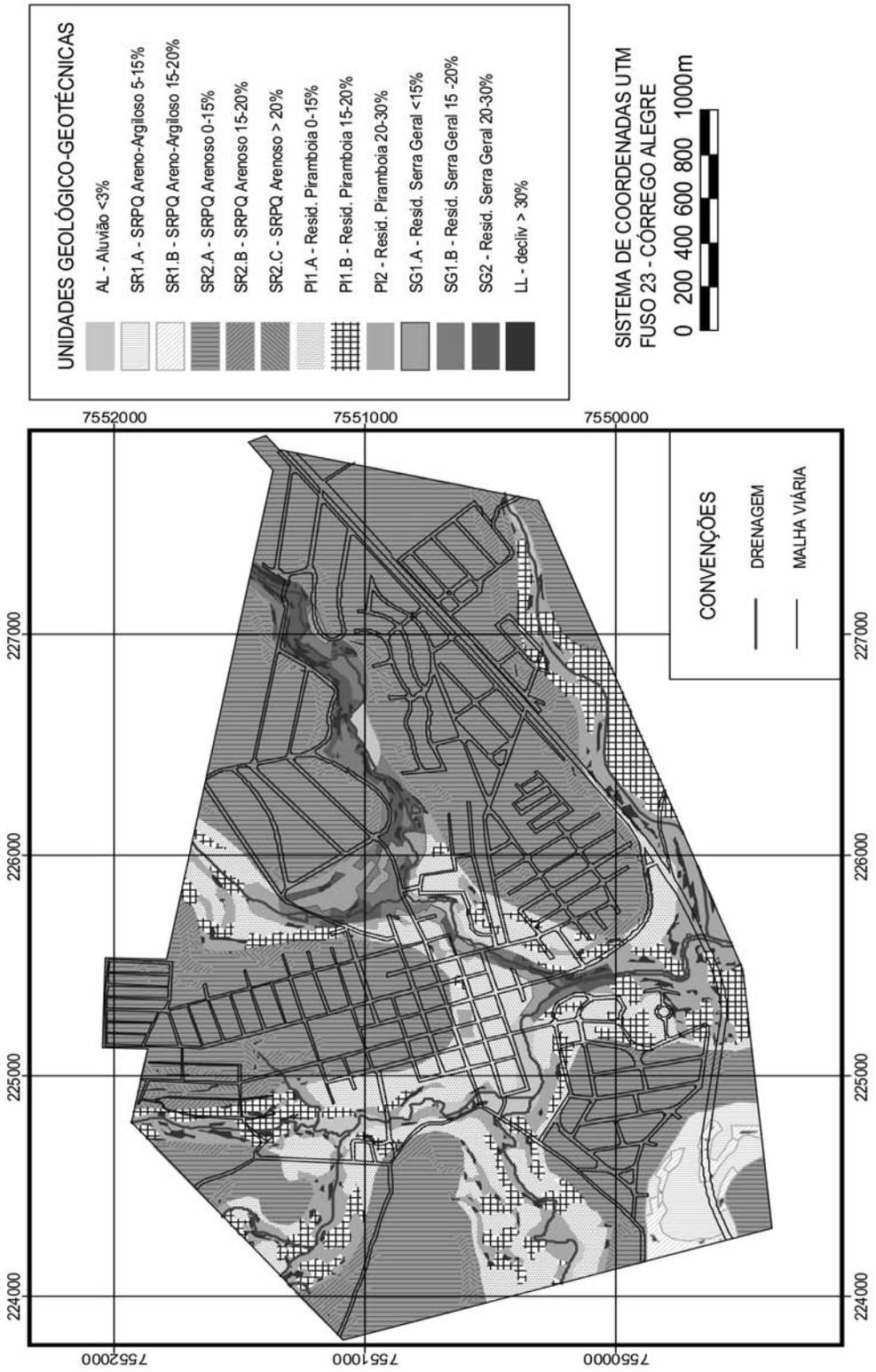


Fig. 7 – Carta Geotécnica da Área de Expansão Urbana de Analândia – SP. Ver extrato do quadro síntese no quadro 10.

Quadro 11 – Extrato do Quadro-síntese da carta geotécnica do município de Analândia – SP, escala regional (1:50.000)

Unidades	Características de Interesse do Meio Físico	Problemas Existentes ou Esperados	Recomendações
SR1	Sedimentos terciário-quaternários compostos por areias argilosas (tipo SC na classificação unificada e A-2-4 na classificação rodoviária), ocupando os topos de colinas amplas, com espessuras de até 15 metros. Nível d'água com mais que 10 metros de profundidade. Declividades que variam de 3 a 20%. Substrato rochoso variável.	Escavabilidade: 1ª categoria. Fundações: baixa capacidade de suporte, solos provavelmente colapsíveis. Processos: Baixa suscetibilidade à erosão linear. Escorregamentos translacionais superficiais em taludes de corte.	Considerar a possibilidade de ocorrência do fenômeno de colapso nos projetos de fundações. Utilizar como material de empréstimo em obras de terra, principalmente quando impermeabilidade for desejada (barreiras impermeáveis e barragens). Projetar taludes de corte com inclinações adequadas, evitando-se a ocorrência de deslizamentos.
SG1	Materiais residuais desenvolvidos sobre a Formação Serra Geral, compostos por argilas (tipo MH na classificação unificada e A-7-5 na classificação rodoviária). Espessuras de até 2 metros. Solos litólicos. Declividades de 6 a 20%. Substrato rochoso composto por rochas duras.	Escavabilidade: condições heterogêneas; materiais de 1a a 3ª categorias (blocos de rocha são imersos em solo). Fundações: condições heterogêneas. Processos: Elevada suscetibilidade à erosão linear. Ocorrência de ravinas. Ocorrência de processos de rastejo.	Pode ser utilizado como material de empréstimo em obras de terra. Proteger as áreas de empréstimo ativas e inativas contra a erosão laminar. Substrato rochoso é de interesse para a indústria mineral como brita e como pedra para calçamento.

