

COLEÇÃO HABITARE



2.

Ocupação urbana e estabilidade de encostas

2.1 - Considerações preliminares

Há uma estreita relação entre características da ocupação urbana de encostas e a manutenção ou incremento de suas condições de estabilidade (ou de instabilidade). Há também uma estreita relação entre as características deste tipo de ocupação e os aspectos de custos associados às implantações, a curto, médio e longo prazos. Nesse quadro, ocupar encostas deveria significar, pelo menos em parte, buscar uma otimização nestas relações.

No presente capítulo apontam-se, inicialmente, os principais elos entre a estabilidade de encostas e a ocupação urbana. Em seguida, aponta-se para o fato de que já se dispõe, em medida importante, de recursos técnicos capazes de melhor conduzir à otimização da ocupação nos morros do ponto de vista da segurança e da economicidade, que quase nunca são utilizados, pelo menos no Brasil. Não se tenciona aqui dotar os textos de uma conotação de conhecimento mais profundo de geologia e de geotecnia, mas apenas destacar aspectos básicos destas áreas do conhecimento, cuja consideração é necessária em projetos voltados a encostas, demandando a participação de especialistas, preferencialmente, desde os primeiros passos do processo de concepção de novos assentamentos.

2.2 - Formação, características, inserção e estabilidade das encostas

A superfície da Terra, ao longo dos tempos, vem sendo esculpida por forças internas e externas à superfície, exercidas por agentes geológicos, climatológicos, biológicos e, mais recentemente, por ações do próprio homem (ações antrópicas). Algumas destas transformações necessitam de milhares de anos para se fazerem sentir. Outras são relativamente rápidas, podendo ser assistidas na escala de tempo de uma vida humana.

O relevo resulta de um equilíbrio temporário entre forças internas à superfície terrestre e forças externas a ela. As primeiras tendem a elevar a superfície e as demais a nivelá-la. Estacionada, porém, num determinado local, a ação de esforços de grande magnitude, internos à crosta, e atingindo-se uma situação de equilíbrio interno, tende a continuar a ação de forças externas e de esforços que, apesar de internos, são subsuperficiais (tais como cargas piezométricas), além da gravidade. Note-se aqui uma primeira e importante constatação: no ambiente natural, as encostas podem ser consideradas como terrenos em equilíbrio transitório, principalmente expostos à ação da gravidade e a agentes subsuperficiais e externos à superfície terrestre, que tendem a remodelá-las, procurando transformá-las em terrenos planos.

A estabilidade de uma encosta, em seu estado natural, é condicionada concomitantemente por três fatores principais: por suas características geométricas, por suas características geológicas (tipos de solos e rochas que a compõem) e pelo ambiente fisiográfico em que se insere (abrangendo clima, cobertura vegetal, drenagens naturais, etc.). A alteração natural ou artificial destas condicionantes

pode facilmente implicar a alteração da condição de estabilidade. Perceba-se também que encostas geométrica e geologicamente idênticas podem apresentar condições de estabilidade diferenciadas, de acordo com sua inserção fisiográfica (por exemplo, em regiões com distintos regimes de chuvas).

2.2.1 - Características geométricas

Do ponto de vista geométrico, quatro são as principais características das encostas: inclinação (α), declividade (D), amplitude (H) e perfil, assim definidos:

Inclinação (α): é o ângulo, expresso em graus, formado entre o plano horizontal e o plano médio da encosta, medido usualmente a partir da base (Figura 2.1).

Amplitude (H): é a diferença de cotas verificada entre o topo e a base da encosta (Figura 2.1).

Declividade (D): é a relação, expressa em porcentagem, entre a amplitude e o comprimento da projeção horizontal da encosta. Seu valor corresponde a:

$$D = 100 \times (H / L),$$

onde: H é a amplitude e L é o comprimento da projeção horizontal da encosta, denominado simplesmente comprimento da encosta, como pode ser visto na Figura 2.1, mais adiante apresentada.

Perfil: é a característica de variação da declividade da encosta ao longo de sua seção transversal, que define três principais tipos - as retilíneas, as côncavas e as convexas, como mostra a Figura 2.2, mais adiante.

Note-se que, efetivamente, a inclinação e a declividade se referem a uma mesma característica, constituindo apenas formas diferentes de expressão de uma

mesma grandeza. Os termos são aqui diferenciados porque as duas denominações são de emprego corrente. No âmbito da presente tese, as referências a esta grandeza são feitas predominantemente pela declividade, estando, portanto, expressas em percentuais. A opção decorre de um uso mais freqüente, pelos arquitetos, de percentuais para expressar aclives ou declives.

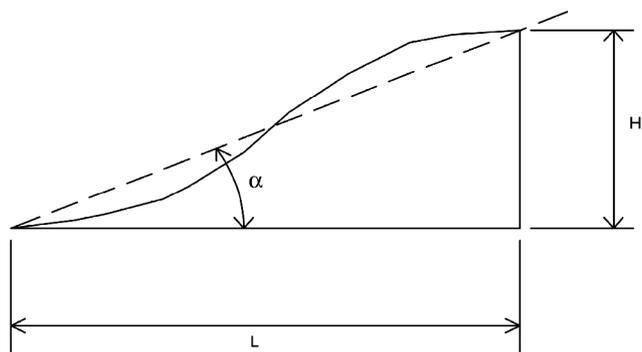


Figura 2.1. Inclinação (α), comprimento (L) e amplitude (H) de uma encosta. CUNHA (1991), p.4.

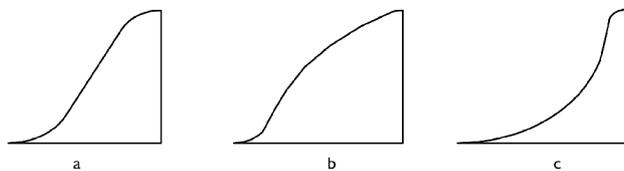


Figura 2.2. Perfis típicos de encostas: a - retilíneas; b - convexas; c - côncavas. Fonte: CUNHA (1991)¹, p. 4.

No âmbito geral do estudo do relevo, as encostas são ainda associadas a denominações particulares de acordo com as relações predominantes entre amplitudes e declividades. Como afirma CUNHA (1991)², p.5:

“A combinação de diferentes amplitudes e declividades de encostas define as diversas formas de relevo acidentado, tais como morros (declividades acima de 15% e amplitudes entre 100 e 300m); relevo montanhoso (declividades acima de 15% e amplitudes acima de 300m) e escarpas (declividades acima de 30% e amplitudes acima de 100m).”

Por extensão, uma elevação de terreno, considerada isoladamente, é denominada morro, montanha ou escarpa, com base nestes mesmos critérios.

2.2.2 - Características geológicas

Os solos que constituem os terrenos podem ter duas origens principais:

- a alteração de rochas locais (rochas-matrizes), por processos físicos, químicos, físico-químicos, biológicos etc.), que dá origem aos genericamente denominados solos residuais ou
- o transporte e deposição de solos de outros locais (incluindo locais às vezes distantes e épocas remotas de transporte), que podem dar origem, com o tempo, às denominadas rochas sedimentares e, posteriormente, por novos processos físicos, químicos, físico-químicos, biológicos etc., dão origem a novos solos.

¹ CUNHA, M.A. (Coordenador). (1991). Ocupação de encostas.

² CUNHA, M.A. (Coordenador). (1991). Ocupação de encostas.

2.2.2.1 - Encostas em solos residuais

Os processos de formação de solos a partir da alteração local de uma rocha matriz ocorrem em quase todos os tipos de clima, dando origem à formação do denominado *manto de alteração*, que se constitui por camadas de solos de diferentes características, definidas pelos diferentes processos de transformação por que passaram e por características da rocha-mãe (rocha-matriz). Tais processos são bem mais intensos e rápidos em climas tropicais, que compreendem parte importante do território brasileiro. A ação de intempéries como calor, chuvas e umidade, mais vigorosa nas regiões tropicais, favorece as alterações. Em climas temperados, o manto de alteração é em geral pouco espesso, enquanto em climas tropicais tende a apresentar maior profundidade.

O manto de alteração é normalmente composto por uma série de camadas (unidades) sobrepostas, normalmente paralelas à superfície do terreno. Cada uma destas camadas apresenta características geotécnicas próprias (tais como resistência mecânica, plasticidade, erodibilidade etc.), e separa-se das outras por regiões de contato que podem ser bruscas ou graduais. Um modelo geral do número e disposição de camadas (unidades) pode ser sintetizado, das mais superficiais para as mais profundas, de acordo com CUNHA (1991)³, p.9:

- *“Solo laterítico (solo superficial ou residual maduro) ou laterizado: unidade mais superficial, apresenta-se frequentemente laterizado (concentração de óxidos de ferro e alumínio), com alta porosidade (volume de vazios / volume total), predominantemente argiloso e com cores em tons amarelados e avermelhados. Pode ser originário de alteração local de rocha ou de materiais transportados*

de montante, sob ação da gravidade (origem coluvionar).

