
ACIDENTES GEOLÓGICOS

URBANOS

Luís Marcelo de Oliveira
MINEROPAR – Serviço Geológico do Paraná
Curitiba - 2010

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ

Orlando Pessuti

Governador

**SECRETARIA DE ESTADO DA INDÚSTRIA, DO COMÉRCIO E
ASSUNTOS DO MERCOSUL - SEIM**

Virgílio Moreira Filho

Secretário

MINEROPAR – Serviço Geológico do Paraná

Eduardo Salamuni

Diretor Presidente

Rogério da Silva Felipe

Diretor Técnico

Manoel Collares Chaves Neto

Diretor Administrativo Financeiro

Copyright © 2010 by MINEROPAR

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

Concepção e elaboração

Luís Marcelo de Oliveira

Ilustração e arte gráfica

Gabriela Cavichiolo Salazar

Projeto gráfico e diagramação

Patrícia Moreira de Lima Quentin

Impressão

Corgraf Gráfica e Editora Ltda.

Capa

Mariana Gayesky Landerdahl da Silva

Foto da capa

Adriana Franciosi/Agência RBS de Notícias, Porto Alegre, RS (BR)

Escorregamento de encosta em Blumenau, SC (BR)

ISBN 978-85-60173-02-0

MINEROPAR - Serviço Geológico do Paraná

Acidentes Geológicos Urbanos.
Curitiba, 2010 (1ª Edição), 78 p.

1. **Acidentes Geológicos Urbanos.** I. Oliveira, Luís Marcelo. II Título.

CDD 550

IMPRESSO NO BRASIL – PRINTED IN BRAZIL

MINEROPAR – Serviço Geológico do Paraná

Rua Máximo João Kopp, 274 – Bloco 3M

CEP 82630-900 Curitiba - PR - BRASIL

Telefone : (041) 3351-6900 – Fax :(041) 3351-6950

<http://www.pr.gov.br/mineropar>

email: luismarcelo@mineropar.pr.gov.br

Curitiba - 2010

APRESENTAÇÃO

Este trabalho traz uma síntese sobre os principais processos responsáveis pela deflagração de acidentes geológicos em áreas urbanas, cuja origem se relaciona ao uso inadequado do solo pela falta de informações básicas sobre o meio físico no processo de planejamento urbano.

Busca-se, com isso, alcançar os seguintes objetivos:

- levar ao conhecimento dos administradores públicos, planejadores e gestores urbanos a importância da informação geológica e da caracterização do meio físico no processo de planejamento urbano;
- identificar as causas e mecanismos que operam os principais acidentes geológicos urbanos, dando ênfase aos enormes custos sociais e econômicos gerados a partir do uso inadequado do solo;
- recomendar e propor medidas de caráter preventivo e corretivo para subsidiar ações de gestão e planejamento urbano, visando otimizar a ocupação dos espaços, minimizando os custos e riscos da ação do homem sobre o meio físico e, principalmente, orientar a ação pública sobre problemas já instalados, em sua grande maioria pela falta de planejamento prévio adequado.

Com estes objetivos, e tomando-se como base a bibliografia especializada (livros técnicos e trabalhos publicados por outras entidades¹) e a experiência dos trabalhos que vem desenvolvendo, a MINEROPAR publica esta obra, com a certeza de estar contribuindo, de forma prática e objetiva, para a melhoria e aperfeiçoamento da administração pública, notadamente no que diz respeito ao planejamento e à ocupação territorial e urbana.

¹ Notadamente o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), a Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), a Associação Brasileira de Mecânica dos Solos (ABMS), a CPRM - Serviço Geológico do Brasil e a Universidade Federal do Paraná (UFPR).