Quadro 12 – Extrato do Quadro-síntese da carta geotécnica da área de expansão urbana de Analândia –SP, escala local (1:10.000).

Unidades	Características de Interesse do Meio Físico	Problemas Existentes ou Esperados	Recomendações
SR1	Sedimentos terciário-quaternários compostos por areias argilosas (tipo SC na classificação unificada e A-2-4 na classificação rodoviária), ocupando os topos de colinas amplas, com espessuras de até 15 metros. Substrato rochoso em rochas brandas. SR1.A – declividades entre 5 e 15% SR1.B – declividades predominantes entre 15 e 20%	Escavabilidade: 1a categoria. Fundações: baixa capacidade de suporte, solos provavelmente colapsíveis. Processos: Baixa suscetibilidade à erosão linear. Escorregamentos translacionais superficiais em taludes de corte.	Implantar indústrias em declividades até 10% e vias principais e loteamentos perpendiculares às curvas de nível em declividade até 15%. Entre 15% e 20% é propícia para a implantação do sistema viário local e de lotes paralelos às curvas de nível. Valem as recomendações feitas para a unidade SR1 do mapa em escala 1:50.000.
SG1	Materiais residuais desenvolvidos sobre a Formação Serra Geral, compostos por argilas (tipo MH na classificação unificada e A-7-5 na classificação rodoviária). Substrato rochoso em rochas duras. Subunidade SG1.A: Espessuras de mat. inconsolidados de até 10 metros, declividades inferiores a 15%. Subunidade SG1.B: Espessuras de mat. inconsolidados de até 5 metros, declividades entre 15 e 20%.	Escavabilidade: condições heterogêneas; materiais de 1a a 3ª categorias (blocos de rocha são imersos em solo). Fundações: condições heterogêneas. Processos: Moderada suscetibilidade à erosão linear. Ocorrência de ravinas. Ocorrência de processos de rastejo.	Evitar obras que exijam escavações. Implantar indústrias em declividades até 10% e vias principais e loteamentos perpendiculares às curvas de nível em declividade até 15%. Entre 15% e 20% é propícia para a implantação do sistema viário local e de lotes paralelos às curvas de nível. Instalar sistemas adequados de drenagem das águas superficiais, concomitantemente à abertura das vias ou outras obras que impliquem concentração de escoamento.

5.4 – Diretrizes para o Planejamento

5.4.1 – Escala regional

Para a elaboração das diretrizes para o planejamento da ocupação do município de Analândia, considerando-se os aspectos geológico-geotécnicos do meio físico, foi realizada a avaliação das aptidões à ocupação de cada unidade geotécnica e o levantamento dos conflitos de uso no município.

O quadro 13 apresenta o julgamento das aptidões das diversas unidades geotécnicas, adaptando-se o conceito geral de capacidade de uso da terra proposto em Lepsch (1983) aos parâmetros em análise, em função dos dados disponíveis em um trabalho de cartografia geológico-geotécnica.

Quadro 13 – Classificação das unidades geotécnicas no sistema de classes de uso, adaptando-se a proposta de classificação de Lepsch (1983).

Unidade Geotécnica	Classe de Uso
AL,	V
SR1, SR2.1, BO1.1, PI.1, IT2.1	III
SR2.2, BO1.2, PI.2, IT2.2, SG1	IV
TA, SR2.3, SR3, PI.3, IT1	VI
BO2, SG2	VIII

A adoção do conceito de capacidade de uso da terra adaptado se justifica para o município de Analândia, pois o uso do solo em termos de área ocupada é em sua maior parte agrícola. Além disso, os sistemas para classificação da capacidade de uso das terras, propostos inicialmente por Klingebiel e Montgomery (1961, apud Lepsch, 1983) e adaptados por vários autores, consideram o impacto da erosão sobre a produtividade das terras, e este é o processo da dinâmica superficial que atua de forma mais intensa no município de Analândia.

Dentre os critérios diagnósticos propostos por Lepsch (1983), a cartografia geotécnica proposta tem condições de avaliar os seguintes: profundidade efetiva do solo, textura, permeabilidade, declividade e erosão. Dentre os fatores limitantes, podem ser identificados os seguintes: pedregosidade, risco de inundação, caráter abrupto, caráter vértico e hidromorfismo. A principal diferença entre o conceito proposto por Lepsch (1983) e a classificação que pode ser derivada de um trabalho de cartografia geotécnica refere-se ao fato de que na cartografia geotécnica não estão disponíveis os dados sobre a geoquímica dos solos, não sendo possível classificar as unidades geotécnicas em relação aos seguintes fatores limitantes: caráter distrófico dos solos, caráter álico, baixa retenção de cátions, tiomorfismo, sodificação, salinização e presença de carbonatos.