- *solo saprolítico (solo de alteração ou residual jovem), de alteração ou saprolítico: unidade subjacente ao solo superficial, com propriedades texturais e estruturais diretamente relacionadas à rocha sobre a qual está assentado e que deu origem à sua formação.*

Apresenta, freqüentemente, cores variegadas.

- *saprolito (transição solo-rocha): unidade que não pode ser mais considerada como solo, devido a suas características de resistência; porém, apresenta-se muito alterada e fraturada, o que lhe confere um comportamento intermediário entre o solo e a rocha.*

- *rocha: é a unidade mais profunda do manto de alteração, apresentando resistência superior às das unidades subjacentes. Em função de seu grau de alteração e fraturamento, pode ser dividida em sub-unidades.”*

Além destas camadas seqüenciais, tendem a se formar, geralmente junto à base das encostas (ou, eventualmente, em trechos mais altos, confinados em colos), depósitos constituídos por fragmentos de rocha e por solos provenientes de montante, constituindo um material heterogêneo, do ponto de vista textural, que pode apresentar fragmentos de rocha de dimensões variadas (de poucos decímetros a alguns metros), em matriz composta por solo. São os denominados depósitos de tálus ou corpos de tálus.

Apesar de se constituírem por solos e fragmentos de rochas efetivamente transportados (classificando-se, portanto, a rigor, como solos transportados), os depósitos de tálus tendem a ocorrer associados a encostas em solos residuais, como o representado, esquematicamente, na Figura 2.3. Sua ocorrência pressupõe que, a montante, haja solos efetivamente residuais, formados por alteração de um embasamento (rocha-mãe) local.

³CUNHA, M.A. (Coordenador). (1991). Ocupação de encostas.

2.2.2.2 - Encostas em bacias sedimentares

Assim como o clima tropical favorece a formação de solos residuais, favorece também o seu transporte e deposição em outros locais, principalmente pela ação das águas das chuvas, que desencadeiam erosões e escorregamentos em encostas e atingem cursos d'água capazes de transportar os solos, às vezes a grandes distâncias. Em regiões tropicais, torna-se então também mais expressiva que em climas temperados a ocorrência e profundidade das denominadas *bacias sedimentares*. Constituem-se por camadas de sedimentos associadas aos diversos materiais transportados, litificados (transformados em rochas) ou não, e submetidos ou não a novos processos físicos, químicos ou biológicos. Sua profundidade relaciona-se com as características geométricas e dimensionais do embasamento local sobre o qual se deu a deposição do material transportado.

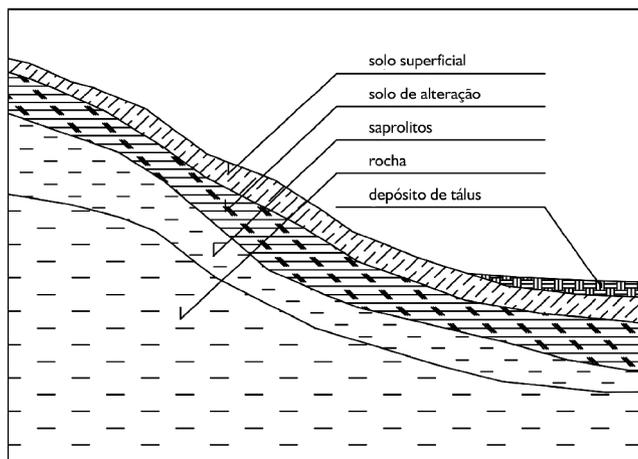


Figura 2.3. Camadas (unidades) típicas em encostas em solos residuais. (corte) Fonte: Adaptado de CUNHA (1991)⁴, p.8.

O Município de São Paulo tem uma parte particularmente importante de sua formação urbana assentada sobre sedimentos, na chamada Bacia Sedimentar de São Paulo (BSSP), formada em períodos geológicos correspondentes ao Terciário (de 1,8 até 65 milhões de anos).

As várzeas dos rios paulistanos são também formadas por sedimentações, mas ocorridas desde o Quaternário (de 0 até 1,8 milhões de anos), sem litificação e pouco expressivas em associações com encostas íngremes.

Os sedimentos encontrados nas bacias terciárias apresentam camadas de espessura e textura bastante variada, com diversos graus de consolidação. Estão geralmente associados a relevos de colinas com encostas suaves mas, eventualmente, podem formar relevos mais pronunciados, com morrotes e morros, apresentando declividades superiores a 15%. A Figura 2.4 apresenta, a título de ilustração, um perfil comum de terreno formado por solos transportados, no Terciário.

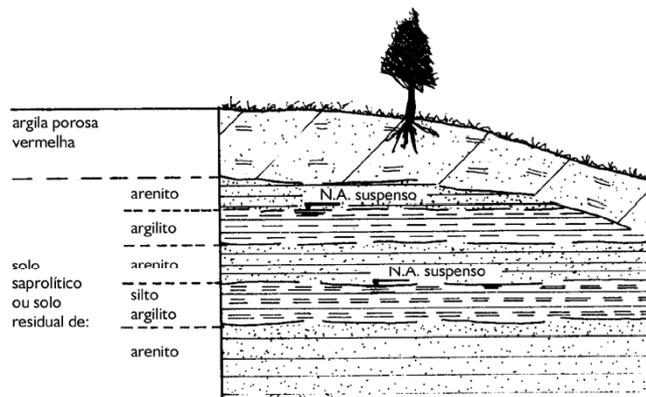


Figura 2.4. Perfil típico de sedimentos terciários. Fonte: CARVALHO (coordenador). (1991)⁵, p.56.

⁴ CUNHA, M.A. (Coordenador)(1991). Ocupação de encostas.

⁵ CARVALHO, P.A.S.(Coordenador). (1991). Manual de geotecnica: taludes de rodovias.

Neste tipo de terreno, como mostra a figura, não é incomum a presença de diversos lençóis d'água suspensos, que surgem em função da ocorrência de camadas impermeáveis, alternadas com camadas permeáveis.

2.2.3 - Ambiente fisiográfico

O ambiente fisiográfico, como já se inferiu anteriormente, desempenha papel importante na constituição dos terrenos ao longo do tempo. Seu papel, porém, não cessa aí. No caso de encostas, pode favorecer novos processos mais rápidos (tendo por referência a escala de períodos geológicos) e capazes de alterar as condições de estabilidade anteriormente atingidas, propiciando novas remodelações de terreno. Constituído por componentes de clima, de capeamento vegetal, de relevo e de aspectos topográficos locais, o ambiente fisiográfico envolve, por exemplo, ações do gelo, da água, do sol e dos ventos, cujos efeitos sobre a encosta podem variar, de acordo com os demais componentes (vegetação presente e peculiaridades topográficas ou de relevo, tais como proeminências de terreno e/ou drenagens naturais). É ilustrativo, neste sentido, o fato de que em latitudes sul, as encostas voltadas para o sul, recebendo pouco sol, tendem a ser mais úmidas e instáveis, em chuvas, que as voltadas para o norte.

No Brasil que, em grande parte, está situado em região tropical quente e úmida, as chuvas acabam configurando o principal fator do ambiente fisiográfico na transformação natural das encostas. A intensidade das chuvas, seu tempo de duração e seu acúmulo, num

determinado período de tempo, correlacionam-se estreitamente com a deflagração de instabilizações em encostas.

Ainda que o papel das chuvas não seja isolado, combinando-se com características geométricas e geológicas dos terrenos, sua importância é fundamental. No que diz respeito a um dos particulares tipos de fenômenos de instabilização (que serão mais adiante estudados) - os escorregamentos - GUIDICINI et NIEBLE (1983)⁶, p.11, afirmam:

“As chuvas não representam senão um dos aspectos a serem considerados na tentativa de análise de condições que conduzem ao aparecimento de escorregamentos. Inúmeros outros fatores atuam Trata-se, entretanto, do aspecto mais significativo, distanciando-se dos demais fatores em importância. Se não todos, quase todos os escorregamentos registrados em nosso meio fisiográfico estão associados a episódios de elevada pluviosidade, de duração compreendida entre algumas poucas horas até alguns dias.”

2.2.4 - Processos naturais de instabilização de encostas

Como já foi dito anteriormente, as condições naturais de equilíbrio das encostas dependem concomitantemente de três fatores: das suas características geométricas, das suas características geológicas e do ambiente fisiográfico em que se inserem. Em seu estado natural, as encostas podem estar, assim, muitas vezes

⁶ GUIDICINI, G. et NIEBLE, C.M. (1983). Estabilidade de taludes naturais e de escavação.

expostas a instabilizações. Os principais processos naturais de instabilização que se verificam são os denominados transportes de massa (erosões e processos correlatos), e os movimentos gravitacionais de massa (rastejos, escorregamentos, quedas, tombamentos, rolamentos de matações e corridas de massa. Descrevem-se, a seguir, em linhas gerais, os referidos processos.