SUMÁRIO

Introdução.....	09
1. Acidentes Geológicos Urbanos.....	11
2. Inundações.....	12
3. Afundamentos Cársticos.....	18
4. Movimentos de Massa.....	25
4.1 Rastejos.....	25
4.2 Escorregamentos.....	27
4.3 Queda de Blocos e Tombamentos.....	29
4.4 Corridas de Massa.....	30
5. Erosão.....	33
6. Expansão e Contração de Solo	39
7. Colapsos de Solo.....	45
8. Poluição das Águas.....	50
8.1 Poluição das Águas Superficiais.....	50
8.2 Poluição das Águas Subterrâneas.....	54
9. Acidentes Costeiros.....	58
9.1 Erosão Marinha.....	58
9.2 Adensamentos de Solo.....	64
9.3 Assoreamentos e Dragagens.....	67
10. A Prevenção de Acidentes Geológicos Urbanos	70
Referências Bibliográficas	73

INTRODUÇÃO

O processo de ocupação do solo nas cidades brasileiras, influenciado pelo crescimento explosivo da população urbana, vem se caracterizando por não obedecer a qualquer critério de planejamento em relação aos recursos naturais existentes e ao interesse maior de bem-estar da coletividade. Essa ocupação tem levado em conta interesses financeiros e imediatistas e raramente considera a qualidade de vida que a população deve desfrutar. Desse modo, a ocupação do solo tem se processado de maneira desordenada, levando muitas vezes a usos inadequados. Estes, por sua vez, são responsáveis pela instalação de processos de alteração do meio físico, que podem culminar com a deflagração de acidentes geológicos nas áreas urbanas, trazendo enormes prejuízos à população e ao poder público, além do risco da perda de vidas humanas.

Voçorocas, erosão, afundamentos cársticos, colapsos e adensamentos de solo, assoreamentos, erosão marinha, inundações, escorregamentos e poluição das águas, são alguns exemplos, quase sempre relacionados ao uso inadequado do solo, em função do desconhecimento das características físicas dos terrenos.

A utilização das informações básicas, geológicas e geotécnicas, voltadas à caracterização do meio físico, bem como o entendimento das relações entre ocupação desordenada do solo e os riscos associados, tornam-se fundamentais para subsidiar ações de planejamento e administração pública. Isso porque fornecem as indicações necessárias para se racionalizar o crescimento das áreas urbanizadas, dando o suporte necessário à definição da adequabilidade dos terrenos para os diferentes fins, minimizando os riscos da deflagração dos acidentes geológicos.

1. ACIDENTES GEOLÓGICOS URBANOS

Um acidente geológico urbano é o resultado da deflagração e evolução de processos de alteração do meio físico, induzidos, potencializados ou acelerados pelo uso e ocupação do solo e que trazem como consequências prejuízos sociais, econômicos ou ambientais e até mesmo a perda de vidas humanas.

Sua ocorrência está intimamente relacionada à ocupação indevida de áreas consideradas de **“risco”**, pela falta de prévio planejamento ou desconhecimento total das características geológicas dos terrenos.

Os processos geológicos causadores de acidentes mais frequentes no Brasil e que serão abordados neste trabalho são:

- *Inundações*
- *Afundamentos cársticos*
- *Movimentos de massa*
 - *Rastejos*
 - *Escorregamentos*
 - *Queda de blocos e tombamentos*
 - *Corridas de massa*
- *Erosão*
- *Expansão e contração de solos*
- *Colapsos de solo*
- *Poluição das águas*
- *Acidentes costeiros*
 - *Erosão marinha*
 - *Adensamentos de solo*
 - *Assoreamentos e dragagens*

Acidentes geológicos relacionados à dinâmica interna da Terra, a exemplo dos terremotos e erupções vulcânicas ou fenômenos do tipo “tsunamis”, maremotos, tu-fões, tornados e outros, fogem do escopo deste trabalho e serão abordados numa outra oportunidade. Cabe aqui apenas referenciá-los como acidentes que ao longo do tempo têm causado enormes prejuízos em áreas urbanas e vitimado milhares de pessoas.