As alíneas a seguir apresentam as principais características das classes de uso correlacionáveis às unidades geológico-geotécnicas identificadas regionalmente:

- Classe III – terras que exigem medidas intensas e complexas de conservação do solo, a fim de poderem ser cultivadas segura e permanentemente, com culturas anuais adaptadas. Podem ser aproveitadas para outros usos menos intensos.
- Classe IV – terras com uso severamente limitado por risco de erosão para cultivos intensivos, mas podem ser utilizadas para pastagens, cultivos ocasionais ou para algumas culturas anuais, porém com cuidados muito especiais. Na unidade SG1 ocorrem terras com pedregosidade, o que dificulta a mecanização.

- Classe V – terras planas não sujeitas à erosão, severamente limitadas pelo excesso de água e com risco de inundação freqüente, mas que podem ser utilizadas para pastoreio e silvicultura limitados ou moderados, ou como áreas de preservação e recomposição da vegetação nativa e para atividades de lazer.
- Classe VI – terras impróprias para culturas anuais, mas que podem ser utilizadas para produção de certos cultivos permanentes úteis, como pastagens e silvicultura limitados, e algumas culturas permanentes protetoras do solo, desde que adequadamente manejadas. Dificuldades severas de motomecanização, pelas condições topográficas, com risco de erosão que pode chegar a muito severo.
- Classe VIII – terras de relevo excessivo, com declives extremamente acentuados, expondo os solos a altos riscos de erosão e/ou escorregamento. Utilizar como áreas de preservação e recomposição da vegetação nativa, atividades de lazer.

5.4.1.1 – Análise de conflitos de uso e restrições ambientais

Considerando-se as intensidades de uso adequadas para cada classe de capacidade de uso das terras, conforme proposta de Lepsch (1983, 2002), a avaliação das aptidões das unidades geotécnicas, apresentada no quadro 14, e os usos do solo identificados no município por Ferreira (2005) foi elaborado o plano de informações de Conflito de Uso devido à capacidade das terras, conforme a matriz de sobreposição apresentada no quadro 14.

Para a avaliação da aptidão à implantação de áreas urbanas foram consideradas a declividade do terreno, a ocorrência de camadas muito resistentes próximas à superfície, a possibilidade de ocorrência de inundações e de ocorrência de movimentos de massa.

O uso do solo “solo exposto”, em princípio, não é recomendável em nenhuma das unidades geotécnicas. Entretanto, é preciso avaliar se este uso é permanente, ou é uma situação temporária, em um outro uso de mais longo prazo, por exemplo, uma situação de preparo do solo para plantio em um cultivo semi-intensivo (cana-de-açúcar) ou perene (citricultura). Na classificação proposta por Lepsch (1983) é utilizado o mesmo raciocínio para a classificação da atividade econômica nas áreas sujeitas à erosão hídrica. Em vista disso, com base nas fotografias aéreas de 2006 e nos dados colhidos durante os trabalhos de campo na região, foi realizada uma reclassificação dos usos das áreas de solo exposto, procurando-se enquadrá-las dentro das demais classes de uso do solo. Foram mantidas como áreas de solo exposto, que exigem atenção especial em todas as unidades geotécnicas, as áreas de mineração em cavas a céu aberto e a área de disposição de resíduos sólidos (lixão municipal).

No quadro 15 são apresentadas as áreas de cada bacia hidrográfica ocupadas por usos conforme, por usos que exigem atenção especial e por usos inadequados, considerando-se as características geológico-geotécnicas do meio físico.

Além da realização do diagnóstico dos conflitos de uso do solo, resultantes da capacidade de uso das terras, é preciso considerar também as restrições de ordem legal que incidem sobre o território municipal. Além destas, situações clássicas de conflito de uso também foram consideradas como elementos restritivos ao uso do solo.

Assim sendo, as áreas de uso restrito consideradas foram: as áreas de preservação permanente (APP) e as áreas de proteção ambiental (APA), as depressões fechadas e as áreas de mineração onde já foram concedidos ou onde foram solicitados direitos de lavra para bens minerais. As restrições a que cada uma destas áreas estão sujeitas são resumidas no quadro 16.

A matriz de conflitos identificada pela sobreposição do plano de informações “áreas de uso restrito” e do plano de informações “uso do solo” é apresentada no quadro 17.

Quadro 14 – Matriz de sobreposição de planos de informação para elaboração do Mapa de Conflito de Uso, considerando-se as aptidões das unidades geotécnicas.

Unidade Geotécnica	Uso do Solo						
	Intensidade de Uso						
	Menor						Maior
	Mata	Refloresta- mento	Pastagem	Citricultura	Cana-de- açúcar	Área Urbana	Mineração/ Disp. de resíduos
AL	C	C	C	I	I	I	I
TA	C	AE	AE	I	I	I	I
SR1	C	C	C	C	C	C	AE
SR2.1	C	C	C	C	C	C	AE
SR2.2	C	C	C	C	I	C	AE
SR2.3	C	C	C	I	I	I	AE
SR3	C	C	C	I	I	I	AE
BO1.1	C	C	C	C	C	C	AE
BO1.2	C	C	C	C	I	C	AE
BO2	C	I	I	I	I	I	I
PI.1	C	C	C	C	C	C	AE
PI.2	C	C	C	C	I	C	AE
PI.3	C	C	C	I	I	I	AE
IT1	C	C	C	I	I	I	AE
IT2.1	C	C	C	C	C	C	AE
IT2.2	C	C	C	C	I	C	AE
SG1	C	C	C	C	I	C	AE
SG2	C	I	I	I	I	I	I

Legenda: C = uso conforme; I = uso inadequado; AE = uso que exige atenção especial.