2.2.4.1 - Erosões

Erosões são fenômenos sintetizáveis no desprendimento e transporte de partículas de solo sob a ação dos denominados agentes erosivos (tais como água, vento e geleiras). Para o caso do Brasil, a água constitui o principal agente.

As erosões podem se restringir a efeitos lentos da água sobre o terreno, com o desprendimento e transporte, apenas, de partículas superficiais do solo, de maneira uniforme ao longo da superfície, constituindo o que poderia ser considerado como uma simples *lavagem* do terreno, sem a formação de veios preferenciais, mais pronunciados, de escorrimento. Nesta situação a erosão é dita laminar.

Quando além do transporte das partículas superficiais passam também a se desprender, por arraste, partículas não superficiais, podem se formar veios (caminhos preferenciais), canais ou cavidades, e podem ser atingidas camadas de solos com menor resistência ao fenômeno. A erosão pode então evoluir para sulcos e ravinas, que constituem denominações específicas para diferentes profundidades de canais, chamando-se de ravinas os mais profundos.

Caso a erosão se aprofunde até o lençol freático, este último poderá carrear, para o interior da ravina, partículas de solos da camada que o contém, podendo

formar vazios internos, através do fenômeno denominado por “*piping*”. Aumenta-se então a instabilização do terreno, podendo ocorrer desabamentos laterais na erosão e, em suas proximidades, afundamentos de superfície. Neste estágio, o fenômeno erosivo recebe o nome particular de *boçoroca*, e o fenômeno pode atingir grandes proporções.

Na natureza, as erosões tendem a se formar em áreas menos vegetadas ou que, por motivos naturais, tenham perdido vegetação (por exemplo, em incêndios naturais ou em arrancamento de árvores por ventos fortes). A presença de vegetação inibe a erosão, quer pela atenuação do impacto direto da chuva sobre o solo, quer pela estruturação que as raízes conferem ao terreno.

2.2.4.2 - Rastejos

Rastejos são movimentos gravitacionais de massa que se processam de forma lenta, abrangendo grandes áreas da encosta afetada. Originam-se, com mais freqüência, nas variações climáticas sazonais, pela alternância do umedecimento com a secagem. Não apresentam superfícies nítidas de ruptura, abrangendo, em geral, diversas camadas de solo e rocha.

Podem ser percebidos, principalmente, através do aparecimento de fendas na superfície e pela alteração da inclinação do terreno, que se observa, por exemplo, através da inclinação de árvores.

A ordem de grandeza da movimentação em rastejos corresponde, normalmente, à de centímetros por ano. No que pese a lentidão característica deste tipo de movimento gravitacional de massa, os rastejos, muitas vezes, são o prenúncio de movimentos mais bruscos, tais como os escorregamentos, mais adiante tratados.

Como afirmam GUIDICINI et NIEBLE (1983)⁷, p.20:

“Massas em processo de rastejo, que atinjam taludes mais íngremes, poderão bruscamente passar ao estado de escorregamento, principalmente no caso de rastejo de rochas.”

WOLLE (1980), apud CARVALHO (1996)⁸, p.14, no que diz respeito a rastejos em solos superficiais, associa três possíveis origens ao fenômeno: a alternância de ciclos de umedecimento e secagem; as ocorrências de escorregamentos de pequenas porções de solo, com transferência de tensões para regiões adjacentes anteriormente estáveis e a ação constante da gravidade, produzindo fenômeno de fluência (deslocamento sob solitação constante).

Os depósitos de tálus, já definidos anteriormente, tendem a apresentar fenômenos de movimentação de natureza correspondente à dos rastejos. Por mostrarem condições mecânicas pouco uniformes, uma vez que se constituem por uma deposição irregular de solos e fragmentos de rocha, podem apresentar igualmente fendas em superfícies irregulares, decorrentes de movimentações lentas, que também podem anteceder movimentações mais bruscas.

2.2.4.3 - Escorregamentos

Escorregamentos são movimentos gravitacionais bruscos de massa, envolvendo solo ou solo e rocha, potencializados, na natureza, no caso do Brasil, principalmente pela ação das águas de chuvas. Podem ser

deflagrados por diversos mecanismos como, por exemplo, por uma chuva muito forte, mesmo que de duração pouco prolongada, que pode ocasionar a perda de coesão num trecho mais superficial de solo, que se destaca e se desloca sob ação da gravidade. Em chuvas menos intensas, mas prolongadas e, numa situação crítica - quando após alguns dias de chuvas menos intensas, mas contínuas, ocorre uma precipitação mais intensa - podem ocorrer elevações importantes do nível de água subterrânea, com conseqüente aumento da carga piezométrica, o que tende a originar escorregamentos. Lençóis d'água confinados por camadas superiores impermeáveis, sofrendo incrementos de pressão, são também capazes de destacar as camadas superiores de solos, igualmente originando escorregamentos.

Os mecanismos de ruptura, em escorregamentos, podem ser classificados em translacionais e rotacionais. Diferentemente dos rastejos, tendem a se dar em superfícies de ruptura mais nítidas, muitas vezes em descontinuidades entre camadas de solos ou entre camadas de solo e rocha. Nos escorregamentos translacionais, a superfície do escorregamento tende a assumir forma planar (paralela ao perfil da encosta) ou de cunha, enquanto que nos rotacionais, a forma assumida é a do lado côncavo de uma calota esférica.

2.2.4.4 - Quedas e tombamentos

Quedas e tombamentos são instabilizações caracterizadas pelo desprendimento de blocos de solo ou rocha de um maciço, seguido da queda livre ou rotação (tombamento) da parte destacada. As quedas ocorrem a

⁷ GUIDICINI, G. et NIEBLE, C.M. (1983). Estabilidade de taludes naturais e de escavação.

⁸ CARVALHO, C.S. (1996). Gerenciamento de riscos geotécnicos em encostas urbanas: uma proposta baseada na análise de decisão.

partir de proeminências do terreno, em encostas íngremes, pela ruptura brusca em trechos com descontinuidades de material (tais como fraturas ou planos de menor resistência) ou por variações térmicas que, ocasionando dilatação e contração do material, favorecem rupturas. Os tombamentos (ou basculamentos) ocorrem principalmente em paredões de rocha ou solo, em encostas íngremes, que apresentem falhamentos verticais, paralelos à superfície. Às vezes se dão mesmo na ausência de falhamentos. O bloco destacado tomba, girando em torno de um eixo horizontal situado ao longo da sua parte inferior.

2.2.4.5 - Rolamentos de matacões

Os rolamentos de matacões, como diz o próprio nome, consistem no rolamento, encosta abaixo, de blocos de rocha que se desprendem do terreno, principalmente por ação de águas pluviais. Ocorrem predominantemente em áreas graníticas, que originam matacões de rocha sã, isolados e expostos em superfície.

2.2.4.6 - Corridas de massa

As corridas de massa extrapolam a encosta isolada, verificando-se em regiões de relevo acidentado onde, em chuvas excepcionais, ocorre um elevado aporte de materiais para as drenagens, a partir de escorregamentos e/ou erosões múltiplas. O material desprendido e encharcado é canalizado num vale, criando um curso viscoso de lama. O escoamento de lama, por sua vez, é capaz de sustentar o transporte de, por exemplo, árvores de grande porte ou até mesmo de grandes matacões, conferindo ao fenômeno um alto poder destrutivo.

2.2.5 - Ocupação urbana e instabilizações em encostas

As ações humanas sobre as encostas, seja para a agricultura e para a pecuária, seja para a mineração, seja ainda para a ocupação urbana, alterando as características originais dos terrenos, podem potencializar instabilizações. Dentre estas ações (denominadas antrópicas), tendem a apresentar grande impacto - e muitas vezes riscos mais pronunciados, pela presença mais intensa de seres humanos - as impostas pela ocupação urbana. Existem diversas demandas e imposições freqüentes da ocupação urbana que se traduzem em alterações das encostas naturais, algumas das quais se destacam:

- retirada de vegetação, com alteração do ambiente fisiográfico;
- movimentações de terra, com alteração das características geométricas da encosta, podendo envolver ainda:
 - . exposição de solos originalmente situados em camadas mais profundas, mais suscetíveis frente a algum ou alguns dos processos de instabilização já mencionados;
 - . aterros com solos diferentes do original ou com condições de compactação e proteção diferentes da original⁹.
- alteração do regime natural de escoamento e infiltração de águas pluviais, modificando, mais uma vez, o ambiente fisiográfico, abrangendo, quase sempre fluxos e lançamentos concentrados de água;

⁹ A exposição de solos originalmente mais profundos ou a importação de solos para aterros acabam, na prática, alterando as características originais da encosta.

- introdução de novas fontes de águas superficiais e sub-superficiais associadas a redes de água e de esgotos com vazamentos e a fossas negras e sépticas;
- deposição de materiais estranhos ao terreno natural (principalmente lixo e/ou entulho), caracterizando sobrecargas, principalmente quando encharcados, e com comportamento geotécnico que pode afetar o do terreno original.