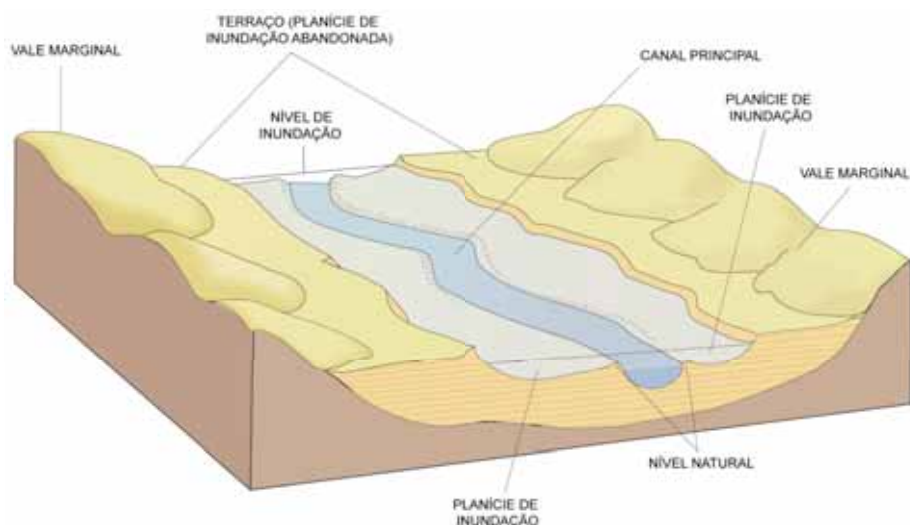
2. INUNDAÇÕES

As inundações são fenômenos que fazem parte da dinâmica fluvial, atingindo periodicamente as várzeas, também denominadas planícies de inundação.

Correspondem ao extravasamento das águas de um curso d'água para as áreas marginais, quando a vazão é superior à capacidade de descarga da calha. A planície de inundação funciona como um regulador hidrológico, absorvendo o excesso de água nos períodos de intensas chuvas e cheias.

FIGURA 1 – CONFIGURAÇÃO DA PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO DE UM RIO

FONTE: MURCK, SKINNER E PORTER (1995)



Todo e qualquer rio tem sua área natural de inundação. As inundações passam a ser um problema para o homem quando ele deixa de respeitar esses limites naturais dos rios e passa a ocupar essas áreas de maneira inadequada.

Como o homem altera as características do rio?

De diversas formas. A principal é quando ele retira a cobertura vegetal do terreno e introduz obras que propiciam a impermeabilização do solo, como a construção de casas, calçamentos, ruas, rodovias e estradas, barrando ou alterando os

fluxos da água. Perde-se com isso a capacidade de retenção da água por meio da vegetação e a capacidade de infiltração dessa água no solo. Por conseguinte, os volumes de água que atingirão os rios serão maiores e os prejuízos das inundações também.

A ocupação urbana desordenada sobre as áreas naturalmente sujeitas à inundação constitui um dos principais agentes deflagradores e potencializadores do processo, principalmente quando não se adotam medidas preventivas contra as cheias nas áreas urbanas.

FIGURA 2 - OCUPAÇÃO URBANA EM ÁREAS DE INUNDAÇÃO

FORTE: MURCK, SKINNER E PORTER (1995)



A urbanização, acompanhada da retirada da mata ciliar, remoção da vegetação e impermeabilização do solo, altera o escoamento natural das águas de superfície com a redução no tempo de concentração das águas pluviais, em virtude dos sistemas de drenagem urbana, cuja função é captar o mais rapidamente possível as águas para jusante, em direção aos cursos d'água, acrescentando consideravelmente os volumes de água nos rios, o que potencializa as inundações.