Quando há sobreposição de restrições em uma mesma área, por exemplo, área englobada em APP e em APA, ou área com direito de lavra requerido ou concedido, inserida em APA ou APP, e assim por adiante, considerou-se:

- a) que a restrição imposta pela APP sempre prevaleceria;
- b) nos casos em que a sobreposição não se dava com APP, considerou-se sempre a situação mais restritiva, por exemplo, onde a situação era “recomendável” e “que exige atenção especial”, considerou-se o segundo caso, e assim por diante.

A sobreposição das informações do plano de informação “Conflitos de Uso devido à capacidade das terras” e do plano de informação dos “Conflitos de Uso devido às restrições” fornece o mapa de conflitos de uso no município de Analândia (figura 8). Para elaboração deste mapa considerou-se a matriz de sobreposição apresentada no quadro 18. Nas áreas em que não há restrições

Quadro 15 – Avaliação da adequação dos usos do solo, por bacia hidrográfica, em função das aptidões à ocupação de cada unidade geotécnica.

Bacia Hidrográfica	Uso recomendável	Uso que exige atenção especial	Uso não recomendável	Área classificada
Rio do Pântano	93,3%	2,2%	4,5%	100%
Córrego Serrinha	80,1%	0,4%	19,5%	100%
Rio Pinheirinho	93,7%	1,4%	4,9%	100%
Córrego Nova América	91,8%	1,6%	6,6%	100%
Córrego do Feijão	93,6%	0,7%	5,7%	100%
Ribeira Descaroador	95,0%	0,5%	4,5%	100%
Rio Corumbataí montante	88,9%	0,2%	10,8%	100%
Rio Corumbataí jusante	90,6%	1,1%	8,3%	100%
Total do Município	90,4%	0,9%	8,7%	100%

ao uso do solo, que correspondem a 18,9% do território municipal, foi adotada a mesma classificação do plano de informações “Conflitos de Uso devido à capacidade das terras”.

No quadro 19 são apresentadas as áreas com ocupação conforme, que exige atenção especial e inadequada, por bacia hidrográfica, de acordo com o diagnóstico de conflitos de uso realizado neste trabalho.

Quadro 16 – Restrições incidentes em cada área de uso restrito.

Área de Uso Restrito	Restrição
Área de Preservação Permanente (APP)	Impede a supressão de vegetação natural situada ao longo dos rios ou de qualquer curso d’água, ao redor das lagoas, lagos ou reservatórios naturais ou artificiais, nas nascentes, no topo dos morros, montes, montanhas e serras, nas encostas ou partes destas com declividades superiores a 100%, nas restingas, nas bordas de tabuleiros ou chapadas e em altitude superior a 1.800 metros. Respalda pela lei n. 4.771, de 1965 e suas alterações posteriores.
APA Corumbataí-Botucatu-Tejupá	Impede a implantação de atividades potencialmente poluidoras para as águas, o solo e o ar; a realização de obras de terraplenagem e a abertura de canais que importassem em sensível alteração das condições ecológicas; o exercício de atividades capazes de provocar acelerada erosão das terras ou acentuado assoreamento nos corpos d’água e o exercício de atividades que possam extinguir as espécies raras da flora e da fauna local. Respalda pelo decreto estadual n. 20.960, de 1983.
APA Piracicaba-Juqueri-Mirim	Restrição à instalação de indústrias e de agronegócios poluidores, de atividades minerárias e de loteamentos e/ou desmatamentos urbanos. Respalda pelo decreto estadual n. 26.882, de 1987.
Depressões fechadas	Visa garantir a qualidade das águas subterrâneas. Não há legislação específica. As restrições são de caráter geral, relacionadas a fatores ambientais.
Áreas com direito de lavra requerido ou concedido	Visa garantir a disponibilidade do bem mineral para mineração em cava a céu aberto. Não há legislação específica. As restrições são de caráter geral, relacionadas a conflitos de uso.

Quadro 17 – Matriz de sobreposição de planos de informação para elaboração do diagnóstico dos Conflitos dos Usos nas Áreas com Restrições.

Área de Uso Restrito	Uso do Solo						
	Mata	Reflorestamento	Pastagem	Citricultura	Cana-de-açúcar	Área Urbana	Mineração/ Disposição de resíduos
APP	C	I	I	I	I	I	I
APA Corumbatai-Botucatu-Tejupá	C	C	AE	AE	AE	AE	AE
APA Piracicaba-Juqueri-Mirim	C	C	AE	AE	AE	AE	AE
Depressões fechadas	C	AE	I	I	I	I	I
Áreas com direito de lavra requerido ou concedido	AE	C	C	C	C	I	C

Legenda: C = uso conforme; I = uso inadequado; AE = uso que exige atenção especial.