Tendo por referência os processos naturais de instabilização de encostas, anteriormente tratados, passa-se aqui a estabelecer relações entre as transformações com origem na ocupação urbana e o desencadeamento de instabilizações. A ocupação é freqüente indutora de processos de instabilização, similares aos já mencionados para as condições naturais, mas pode propiciar ainda outros processos, mais característicos de terrenos remodelados, como será visto a seguir.

2.2.5.1 - Ocupação urbana e erosão

Como primeiro fator indutor de erosão em encostas, a ocupação urbana demanda desmatamentos, que expõem mais os solos à ação da água e, conseqüentemente, ao desenvolvimento de fenômenos erosivos. Em seguida, várias outras conseqüências da ocupação determinam novas fontes de erosões: a mudança do regime natural de escoamento das águas, com a tendência a criar concentrações de fluxos, é capaz de dar origem a sulcos, ravinas e boçorocas. Na execução de cortes, é freqüente a exposição de solos mais suscetíveis ao fenômeno. Em aterros pouco compactados e desprotegidos, a suscetibilidade à erosão tende a ser também elevada.

Em terraplenagens extensas, seja para a criação de loteamentos residenciais, seja para implantar indústrias, é

comum a permanência de grandes áreas de solo expostas por períodos longos, dando espaço ao desenvolvimento de erosões.

É também freqüente, em loteamentos, a execução dos denominados desbastes de quadras, cuja finalidade é a de nivelar as testadas de lotes com o viário, o que acaba também por expor solos mais suscetíveis, dando origem a intensos processos erosivos, além de patrocinar o assoreamento de bacias e cursos d'água a jusante, como ilustra a Foto 2.1.

Em muitos municípios brasileiros, a erosão urbana vem gerando fortes deseconomias, com a necessidade de elevados investimentos públicos para a sua recuperação, assim como para o desassoreamento de cursos d'água: os solos transportados para jusante preenchem bacias e cursos d'água, com prejuízos notáveis.



Foto 2.1. Loteamento Vila Lúgia, em Mauá, Região Metropolitana de São Paulo, com erosões generalizadas por "desbastes de quadras". Fonte: Arquivo IPT.

Em Bauru (SP), por exemplo, onde são freqüentes os processos erosivos em áreas urbanas, alguns assumem dimensões assustadoras, como uma boçoroca que evoluiu, em 1993, no loteamento denominado *Parque Bauru*. Esta resultou em altura superior a 25m e largura superior a 30m

(na cabeceira), e comprimento superior a 800m, tragando trechos inteiros do referido loteamento, destruindo o arruamento e nove casas, além de propiciar um impressionante assoreamento de dois lagos situados em clube de campo vizinho e de um curso d'água a jusante. De acordo com o IPT (1994)¹⁰, p.15, a boçoroca do Jardim Bauru movimentou cerca de 300.000m³ de solos, o equivalente a cerca de 50.000 caminhões de terra. As fotos 2.2, 2.3 e 2.4 apresentam aspectos deste episódio.

Como já foi dito no Capítulo 1, estima-se que na Grande São Paulo ocorre o carreamento anual de cerca de 5.000.000m³ de solo para as calhas dos rios Tietê e Pinheiros, proveniente, principalmente, de terrenos expostos em loteamentos habitacionais e industriais.



Foto 2.2. Vista aérea da boçoroca do Parque Bauru, em Bauru (SP). Fonte: IPT(1994) - Relatório no 32.207 - Plano de obras de contenção das erosões urbanas do município de Bauru, SP - 2ª fase. p 10.

A ocorrência de erosões pode se dar até em encostas com declividades suaves e há uma forte interação entre a urbanização e a eclosão de processos erosivos em áreas urbanas e periurbanas. Dos aspectos de traçado viário e de



Fotos 2.3 e 2.4. Lago do clube de campo a jusante do loteamento Parque Bauru, em Bauru (SP), antes e depois de assoreado pelo material proveniente da boçoroca. Fonte: IPT (1994) - Relatório no 32.207 - Plano de obras de contenção das erosões urbanas do município de Bauru, SP - 2ª fase (a foto 3 foi cedida ao IPT pelo Prof. Dr. Nariaqui Cavacuti, da UNESP - Bauru). pp. 34 e 35.

¹⁰ IPT (1994) - Relatório no 32.207 - Plano de obras de contenção das erosões urbanas do município de Bauru, SP - 2ª fase.

infra-estrutura de drenagem a procedimentos adotados em obras, acumulam-se fatores predisponentes à erosão. Conforme o nível de fragilidade dos solos, a simples adoção de vias inclinadas (até mesmo com baixas declividades) e longas, sem obras intermediárias, ou de extremidade, para a dissipação da energia das águas pluviais, pode dar espaço a grandes erosões em áreas a jusante.

Destaca-se ainda que, em taludes de corte e de aterro, assim como em taludes naturais, a evolução de erosões devidas à ocupação urbana pode originar quedas de blocos de solos e escorregamentos, mais adiante tratados.

2.2.5.2 - Ocupação urbana e rastejos

Rastejos podem ser induzidos pela ocupação urbana e, na literatura brasileira, este assunto é mais tratado no que diz respeito ao caso específico de corpos de tálus.

Mencionam-se, por exemplo, o efeito de cortes na região média inferior de corpos de tálus, assim como a execução de aterros sobre tais depósitos, como alguns dos fatores agravantes da condição de instabilidade natural que já os caracteriza, favorecendo sua movimentação mais generalizada em função do processo de ocupação.

Corpos de tálus sofrem igualmente instabilizações decorrentes de elevações de cargas piezométricas, podendo assim apresentar incrementos de instabilização em chuvas. As infiltrações de água típicas da ocupação urbana, tais como vazamentos de tubulações de água e de esgotos ou a presença generalizada de fossas, tendem a colaborar neste processo.

Cortes, em encostas de declividades acentuadas,

podem também originar rastejos, que às vezes evoluem para escorregamentos, em chuvas mais críticas.

A Figura 2.5 mostra, esquematicamente, a indução de um rastejo pela ocupação, em corpo de tálus, por corte na sua região média inferior.

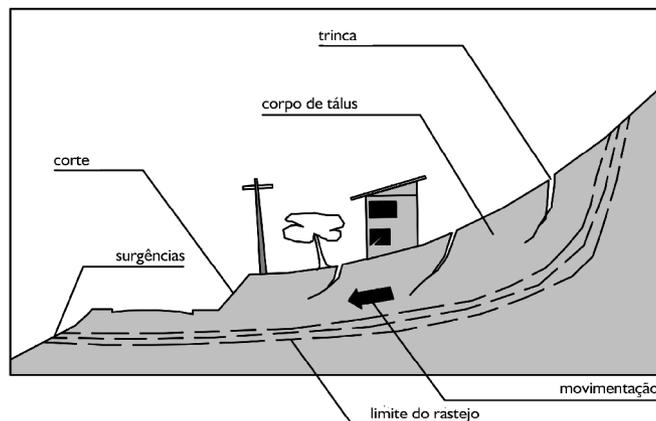


Figura 2.5. Rastejo em corpo de tálus devido à ocupação urbana (corte). Fonte: adaptado de CUNHA (1991)¹¹, pág. 42.

2.2.5.3 - Ocupação urbana e escorregamentos

Ainda que se tenha apresentado, anteriormente, um exemplo dramático dos efeitos da erosão em áreas urbanas, esta tende a causar mais prejuízos ambientais e econômicos que propriamente riscos de vida. Os escorregamentos, porém, envolvem freqüentemente este tipo de risco e constituem fatos bastante corriqueiros e fortemente favorecidos pela ocupação urbana em encostas no Brasil. Sua ocorrência que, na natureza, está basicamente associada às ações da gravidade e da água (como as já mencionadas

¹¹ CUNHA, M.A. (Coordenador). (1991). Ocupação de encostas.

no item 2.1.2.3), ficam agora acrescidas das ações das águas tipicamente introduzidas pela ocupação urbana, voluntária ou involuntariamente. Além disso, a retirada da vegetação, as alterações de geometria e a remoção ou substituição das camadas superficiais de solo tendem fortemente a prejudicar as condições naturais de estabilidade da encosta quanto a escorregamentos, se não forem executadas com critérios técnicos específicos.

Fatos corriqueiros associados ao uso urbano do solo podem também agravar a situação. Deposições ou lançamentos superficiais de lixo e entulho e lançamentos de efluentes sanitários são freqüentes fatores de indução de escorregamentos. Isto aponta para outro fato importante: não só aspectos de concepção e implantação interferem na segurança na ocupação urbana de encostas, como também aspectos logísticos, ligados aos serviços urbanos e à própria educação ambiental.