Há outros motivos que agravam as inundações, sobretudo nas cidades, entre os quais se destacam:

- a) despejo de resíduos sólidos urbanos (lixo), provocando o entulhamento dos vales e quaisquer tipos de drenagem;
- b) eliminação da mata ciliar, provocando erosão contínua e assoreamento

dos cursos d'água;

c) lançamento de esgotos domésticos e industriais;

d) desmatamentos de extensas áreas, por meio de cortes e queimadas;

e) execução de cortes e aterros nas planícies de inundação;

f) retificação, aprofundamentos, desvios e canalização dos córregos;

g) mineração descontrolada em áreas de várzea, carreando sólidos para os córregos (assoreamento e entulhamento);

h) aterramento das várzeas marginais no fundo de vale, causando aumento do escoamento superficial e retenção das águas de superfície;

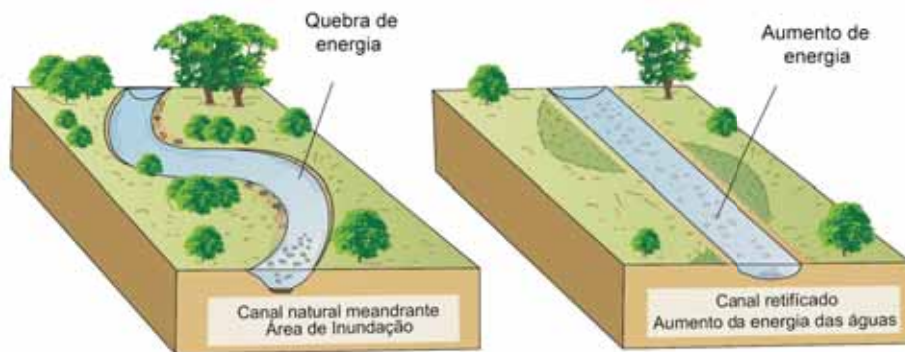
i) ocupação urbana indevida nas margens dos fundos de vale;

j) ausência de saneamento básico, permitindo o escoamento de pequenas drenagens, águas pluviais e até mesmo esgoto sanitário, através de valas negras;

k) barramentos artificiais provocados pelas estradas que funcionam como diques elevados em relação aos terrenos adjacentes, dificultando o escoamento da rede de drenagem;

FIGURA 3 - RETIFICAÇÃO DO CANAL DE UM RIO AUMENTANDO A VAZÃO, O QUE PODE GERAR FOCOS DE EROSÃO E REPRESAMENTO A JUSANTE

Fonte: MURCK, SKINNER E PORTER (1995)



A ocupação dos baixios, além de causar o desequilíbrio ambiental de uma região, traz consigo sérios problemas de natureza socioeconômica, principalmente no setor de saúde pública e infraestrutura, afetando principalmente a população

de mais baixa renda.

As áreas de inundação estão geralmente ocupadas por sedimentos aluvionares e/ou solos hidromórficos, que mostram o seguinte perfil:

- camada superficial orgânica escura / solo turfoso ou turfa;
- argilas plásticas, moles;
- areias e cascalhos basais;

Esses sedimentos, dado o seu péssimo comportamento mecânico, são considerados problemáticos para a engenharia e merecem, por esta razão, atenção especial no processo de planejamento urbano. Na porção superior do perfil, constituem-se de solos extremamente compressíveis, moles, com baixa capacidade de suporte de carga, o que pode inviabilizar tecnicamente qualquer obra de engenharia sobre os mesmos (fundações, aterros e outros). As redes de abastecimento de água e as redes de esgoto, entre outras que compõem a infraestrutura enterrada das cidades, podem sofrer rompimentos devido a fenômenos de adensamento de solo, típicos desses sedimentos de baixios. Acredita-se que grande parte das águas perdidas em vazamentos de redes de abastecimento esteja relacionada a rupturas das tubulações nas áreas de planícies de inundações. Some-se a isto a existência do nível freático raso ou aflorante, sujeito a constantes oscilações.

Entre as doenças associadas aos eventos de enchentes e inundações em áreas urbanas, em virtude do contato da população com águas contaminadas, destacam-se: infecções intestinais, cutâneas e conjuntivais; hepatites virais, febre tifóide e cólera; leptospirose (causada pela urina dos ratos); além de doenças respiratórias crônicas como bronquite, asma, enfisema pulmonar, gripes, resfriados e pneumonia.