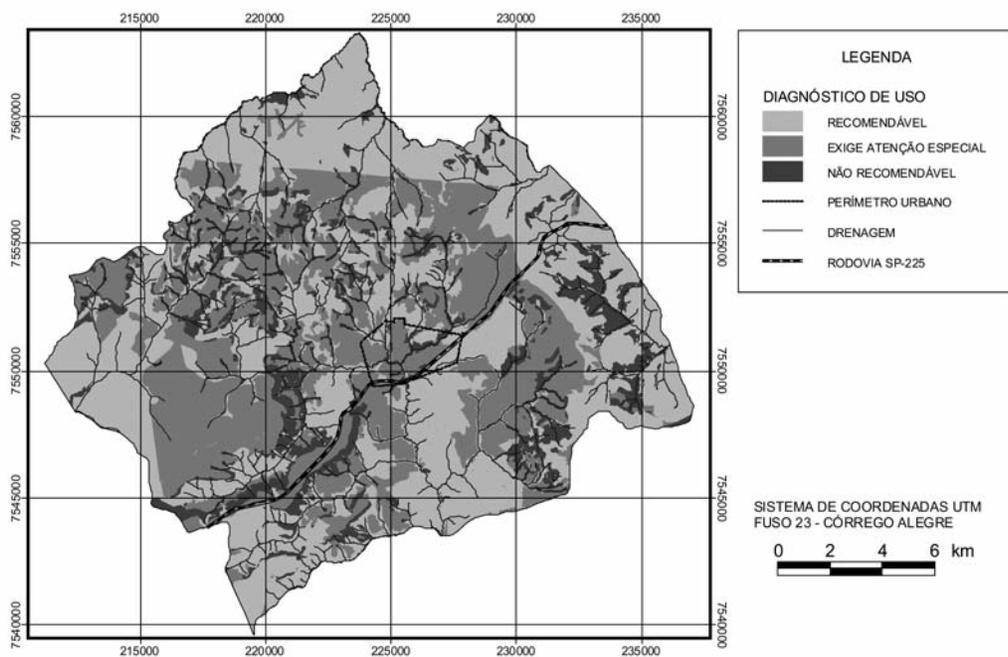


Fig. 8 – Mapa de conflito de uso do município de Analândia - SP.

Quadro 18 – Matriz de sobreposição para composição do mapa de “Diagnóstico do Uso do Solo”.

Planos de informação sobrepostos		Plano de Informação resultante
Conflitos de Uso devido à capacidade das terras	Conflitos de Uso devido a restrições	Conflitos do Uso do solo no município de Analândia
Uso inadequado	Uso inadequado	Uso inadequado
	Uso adequado	Uso inadequado
Uso adequado	Exige atenção especial	Uso inadequado
	Uso inadequado	Uso inadequado
	Uso adequado	Uso adequado
Exige atenção especial	Exige atenção especial	Exige atenção especial
	Uso inadequado	Uso inadequado
	Uso adequado	Exige atenção especial

Quadro 19 – Diagnóstico da adequação dos usos do solo, por bacia hidrográfica, em função das aptidões à ocupação de cada unidade geotécnica e das restrições ao uso.

Bacia Hidrográfica	Uso conforme	Uso que exige atenção especial	Uso inadequado	Área classificada
Rio do Pântano	70,6%	21,8%	7,6%	100%
Córrego Serrinha	75,0%	3,8%	21,2%	100%
Rio Pinheirinho	65,2%	26,2%	8,6%	100%
Córrego Nova América	29,7%	61,1%	9,2%	100%
Córrego do Feijão	51,0%	39,7%	9,3%	100%
Ribeira Descaroador	70,6%	19,3%	10,1%	100%
Rio Corumbataí montante	39,8%	46,9%	13,3%	100%
Rio Corumbataí jusante	53,5%	36,7%	9,9%	100%
Total do Município	54,2%	34,4%	11,3%	100%

5.4.2 – Escala de detalhe – área de expansão urbana

Para a elaboração das diretrizes para ocupação da área de expansão urbana de Analândia foi avaliada a capacidade de suporte de cada unidade geotécnica que ocorre nesta região, em relação ao uso urbano.

Considerando-se as recomendações de Instituto Geológico (1993, apud COSTA, 1996) e Moretti (1986) e as aptidões das unidades geotécnicas presentes nesta área, foi elaborado o Mapa de Aptidão à Ocupação Urbana conforme o quadro 20 a seguir.

Quadro 20 – Aptidões das unidades geotécnicas à ocupação urbana.

Aptidão	Unidades Geotécnicas
Recomendável para ocupação urbana	SR1.A, SR2.A, P11.A e SG1.A
Exige atenção especial	SR1.B, SR2.B, SR2.C, P11.B e SG1.B
Não recomendável para ocupação urbana	AL, PI2, SG2 e LL

Comparando-se o Mapa de Uso do Solo na Área de Expansão Urbana de Analândia e o Mapa de Aptidão à Ocupação Urbana, verifica-se que as áreas não adequadas para ocupação urbana encontram-se em sua maioria ocupadas por matas ou por áreas não ocupadas/pouco adensadas. A exceção a esta situação corresponde à área de várzea do rio Corumbataí, ocupada parcialmente por urbanização densa e medianamente densa. Nesta área, são registradas inundações todos os anos, durante a estação das chuvas.