A sistematização de relações entre alterações impostas pela ocupação com deficiências de obras geotécnicas ou de serviços urbanos e escorregamentos é tratada por CUNHA (1991)¹², p. 47/63 e, de forma mais aprofundada, mas tendo por referência taludes de rodovias, por CARVALHO¹³ (1991), p.107/135. No presente trabalho, com base nestes dois autores, elaborou-se uma síntese destas relações, apresentada, a seguir, no Quadro 2.1.

2.2.5.4 - Ocupação urbana, quedas de blocos e tombamentos

A execução de cortes para a implantação de vias ou para a construção de unidades habitacionais pode desconfinar porções de solo ou rocha com falhamentos

que, instabilizadas, podem sofrer quedas livres ou tombamentos. Em alguns casos, o fenômeno pode se dar a despeito da ausência de falhamentos, pelo simples desconfinamento. O fenômeno pode se deflagrar também a partir de paredões e proeminências rochosas naturais, que não sofreram alterações. Em taludes inclinados podem ocorrer, de acordo com os solos expostos, erosões diferenciadas ou remontantes, e o descalçamento de porções de solo superiores pode também possibilitar sua queda. A simples identificação da presença de paredes e/ou proeminências, numa área a ocupar, remete à necessidade de elaboração de estudos específicos por especialistas.

2.2.5.5 - Ocupação urbana e rolamentos de matacões

A presença de matacões dá-se tanto em terrenos em estado natural (principalmente em áreas graníticas, como já se disse anteriormente) quanto em terrenos já alterados pelo homem, para a retirada de terra (áreas de empréstimo) ou para a mineração. Nestas duas últimas situações, blocos de rocha podem ter sido deixados em condições de equilíbrio precário pelas ações antrópicas anteriores. Áreas em encostas (e suas adjacências) com presença de matacões, quando ocupadas sem cuidados específicos, oferecem riscos óbvios. Alterações na geometria do terreno, próximas a matacões, assim como ações das águas de chuva ou das águas típicas associadas à urbanização, podem desprender blocos de rocha que, rolando encosta abaixo, oferecem grande poder destrutivo. A verificação da presença, em encostas, de matacões em superfície, ou mesmo de matacões semi-enterrados, numa área a ocupar, remete à necessidade de consulta a especialistas.

¹² CUNHA, M.A. (Coordenador). (1991). Ocupação de encostas

¹³ CARVALHO, P.A.S.(Coordenador). (1991). Manual de geotecnia: taludes de rodovias.

Demandas típicas Da ocupação	Inadequações geotécnicas ou de infra-estrutura	Potencialização de escorregamentos
Desmatamento	Retirada indiscriminada da vegetação	Exposição do solo e perda da estruturação superficial conferida pelas raízes; aumento da infiltração com favorecimento à elevação da carga piezométrica em chuvas; exposição à erosão, que pode evoluir para escorregamentos.
Execução de cortes	Alteração inadequada de maciços	Desconfinamento do maciço, com possibilidade do aparecimento de fissuras e trincas a montante, possibilitando infiltrações e potencializando escorregamentos.
	Cortes com inclinação e/ou altura excessiva	Possibilidade de ultrapassagem do limite natural de estabilidade do solo cortado, possibilitando escorregamentos.
	Cortes em descontinuidades de maciços	Possibilidade de escorregamentos pela quebra de situação anterior de equilíbrio de camadas de solos sobrepostas. Descontinuidades de maciços são comuns em estruturas residuais reliquias, manifestando-se em fraturas e em planos estruturais (xistosidades) herdados da rocha-matriz. Verificam-se também em contatos solo-rocha.
	Cortes com ausência ou deficiência de proteção superficial ou drenagem	Possibilidade de escorregamentos, mesmo em declives suaves, pela saturação do solo, combinada ou não com a elevação do lençol freático. Favorecidos em terrenos com múltiplos lençóis suspensos, comuns em solos sedimentares.
	Cortes com erosões remontantes	Possibilidade de escorregamentos pelo “descalçamento” do pé do talude de corte.
Execução de aterros	Aterros com fundações inadequadas	Possibilidade de escorregamentos originados pelo recalque do aterro, bastante freqüente em baixadas, principalmente durante obras. Ocorre também em aterros sobre rocha, por falta de aderência em interface não tratada adequadamente, principalmente sob a ação de infiltrações d'água. Freqüente também em aterros diretamente executados sobre solo vegetado ou surgências d'água. Pode ocorrer também em aterros à meia-encosta, por excesso de carga.
	Deficiências do corpo de aterro propriamente dito	Escorregamentos devidos à deficiência ou ausência de compactação ou à adoção de características geométricas (altura e/ou inclinação) inadequadas ao tipo de solo.
	Inadequações em aterros sobre linhas de drenagem	Necessários na implantação de vias para transposição de vales, em entalhes de encostas, os aterros devem possibilitar a travessia das águas, o que normalmente se consegue através de galerias. A não execução de galerias, ou seu subdimensionamento, ou ainda sua obstrução (acúmulo de lixo, entulho e demais materiais provenientes de montante), podem facilmente induzir a ocorrência de escorregamentos nos aterros.
	Deficiências ou ausência de drenagens internas e superficiais e de proteção superficial	Taludes de aterro normalmente requerem sistemas de drenagem interna e superficial para sua estabilidade (filtros-dreno, escadas d'água e canaletas de pé e de crista etc). A não adoção destes dispositivos ou sua concepção ou manutenção deficiente podem possibilitar escorregamentos ou ações erosivas mais pronunciadas, capazes de evoluir para escorregamentos. A ausência ou deficiência de proteção superficial (por vegetação ou outro sistema) expõe também os taludes a erosões e a escorregamentos.

Demandas típicas Da ocupação	Inadequações geotécnicas Ou de infra-estrutura	Potencialização de escorregamentos
Concentração de águas pluviais	Deficiência de concepção ou ausência de sistema de drenagem	Concentrações de fluxos e lançamentos de águas pluviais podem causar escorregamentos ou erosões que evoluam para escorregamentos tanto em taludes naturais quanto em taludes de corte ou aterro.
Lançamento de águas servidas	Ausência de redes de esgotamento sanitário	Infiltrações contínuas de água, tendendo a saturar o solo e participando da elevação da carga piezométrica, principalmente quando somadas a chuvas, tendem a propiciar escorregamentos.
Tubulações de água e de esgotos	Vazamentos	Saturação do solo e/ou criação de fluxos subterrâneos, favorecendo a ocorrência de escorregamentos.
Fossas negras ou sépticas	Ausência de redes de esgotamento sanitário	Saturação do solo e/ou criação de fluxos subterrâneos, favorecendo escorregamentos. Particularmente perigosas nas proximidades de taludes de corte ou aterro. Riscos de escorregamentos crescentes, de acordo com o número de fossas presentes.
Lançamentos de lixo e entulho	Ausência ou deficiência de coleta de lixo e entulhos e/ou deficiências de educação ambiental	A massa heterogênea constituída pelos detritos e refugos, com reduzidos parâmetros de resistência, é capaz de armazenar grande quantidade de água durante as chuvas e instabiliza-se, afetando ainda a estabilidade de porções variáveis do terreno de base.

Quadro 2.1 - Demandas típicas da ocupação urbana em encostas, inadequações geotécnicas e/ou de infra-estrutura e potencialização de escorregamentos

2.2.5.6 - Ocupação urbana e corridas de massa

A ocupação indiscriminada de regiões de relevo com presença expressiva de morros pode favorecer a ocorrência de deslizamentos múltiplos nas encostas, em chuvas fortes, dando origem a corridas de massa. Se o relevo geral da região de implantação apresentar feições que indiquem a possibilidade da ocorrência de corridas de massa, e se a situação específica de um terreno a ocupar constituir uma possível rota de uma eventual corrida de massa, o projetista deve consultar especialistas no fenômeno. Por exemplo, uma porção baixa de encosta, situada à margem de um vale, ladeado por várias outras encostas, pode estar situada na rota de uma eventual corrida de massa.

Reforça-se, porém, que as condicionantes para a ocorrência deste fenômeno (assim como dos demais fenômenos de instabilizações em encostas) não se restringem a aspectos de relevo. Representam, como já foi dito, a combinação de fatores de relevo, de geologia, do capeamento vegetal e das características de clima locais, requerendo-se efetivamente a opinião de especialistas para uma melhor avaliação da possibilidade de ocorrência de uma corrida de massa.

Um exemplo clássico de corrida de massa, no Brasil, é a que sucedeu em 1967, em Caraguatatuba, que chegou a atingir o centro urbano do município. Após cessado o fenômeno, verificou-se uma deposição de sedimentos com

espessura de até 1m. O episódio causou, pelo menos, 120 mortes, além de prejuízos materiais de grande monta, como a destruição de cerca de 400 casas.