Pela análise das fotografias aéreas de 2006, verifica-se que não há loteamentos implantados com lotes paralelos às curvas de nível, como seria recomendável em 18,9% da área de expansão urbana. Porém, verifica-se que as áreas com adensamento médio e elevado ocupam principalmente terrenos considerados adequados à ocupação urbana (83,7%), sendo que apenas 11,1% desta classe de uso estão localizados em áreas que exigem atenção especial e 5,2% ocupam áreas que não são consideradas adequadas para ocupação urbana.

Deve-se ressaltar também que a estrada SP-225 corresponde atualmente a um limite da área urbanizada. Ela corta a área de expansão urbana, delimitando a norte áreas ocupadas por usos urbanos e a sul áreas ainda não ocupadas por usos urbanos.

Quando considerados os fatores restritivos ao uso do solo, como se fez para o mapeamento em escala regional, ocorre que a área de expansão urbana de Analândia encontra-se totalmente inserida nas APAs Corumbataí-Botucatu-Tejupá e Piracicaba-Jundiá-Mirim. Não ocorre nesta área nenhuma depressão fechada, porém há uma mineração em atividade, e devem ser prevenidos os conflitos de vizinhança em relação à mesma.

Com relação às Áreas de Preservação Permanente (APP), verificou-se que elas correspondem a 0,75 km², ou seja, 10,5% da área de expansão urbana. A APP está ocupada atualmente em 66,1% de sua área por mata ciliar e/ou cerrado, como apresentado no quadro 21. Além disso, os 33,9% restantes da APP encontram-se não edificados.

6 – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E AÇÕES DE PLANEJAMENTO PROPOSTAS

Com base nos resultados do mapeamento geológico-geotécnico e do diagnóstico dos conflitos de uso no município de Analândia, verifica-se que predominam usos conformes (54,2%). As áreas com uso inadequado concentram-se nas regiões de escarpas da Serra do Cuscuzeiro, da Atalaia e da Serra Grande, nas escarpas existentes ao longo dos vales dos rios Corumbataí (à montante da área urbana) e Ribeirão do Retiro, nas encostas ao longo do Córrego do Capim Fino (afluente do Córrego da Serrinha) e em planícies de inundação. São áreas onde o conflito é função das aptidões das unidades geotécnicas. As bacias Córrego da Serrinha e Rio Corumbataí – montante são as que apresentam maiores áreas com uso inadequado, em porcentagens acima da média municipal.

Tratando-se ainda deste aspecto, deve-se destacar que a tendência de substituição de pastagens por culturas de cana-de-açúcar, relatada por Ferreira (2005) e confirmada durante a execução dos trabalhos de campo, aumenta a área de usos inadequados em 11 das 18 unidades e subunidades

Quadro 21 – Superfície relativa das classes de uso do solo nas Áreas de Preservação Permanente da Área de Expansão Urbana de Analândia.

Uso do solo	Porcentagem relativa em área
Usos urbanos	
Pouco adensado ou não ocupado	22,9%
Adensamento médio	7,2%
Adensamento elevado	0,2%
Loteamentos com cerrado	6,2%
Outros usos	
Mata e/ou cerrado	59,9%
Silvicultura	0,4%
Pastagem	3,0%
Estrada	0,2%
Total	100,00%

geotécnicas mapeadas, o que corresponde a 124,5 km². Ou seja, do ponto de vista dos fatores geológico-geotécnicos do meio físico esta substituição não é adequada em 38% da área municipal.

A Bacia Córrego da Nova América se destaca pela expressiva porcentagem de áreas que exigem atenção especial (61,1%), condição esta definida principalmente pelas restrições impostas pela APA Piracicaba-Jundiá Mirim. Com relação a este fato deve-se ressaltar que estas áreas situam-se justamente a montante das captações de águas para abastecimentos público da população urbana de Analândia, o que reforça a necessidade de disciplinamento do uso do solo nesta região.

As bacias com menores áreas em situação inadequada são as bacias do Rio do Pântano e do Rio Pinheirinho, situadas na porção norte do município.

Com base neste diagnóstico, foram propostas as seguintes ações de planejamento:

- a) orientar o uso do solo na Bacia do Córrego da Serrinha, evitando-se o plantio de cana-de-açúcar nas unidades geotécnicas PI.2 e PI.3.
- b) nas Bacias do Ribeirão do Pântano, Córrego do Feijão, Rio Corumbataí-montante, Rio Corumbataí-jusante e Ribeirão Descaroador, coibir o desmatamento na unidade geotécnica BO2, fomentando-se sua ocupação apenas com mata, e orientar o uso do solo na unidade geotécnica TA, priorizando sua ocupação por mata, reflorestamento ou pastagens.
- c) nas bacias do Rio Corumbataí - montante e jusante, disciplinar o uso do solo nas unidades geotécnicas PI.2, PI.3 e SG2, evitando sua ocupação por cana-de-açúcar ou citricultura.
- d) na Bacia do Córrego Nova América, gerenciar o uso do solo, de forma a garantir a qualidade da água de abastecimento público na cidade de Analândia.
- e) promover a ocupação das depressões fechadas preferencialmente com mata, visando preservar a qualidade das águas subterrâneas.

Considerando-se os critérios para a delimitação de uma Zona de Expansão Urbana apresenta - dos por CEPAM (1983, apud Andrade, 1999), e os limites da área de expansão urbana de Analân-

dia, fixados em 1979 e adequados em 1983, a realidade de ocupação da cidade e do município e as aptidões do meio físico geológico-geotécnico, podem ser feitas as seguintes propostas:

- a) É conveniente prevenir conflitos de vizinhança, representados pela existência de uma mineração de areia dentro do perímetro de expansão urbana.
- b) Recomenda-se evitar que a cidade se expanda para o lado sul da rodovia SP-225. A favor desta recomendação pesam os seguintes aspectos: zelar para que não sejam criadas situações de risco de morte por atropelamento; não há infra-estrutura urbana instalada neste lado da rodovia; grande parte da área está recoberta por vegetação do tipo cerrado, sendo que um dos loteamentos abertos na década de 1970 encontra-se embargado, por força das restrições legais da APA Piracicaba-Jundiá Mirim e, finalmente, às margens do córrego que corta esta área, próximo à sua foz no rio Corumbataí, predominam unidades não recomendadas para ocupação urbana.
- c) Recomenda-se excluir da área de expansão urbana as áreas de várzeas (unidade AL), uma vez que mesmas ainda estão, em grande parte, desocupadas.
- d) Recomenda-se a proibição formal da construção de edificações ou qualquer outro uso que signifique derrubada do cerrado, nos loteamentos abertos em 1960-1970 e ainda não edificados.
- e) A administração deve procurar promover o adensamento das áreas urbanas já implantadas, especialmente daquelas pouco ou medianamente adensadas, e que se encontram totalmente inseridas no traçado urbano.
- f) Caso seja necessária a ampliação dos limites da zona de expansão urbana, esta ampliação deve ocorrer, preferencialmente, para oeste, ao longo do rio Corumbataí, priorizando-se a não ocupação de áreas de várzeas e de áreas com declividades superiores a 30%. Secundariamente esta ampliação poderia ocorrer para norte, porém sem aproximar-se das escarpas da Serra do Cuscuzeiro. Esta ampliação não deve ocorrer na direção leste, pois nesta área estão localizadas as captações de águas para abastecimento público.

7 – CONCLUSÃO

As etapas propostas nesta pesquisa para a condução de um trabalho de mapeamento geotécnico conduzem à formação do quadro diagnóstico necessário à elaboração de um Plano Diretor, considerando-se os aspectos geológico-geotécnicos do meio físico. A seqüência de etapas para encaminhamento dos trabalhos de mapeamento geotécnico utilizada neste trabalho permitiu:

- a) a elaboração de um mapa de zoneamento geotécnico geral, conforme conceituado por Zuquette (1993), o que possibilita ao usuário especialista inferir comportamentos geotécnicos para cada unidade, de acordo com a solicitação (ou intervenção) em questão;
- b) a apresentação das aptidões e recomendações com relação ao uso das unidades geotécnicas, através do Quadro Síntese, o que facilita o entendimento da carta e sua utilidade para o usuário não especialista;
- c) a elaboração de um diagnóstico dos conflitos de uso do solo no município como um todo, considerando-se as aptidões das unidades geológico-geotécnicas e as restrições legais e ambientais identificadas na área;
- d) a definição de áreas prioritárias para intervenção em escala regional, organizadas através de bacias hidrográficas, o que permitirá a otimização do investimento de recursos para o gerenciamento do uso do solo no município;

- e) a realização de um diagnóstico dos conflitos de uso do solo na área de expansão urbana, considerada como aquela onde os processos geodinâmicos, especialmente a erosão, e secundariamente as inundações, tendem a ocorrer de forma mais acelerada pela intervenção antrópica;
- f) a avaliação da aptidão das unidades geotécnicas ao uso urbano na área de expansão, bem como a identificação dos conflitos de uso associados às restrições e às aptidões;
- g) a proposição de ações para gerenciamento da ocupação da área de expansão urbana.

Com relação aos processos geológicos atuantes no município e às aptidões das unidades geotécnicas mapeadas no município de Analândia – SP, conclui-se que:

- a) o principal processo de degradação do meio físico geológico-geotécnico detectado no município é a erosão do solo;
- b) quanto a este processo, predominam no município unidades geotécnicas com moderada probabilidade de desenvolvimento de erosões (64,3% da área municipal), pois aliam-se solos arenosos a declividades entre 6 e 20%. As unidades com elevada probabilidade de ocorrência de erosões correspondem a 12,1% da área municipal e correspondem a materiais inconsolidados arenosos, associados a declividades predominantes superiores a 20%. É nestas unidades que se concentram as erosões lineares detectadas em 1962 e 1972;
- c) o comprimento total de erosões lineares no município diminuiu de 1962 para 2006 na área rural e aumentou na área urbana. Isto evidencia a substituição das técnicas de cultivo ocorrida durante este período no meio rural, havendo atualmente predominância dos cultivos mecanizados (agronegócios), que investem na supressão de erosões lineares, ainda que com a utilização de técnicas não recomendadas. Na área de expansão urbana, que está implantada principalmente em terrenos de moderada a elevada susceptibilidade à erosão (90,6% de sua área), o surgimento de erosões lineares está sistematicamente associado ao arruamento e ao lançamento inadequado das águas provenientes do sistema de drenagem superficial;
- d) o fato de terem diminuído as erosões lineares na área rural não atesta por si só que a erosão do solo como um todo tenha diminuído, pois ele não computa a erosão laminar. A adoção de técnicas de mecanização da agricultura corrige as erosões lineares, mas disponibiliza maior volume de material solto em superfície para remoção pela erosão laminar;
- e) os movimentos de massa gravitacionais estão restritos às escarpas das serras do Cuscuzeiro, do Atalaia e da Serra Grande, e ocorrem principalmente na forma de quedas de blocos e fluxo de detritos em terrenos da unidade BO2 (materiais inconsolidados residuais da Fm. Botucatu associados a declividades predominantemente superiores a 40%). Localmente ocorrem escorregamentos circulares de médio porte nas rupturas positivas de declive, a meia encosta, na unidade PI.3;
- f) as inundações são um processo do meio físico que ocorre apenas na unidade AL, que ocupa 2,3% da área municipal. Os problemas relacionados a este processo estão restritos a algumas ruas do núcleo urbano, caracterizando-se como um processo irrelevante para o planejamento territorial em escala regional e como um processo relevante para o planejamento em nível local.