2.2.6 - Ocupação urbana e instabilizações em encostas em bacias sedimentares: a Região Metropolitana de São Paulo

Ainda que o presente trabalho não pretenda estabelecer um recorte geográfico de abrangência, cabe tecer comentários específicos sobre o sítio de implantação da Região Metropolitana de São Paulo, quer por sua expressão urbana, combinada à presença importante de encostas em seu relevo, quer pela ocorrência, além de solos residuais, de importantes porções de terrenos formados por sedimentos, em regiões urbanas, de especial significado para a cidade.

No que diz respeito a sedimentos, a denominada Bacia Sedimentar de São Paulo (BSSP) se estende tendo por limites principais, como referência, as calhas dos rios Tietê e Pinheiros, incluindo a calha do Rio Tamanduateí. Note-se que o núcleo histórico da formação da cidade, assim como partes importantes do que hoje se chama de centro expandido, fundaram-se em terrenos de origem sedimentar.

No âmbito nacional, os solos da Bacia Sedimentar de São Paulo (BSSP) é dos mais pesquisados, em função da intensa urbanização. Mostram-se, porém, bastante escassos os estudos específicos de estabilidade de taludes na Bacia Sedimentar, como afirmam WOLLE et SILVA

(1992)¹⁴, em trabalho específico para cobrir esta deficiência. Tais autores apresentam uma interessante sistematização dos tipos de instabilizações de taludes na Bacia, que está reproduzida no Quadro 2.2.

Dentre os fenômenos de instabilização de taludes na BSSP sistematizados por Wolle e por Silva, são bastante significativos, merecendo especial destaque, os associados à erosão diferenciada, em taludes, de camadas arenosas. Isto pode acarretar o descalçamento de camadas superiores, constituídas por outros sedimentos mais resistentes à erosão, possibilitando escorregamentos ou quedas de blocos. Cortes que exponham camadas arenosas podem também propiciar o “destamponamento” de lençóis d’água suspensos (freqüentes na BSSP), possibilitando fluxos d’água que, por “piping”, agravam os descalçamentos. Tais fenômenos podem ser considerados como dos mais expressivos mecanismos de deflagração de instabilizações em encostas, induzidos pela ocupação urbana, na Bacia Sedimentar de São Paulo.

Ultrapassados os limites gerais da Bacia Sedimentar, as encostas da região Metropolitana apresentam predominantemente solos residuais. Mesmo que expostas a quase todos os fenômenos de instabilização induzidos pela ocupação urbana, já descritos anteriormente, encostas em solos residuais da Região Metropolitana de São Paulo apresentam uma especial susceptibilidade à erosão, principalmente em camadas de solos subsuperficiais, particularmente nos denominados solos de alteração, quando expostos em terraplenos.

¹⁴ WOLLE, C.M. et SILVA, L.C.R. (1992). Taludes. In Solos da Cidade de São Paulo.

RELAÇÃO COM A BSSP	TIPO DE FENÔMENO	SUBCLASSE	SOLOS NOS QUAIS OCORREM
Instabilizações em taludes exclusivamente constituídos de solos da BSSP	Escorregamentos	Rotacionais	Solos argilosos espessos, não fissurados
		Em cunhas	Solos argilosos fissurados
		Desplacamentos com escorregamentos	Solos argilosos com trincas de tração
	Quedas e tombamentos	Desplacamentos com tombamentos	Idem acima
		Quedas de blocos desconfinados	Em camadas argilosas, sobre camadas de areia erodidas Em camadas arenosas/ argilosas sobre camadas argilosas desagregadas
	Erosão	Laminar	Em solos homogêneos
		Em sulcos	Em solos argilosos e siltosos
		Por desagregação superficial	Em argilas e siltes argilosos expansivos desconfinados
		Interna ("piping")	Em solos heterogêneos com fluxo por caminhos preferenciais
	Instabilizações que envolvem solos da BSSP e solos saprolíticos subjacentes	Instabilizações em que os solos da BSSP atuaram apenas como sobrecarga ruptura desenvolvida basicamente no substrato saprolítico	
Instabilizações em que os solos da BSSP participaram da movimentação ruptura se desenvolveu em ambos os horizontes			
Instabilizações que envolvem solos da BSSP e aterros	Instabilizações nas quais a superfície de ruptura ficou restrita à massa de aterro		
	Instabilizações em que os solos da BSSP participaram da movimentação - ruptura se desenvolveu em ambos os horizontes		

Quadro 2.2 - Tipos de instabilizações de taludes em solos da bssp. Fonte: WOLLE et SILVA (1992)¹⁵ . p.252.

¹⁵ Id. Ib.

2.3 - Instrumentos de orientação à ocupação

Como pôde ser visto até o momento, do ponto de vista geológico e geotécnico, existem inúmeras condicionantes de meio físico para a ocupação de encostas que, se não observadas, podem facilmente conduzir a desastres e a deseconomias. E a consideração de condicionantes do meio físico para a ocupação urbana é, no Brasil, uma necessidade poucas vezes observada.

O processo desordenado de urbanização a que temos assistido em nosso país atinge, indiscriminadamente, terrenos situados em áreas inundáveis, em solos erodíveis, em solos passíveis de colapsos e subsidências e em encostas, dentre outros problemáticos, sem a utilização de critérios específicos. Neste quadro, a ocupação inadequada de encostas, no Brasil, nada mais é que uma manifestação particular, ainda que de forte apelo, de um quadro mais generalizado de descaso institucional com o desenvolvimento urbano, desta feita expresso pela desconsideração de condicionantes de meio físico.

Nas últimas décadas têm sido desenvolvidos instrumentos de orientação à ocupação urbana concernentes a condicionantes geológicas e geotécnicas, cujo uso no Brasil pode ser considerado como incipiente. Dentre estes instrumentos destacam-se, inicialmente, os destinados a um âmbito mais amplo de aplicação que propriamente ao projeto isolado em encostas. São as denominadas Cartas Geotécnicas, particularmente úteis na orientação ao planejamento regional e urbano. Outros

instrumentos, mais recentes e, em parte, ainda em aperfeiçoamento, tratam de levantamentos e análises específicos de meio físico de terrenos a ocupar, na escala da gleba, que transcendem a tradicional investigação de subsolo para fundações e direcionam os resultados segundo uma linguagem mais aplicável ao projeto urbanístico e de arquitetura. Como será visto mais adiante, este último instrumento apresenta características similares à de Cartas Geotécnicas, diferindo basicamente daquelas apenas pela escala de trabalho e pelo nível de detalhamento.

2.3.1 - Cartas Geotécnicas

Cartas Geotécnicas são mapas legendados que compartimentam o meio físico de uma região segundo unidades que apresentem potenciais ou restrições homogêneas frente à ocupação, fornecendo ainda um perfil geral de características a adotar na ocupação para que se mantenham condições de segurança geotécnica e de adequação ambiental. Tais cartas podem abranger desde escalas de grandes regiões, como a produzida pelo IPT para o Estado de São Paulo¹⁶ (com dados introduzidos em escala 1:250.000 e com formatação final em escala 1:500.000), assim como escalas mais adequadas ao planejamento urbano, entre 1:50.000 e 1:10.000.

Como pode ser visto em SOUZA (1992)¹⁷, p.1, as Cartas Geotécnicas têm sua origem na Europa, na segunda década do presente século. Inicialmente, tinham emprego mais associado à orientação na escolha de sistemas de

¹⁶ Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – Ipt (1994). Carta geotécnica do Estado de São Paulo.

¹⁷ SOUZA, N.C.D.C. (1992). Abordagem metodológica – História da cartografia geotécnica no mundo. Apostila.

fundações, ainda que já apontassem outras características e potenciais do meio físico em sua relação com a ocupação urbana, tais como a delimitação de áreas inundáveis ou a eventual presença de materiais aplicáveis à construção. Logo após a Segunda Guerra Mundial, o desenvolvimento da cartografia de caráter geotécnico foi mais notável no Leste Europeu, onde servia de base para orientar a reconstrução e a expansão das cidades. Nas décadas de 1960 e 1970, sua utilização se disseminou no Ocidente, quando adquiriu as principais feições em que hoje são produzidas as denominadas Cartas Geotécnicas. O uso mais intensivo destes instrumentos dá-se principalmente na França, onde sua observância tornou-se obrigatória em planos de desenvolvimento urbano.

No Brasil, é a partir da década de 1960 que aparecem os primeiros trabalhos de cartografia geotécnica, inicialmente mais voltados ao uso na agricultura. Em 1979, era concluída a primeira Carta efetivamente dedicada ao planejamento da ocupação urbana, abrangendo parte dos morros de Santos e São Vicente (SP), elaborada pelo IPT.

Nas décadas de 1980 e 1990, aquele mesmo Instituto produziu cartas para as seguintes localidades, dentre outras: São Paulo (município) (SP), Guarujá (SP), Itapevi (SP), Região Metropolitana de São Paulo (SP), Bairros Cota, em Cubatão (SP), Ubatuba (SP), Petrópolis (RJ), Guaratinguetá (SP), Serra do Mar, no Estado de São Paulo, Cajamar (SP), Bauru (SP), Santo André (SP).

O IPT passou ainda, na década de 90, a orientar equipes dos próprios municípios na elaboração de Cartas Geotécnicas e, desta forma, foram elaboradas as Cartas de Campo Grande (MS), de Cuiabá (MT) e de Jacaréi (SP). Destaque-se que esta filosofia mais recente de trabalho, de

comprometimento de técnicos locais nos levantamentos e análises visa, principalmente, a obtenção de uma maior *chance* de incorporação dos resultados obtidos à gestão do desenvolvimento urbano local.

Em alguns dos trabalhos de Cartografia Geotécnica, o IPT contou com a colaboração de diversos órgãos municipais, metropolitanos, estaduais e federais.

As universidades dedicam-se hoje, também, à produção de Cartas Geotécnicas no Brasil, assim como de trabalhos correlatos, destacando-se, entre outros, os desenvolvidos por equipes de Rio Claro, São Carlos e Limeira, no Estado de São Paulo, de Maceió (AL), de Florianópolis (SC), do Rio de Janeiro (RJ), e de Recife (PE), entre outras. Determinadas instituições ligadas ao Estado, como o IG (Instituto Geológico), do Estado de São Paulo, têm igualmente produzido Cartas.

Dispõe-se assim desses instrumentos para alguns dos municípios brasileiros (ou, às vezes, para áreas críticas de municípios), mas em quantidade que pode ser considerada bastante modesta, tendo em vista o importante processo de urbanização pelo qual passamos e as peculiaridades do nosso meio físico que, envolvendo solos tropicais, inspira maiores cuidados.

Além da disponibilidade efetivamente baixa destes instrumentos, no âmbito nacional, sua aplicação ao planejamento urbano, nos casos onde está disponível, não fica absolutamente assegurada. Os confrontos com interesses privados ou políticos nos municípios, a ausência de continuidade administrativa e até mesmo o simples descaso com a questão maior do desenvolvimento urbano podem facilmente transformar Cartas Geotécnicas em arquivo morto. O percurso inicial da Carta Geotécnica dos

Morros de Santos e São Vicente, por exemplo, incluiu este revés, como se ilustra a seguir.

A Casa Militar do Estado de São Paulo, através de sua coordenadoria de Defesa Civil, solicitou ao IPT, no início de 1978, em função de desastres, então recentes, relacionados a escorregamentos em morros de Santos e São Vicente, um estudo de medidas que pudessem minimizar a possibilidade da ocorrência de novos acidentes. Já havia um histórico anterior de desastres de maiores proporções em tais morros. Em 1928, um escorregamento no Monte Serrat ocasionara 60 mortes. Em 1956, em novos escorregamentos, ocorreram mais 43 mortes. Em novos acidentes, em 1978, além da destruição de vasto patrimônio, percebe-se uma situação ainda mais preocupante: agora é bastante intensa a ocupação dos morros, exponencializando-se os riscos. O IPT propõe então o uso da metodologia, então recente, da cartografia geotécnica, o que é aceito e implementado nos morros, abrangendo uma área de cerca de 8km².

O produto elaborado transcende as dimensões geológicas e geotécnicas do problema. Embrenha-se também, claramente, por sua dimensão social, cuja compreensão é fundamental para um correto equacionamento da ocupação de encostas. Entre outros sub-produtos, a Carta Geotécnica dos Morros de Santos e São Vicente contempla também o da orientação a novas ocupações de caráter habitacional. Foram produzidos modelos de habitações (que serão vistos, no presente trabalho, no Capítulo 7), segundo intervalos de faixas de declividades, e desenvolvidos estudos iniciais de urbanização dos morros do Saboó e da Penha, incluindo-se o equacionamento dos arruamentos, da infraestrutura etc. Este foi o primeiro contato do autor com o problema da ocupação de encostas, enquanto membro da

equipe responsável pela elaboração dos estudos referentes a habitações.

O produto final, concluído em 1979, permaneceu por quase uma década sem uso. Sua efetiva aplicação só ocorreu a partir de 1988, quando a administração pública de Santos passa às mãos de políticos com compromissos mais claramente assumidos com a população de baixa renda, incluindo-se aí os cerca de 30.000 habitantes dos morros.

Inicialmente, em Santos, o uso da Carta se deu como subsídio à elaboração do Plano de Defesa Civil da região e, posteriormente (1989), com a formação, na prefeitura local, do denominado “Grupo de Ação para os Morros”, a Carta passou a ser utilizada como peça básica para planejamento, para a prevenção de acidentes geotécnicos e para a *reurbanização* das encostas. Mais tarde, tornar-se-ia, ainda, importante subsídio para a elaboração do Plano Diretor de Santos.

Se a aplicação dos resultados dos estudos e proposições do IPT fosse imediata, provavelmente teriam sido menores os efeitos dos desastres ocorridos na madrugada de 16/12/1979 que, em vários escorregamentos, causaram a morte de 14 pessoas em áreas apontadas pelo Instituto como instáveis.

Poucos municípios brasileiros com encostas dispõem de cartas geotécnicas. Nestes, fica facilitado o estabelecimento de critérios, ainda que gerais, para a ocupação, pois nelas, como mais adiante ilustram as figuras 2.6 e 2.7 (fragmentos da *Carta Geotécnica dos morros de Santos e São Vicente*), estão geralmente caracterizados os solos presentes, as espessuras das camadas em que tendem a ocorrer, seu comportamento em relação às ações antrópicas (tais como

cortes e aterros) e suas suscetibilidades aos diversos agentes deflagradores de instabilizações. Com base nestas informações, já se dispõe de um balizamento básico para o desenvolvimento de projetos, com uma noção geral de limites a observar na ocupação.

Tendo em vista, porém, as escalas gráficas em que as cartas geotécnicas são normalmente produzidas, fica evidente que a elaboração de projetos para encostas deve também ser antecedida por um estudo local mais aprofundado do particular terreno ou gleba sob intervenção, identificando-se as peculiaridades a considerar e transformando-as em diretrizes mais refinadas de projeto.

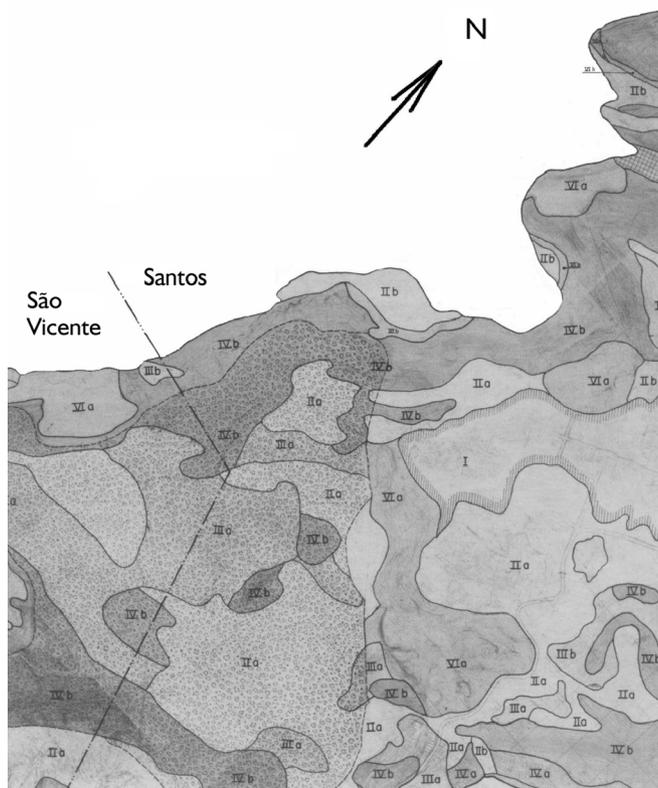


Figura 2.6. Trecho da Carta Geotécnica dos Morros de Santos e São Vicente. Fonte: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo- IPT (1980). Carta Geotécnica dos Morros de Santos e São Vicente. (Publicação IPT nº 1.135).