8 – AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico (CNPq) pela concessão de bolsa-auxílio para a realização desta pesquisa.

9 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, A.E.S.; Augusto Filho, O. (2007). *Mapeamento geotécnico para subsidiar a gestão municipal de Analândia – SP, com base nas abordagens da EESC/USP, do IPT e da UNESP-Rio Claro*. Anais do Sexto Congresso Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, Uberlândia, ABMS-ABGE. 1 CD-ROOM.
- Almeida, L.E.G. (2000). *Mapeamento geotécnico de Casa Branca (SP) - Ênfase no uso da Técnica de Avaliação de Terrenos e Perfis Típicos de Materiais Inconsolidados*. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos. Dissertação de mestrado. 115p. 2 volumes.
- Andrade, M.R.M (1999). *Cartografia de aptidão para assentamento urbano do município de Guarulhos*. São Paulo: FFLCH-USP. Dissertação de mestrado. 159p.
- Cerri, L.E.S.; Akioosi, A; Augusto Filho, A; Zaine, J.E. (1996). *Cartas e mapas geotécnicos de áreas urbanas: reflexões sobre as escalas de trabalho e proposta de elaboração com o emprego do método do detalhamento progressivo*. Anais do Oitavo Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, Rio de Janeiro, ABGE, v.2, p. 537-547.
- Costa, T.C.D. (1996). *Mapeamento geotécnico da porção NE de Campinas-SP - Escala: 1:25.000*. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos. Dissertação de mestrado. 188p.
- Ferreira, R.V. (2005). *Utilização de sistemas de informação geográfica na identificação de unidades geoambientais do município de Analândia (SP)*. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências. Dissertação de mestrado. 120p.
- Freitas, C.G.L. (2000). *Cartografia geotécnica de planejamento e gestão territorial: proposta teórica e metodológica*. Tese de doutorado, São Paulo: FFLCH, USP, 238p.
- Hirai, J.N., Augusto Filho, O., Abreu, A.E.S. (2006). *Geoindicadores: avaliação ambiental por meio de erosão do solo e sedimentos*. Anais do Terceiro Simpósio da Engenharia Ambiental. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos. 1 CD-ROM.
- Lepsch, I.F. (coord.) (1983). *Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso*. 4ª aproximação. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do solo. 175p.
- Lepsch, I.F. (2002). *Formação e conservação dos solos*. São Paulo: Oficina de Textos. 177p.
- Magalhães, G. (2005). Capítulo 8: Métodos da pesquisa científica e tecnológica. *Introdução à metodologia científica: caminhos da ciência e tecnologia*. São Paulo: Ática. p. 226-252.
- Melo, M.S. (1995). *A Formação Rio Claro e depósitos associados: sedimentação neocenozóica na depressão periférica paulista*. São Paulo: Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências. Tese de doutorado. 144p.
- Moretti, R.S. (1986). *Loteamentos: Manual de recomendações para elaboração de projeto*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT). 180p.
- Pereira, E.D. (2006). *Avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação do solo e da água do reservatório Batata – São Luís (MA)*. Rio Claro: UNESP. Tese de Doutorado.
- Salomão, F.X.T.; Iwasa, O.Y. (1995). Erosão e a ocupação rural e urbana. In: Bitar, O.Y. (ed.) *Curso de geologia aplicada ao meio ambiente*. São Paulo: ABGE: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Divisão de Geologia. (Série Meio Ambiente). p. 31-57.

- Torezan, F.H. (2005). *Proposta metodológica para subsidiar a determinação do Grau de Impacto Ambiental em empreendimentos minerários na região de Descalvado e Analândia*. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos. Tese de Doutorado. 149p.
- Vaz, L.F. (1996). *Classificação genética dos solos e dos horizontes de alteração de rochas em regiões tropicais*. In: Revista Solos e Rochas, São Paulo, 19, (2): 117-136. Agosto.
- Zaine, J.E. (2000). *Mapeamento geológico geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP)*. Rio Claro: Unesp. Tese de Doutorado.
- Zuquette, L.V. (1987). *Análise crítica sobre cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras*. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos. Tese de Doutorado.
- Zuquette, L.V. (1993). *Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração*. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos. Tese de Livre Docência.