ÁREAS PASSÍVEIS DE OCUPAÇÃO

ÁREAS		CARACTERÍSTICAS DO MEIO FÍSICO		PROBLEMAS EXISTENTES OU ESPERADOS	CARACTERÍSTICAS GERAIS PARA FINS DE OCUPAÇÃO	
TIPO	REPRESENTAÇÃO	Geomorfologia	Geotecnia			
I	I	Planície aluvionar encaixada no alto de morros.	Depósito de várzea com espessura até 5m. Nível d'água próximo à superfície. Depósitos predominantemente argilosos com lentes mais grosseiras.	Adução e destino de águas pluviais e servidas. Enchentes e assoreamentos Baixa capacidade de suporte.	Área essencialmente plana com possibilidade de circulação interna predominantemente viária.	
II	a	IIa	Topos de morros e segmentos de encostas retilíneas ou convexas, pouco inclinados (<20°).	Áreas de solos mais espessos (até 10m) com perfis de alteração variáveis de acordo com a litologia.	Erosão, desde que retirada a camada superficial do solo orgânico argiloso. Escorregamentos localizados associados à retirada de material.	Áreas de topografia branda com possibilidade de acesso e circulação interna por rua e/ou escadas, dependendo da dimensão e localização da área. Alguns locais poderão ser aproveitados como áreas de empréstimo, desde que o projeto de exploração tenha sido previamente aprovado dentro das especificações propostas.
	b	IIb	Segmentos de encostas retilíneas ou côncavas, pouco inclinados (< 20°), geralmente associados às zonas de acumulação.	Depósitos detríticos com granulometria e espessuras variáveis, podendo superpor-se aos perfis de solos anteriores.	Erosão nos segmentos de encosta retilíneas, desde que retirada a camada superficial do solo orgânico argiloso. Movimentos de massa pouco prováveis associados aos depósitos detríticos. Assoreamento nas zonas de acumulação.	
III	a	IIIa	Segmentos de encosta predominantemente retilíneas com inclinação de 20-30°.	Áreas com espessuras de solo geralmente pequena (< 2,00m).	Escorregamentos geralmente provocados por mutilações, acúmulo de lixo ou concentrações de águas pluviais e/ou servidas.	Áreas com topografia acentuada exigindo características adequadas à sua ocupação. O acesso e a circulação interna poderão ser por viários ou por escadas, dependendo das áreas adjacentes, da dimensão e de sua localização na encosta.
	b	IIIb			Escorregamentos geralmente provocados por mutilações, acúmulo de lixo ou concentrações de águas pluviais e/ou servidas. Impacto e deposição de materiais provenientes de eventuais escorregamentos a montante.	

Figura 2.7. Trecho de legenda (áreas passíveis de ocupação) da Carta Geotécnica dos Morros de Santos e São Vicente. Fonte: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT. (1980). Carta Geotécnica dos Morros de Santos e São Vicente. (Publicação IPT nº 1.135).

2.3.2 - Levantamentos locais

Tanto na ocupação de áreas situadas em sopés de encostas quanto em encostas propriamente ditas tornam-se necessários levantamentos mais cuidadosos de meio físico.

No primeiro caso, como é fácil perceber, instabilizações nos morros podem facilmente atingir ocupações a jusante. Assim, a rigor, a ocupação de terrenos planos que se localizem nas imediações de encostas requereria um estudo das condições de equilíbrio natural destas últimas.

No segundo caso, mostra-se necessário um melhor conhecimento das características específicas do terreno, de suas capacidades e restrições frente às alterações normalmente impostas pela ocupação que, se inadequadas, podem gerar desastres ou, no mínimo, deseconomias.

O projeto para encostas deve ser, antes de mais nada, multidisciplinar ou, preferencialmente, interdisciplinar. A atuação conjunta e complementar de profissionais das áreas de arquitetura, geologia e de geotecnia pode, neste caso, ser considerada como altamente desejável. A interação deve se dar, preferencialmente, desde o início dos trabalhos, permitindo ao arquiteto considerar, de antemão, as capacidades e restrições dos diversos trechos do terreno-alvo frente à ocupação, o que influirá nas características que adotará no projeto, considerando suas implicações, por exemplo, na demanda por diversos tipos de obras geotécnicas. Dependendo do tipo de obra envolvida, podem ocorrer agravamentos de custos capazes, até mesmo, de inviabilizar o empreendimento, principalmente quando se pensa em habitações de interesse social. Não se tenciona aqui atribuir à obra geotécnica um caráter oneroso. Existe uma ampla gama de obras desta natureza, cujos custos são

variados e, muitas vezes, pouco significativos no cômputo geral. Tendem a ser onerosas, porém, grandes estruturas de contenção, que podem setornar facilmente necessárias, conforme as características dos solos presentes e do partido que se adote no projeto.

Movimentos de terra, que devem ser efetivamente encarados como obras geotécnicas e, portanto, realizados de acordo com preceitos técnicos específicos, podem também onerar os custos, seja pelo volume a movimentar, seja por condições técnicas específicas de execução, seja ainda pela eventual necessidade de investir, a médio e longo prazos, na correção de patologias decorrentes de inadequações de concepção ou execução.

Em contrapartida, inúmeras obras geotécnicas necessárias, às vezes até mesmo de baixo custo, acabam sendo muitas vezes preteridas, seja por duvidosa economia ou simples despreparo técnico, podendo determinar, por sua ausência, a ocorrência de patologias às vezes graves, seja do ponto de vista econômico, seja por desastres.

Levantamentos locais adequados devem evitar determinados desvios ou vícios profissionais. Bem mais que a simples denominação geológica das camadas de solos presentes e de suas capacidades de carga, o projetista deve extrair, dos geólogos e engenheiros, informações efetivamente balizadoras de projeto

Alguns destes levantamentos podem exigir sondagens e ensaios, mas as informações que se obtém tornam bastante facilitada a elaboração de projetos adaptados, de fato, às características do terreno, que transcendem, como foi visto, suas simples feições topográficas. A adaptação do projeto ao terreno, jargão bastante utilizado na arquitetura, no caso de encostas, só

se torna completa através do conhecimento e consideração mais aprofundados das diversas condicionantes do meio físico.

Acredita-se que a ocupação segura e econômica de encostas não pode prescindir de levantamentos com características gerais próximas ao que foi apresentado e que é absolutamente necessário que novas ocupações sejam efetivamente frutos do trabalho multidisciplinar ou interdisciplinar entre arquitetos, engenheiros e geólogos.

É enriquecedor e eficaz dotar o processo de concepção da troca de idéias com técnicos das outras áreas ou, no mínimo, embasar o projeto em documentação especificamente produzida por profissionais das áreas de geologia e geotecnia sobre o terreno a ocupar, a partir de levantamentos, constituindo subsídios mais sólidos.

Longe de criarem uma nova *camisa de força*, tais subsídios tendem a conduzir a soluções mais harmônicas com o ambiente natural e, principalmente, mais econômicas e seguras. Nem por isso, a geologia e a geotecnia, associadas a projetos habitacionais em encostas, devem constituir “caixas pretas” para o arquiteto. Acredita-se ser imprescindível um conhecimento básico que, contraditoriamente é pouco tratado na formação profissional em arquitetura, pelo menos no sentido de efetivamente possibilitar ao arquiteto o relacionamento da geologia e a geotecnia com o planejamento urbano e com projetos arquitetônicos e urbanísticos.

A tendência dos cursos associados a solos, nas faculdades de arquitetura no Brasil, tem sido a de privilegiar o cálculo de fundações e de estruturas de contenção, o que, além de constituir uma sobreposição desnecessária com a formação do engenheiro civil, deixa de lado a dese-

jável visão integrada - esta sim, imprescindível para o arquiteto - de solos com planejamento urbano, com projetos urbanísticos e de edificações, nos moldes delineados anteriormente.

No Capítulo 5, mais adiante, tratar-se-á com maior especificidade de um método para balizar o projeto de ocupações restritas em encostas, com habitações de interesse social, envolvendo desde orientações gerais para a execução de levantamentos nas encostas a ocupar, passando pelo processamento das informações coletadas, pela elaboração de diretrizes para o projeto e pelo método de projeto propriamente dito.

Referências bibliográficas

CARVALHO, C.S. **Gerenciamento de riscos geotécnicos em encostas urbanas**: uma proposta baseada na análise de decisão. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

CARVALHO, P.A.S. (Coord.) **Taludes de rodovias: orientação para diagnóstico e soluções de seus problemas**. São Paulo: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1991. Publicação IPT n. 1843.

CUNHA, M.A (Coord.). **Ocupação de encostas**. São Paulo: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1991. Publicação IPT n. 1831.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C.M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. São Paulo: Ed.Edgard Blücher Ltda, 1983.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO **Carta geotécnica dos morros de Santos e São Vicente** São Paulo: IPT, 1980. Publicação IPT n. 1.135. Anexo 1 – Carta Geotécnica.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO **Plano de obras de contenção das erosões urbanas do município de Bauru, SP – 2ª fase**. São Paulo: IPT, v. 1,1994. Relatório IPT nº 32.207.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO **Carta geotécnica do Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, 1994. Publicação IPT n. 2.089.

SOUZA, N.C.D.C. **Abordagem metodológica / histórico da cartografia geotécnica no mundo / desenvolvimento da cartografia geotécnica no Brasil**. In: CURSO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA DE ÁREAS URBANAS - IPT/ METROPLAN / CPRM. Porto Alegre, 14 a 17 de Setembro de 1992. Apostila. São Paulo: IPT, 1992.

WOLLE, C. M.; SILVA, L.C.R. **Taludes**. In: SOLOS DA CIDADE DE SÃO PAULO. São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos (Núcleo Regional de São Paulo) / Associação Brasileira de Engenharia de Fundações e Serviços Geotécnicos Especializados, 1992.