Como enfrentar os problemas decorrentes das inundações?

Segundo BOMBONATTO (1998), existem basicamente três formas de enfrentar tais problemas: a primeira é não ocupar as áreas de inundação; a segunda é não alterar - ou alterar o menos possível - as características da bacia hidrográfica; e a terceira é implantar obras de contenção de cheias, como a construção de barragens, reservatórios, diques para a proteção de áreas de alto risco de inundação, entre outras, além da adoção de medidas estruturais complementares, incluindo o desassoreamento dos rios e a ampliação de seus leitos.

No entanto, todas essas obras têm uma característica em comum: são extremamente caras e onerosas para a sociedade e, embora apresentem um certo

grau de eficiência, pode-se dizer que não são absolutamente eficazes porque, mesmo contando com elas, sempre haverá um evento de chuva ou de cheia que provocará uma inundação maior que aquelas para as quais essas obras foram projetadas.

ARAÚJO (1992), sugere as seguintes ações de caráter preventivo para minimizar os efeitos das inundações e preservar os fundos de vale:

- a) relocação de moradores situados em áreas impróprias ou realização de estudos de alternativas técnicas para a proteção da população contra as inundações e nas áreas não ocupadas prever usos possíveis como lazer e recreação por meio de parques lineares, garantindo a manutenção da flora e da fauna;
- b) no caso de aprovação de novos loteamentos em que não houver interesse das prefeituras em executar parques lineares, permitir que os fundos de vale sejam incorporados aos lotes, desde que respeitadas as drenagens e áreas de preservação permanente, de forma a evitar invasões nas margens dos córregos;
- c) elaboração de zoneamento das áreas das várzeas, definindo os usos compatíveis, considerando os aspectos geológicos, geotécnicos, geomorfológicos e hidrológicos;
- d) nos casos críticos de inundação, efetuar desapropriações de áreas e implantar parques municipais com lagoas de contenção de cheias;
- e) implantação de redes de drenagem prioritariamente em áreas com problemas de escoamento;
- f) evitar canalizações e retificações de córregos, pois aumentam o gradiente dos mesmos, estourando focos de erosão a jusante das obras;
- g) implantação de alternativas economicamente viáveis que auxiliem no tratamento de esgotos domésticos;
- h) minimização da geração de efluentes industriais e redução do consumo de água, com emprego da técnica de recirculação de água;
- i) melhoria dos serviços de limpeza pública municipal e destinação adequada com tratamento de efluentes;
- j) implantação de programas de pré-reciclagem ou reciclagem de resíduos sólidos;
- k) recomposição das matas ciliares;

- l) introdução de práticas de produção florestal alternativa;
- m) controle e orientação na utilização de defensivos agrícolas;
- n) divulgação de práticas de manejo de solo adequadas;
- o) controle das atividades ligadas à mineração para que sejam realizadas de maneira adequada, tecnológica e ambientalmente;
- p) proibição de atividades minerárias em áreas de mananciais de abastecimento, quando não atendidas as exigências que o meio requer;
- q) educação ambiental em todos os níveis;
- r) promoção de uma maior integração entre instituições públicas;
- s) melhoria operacional das condições de fiscalização;
- t) reavaliação dos atuais sistemas de gestão;

Sugere-se também uma boa preparação da comunidade no sentido de se organizar e aprimorar a qualidade do auxílio externo nos casos de severas inundações, prestando rápida e eficiente assistência às populações atingidas.

O estudo das áreas de inundação e sua viabilização no processo de uso e ocupação do solo têm caráter multidisciplinar, devendo envolver profissionais de diversas áreas (geólogos, engenheiros, arquitetos, geógrafos, biólogos, hidrólogos e outros). Tal estudo deve buscar principalmente a caracterização das condicionantes geológicas, geomorfológicas e hidráulicas da bacia em sua totalidade e das condicionantes antrópicas relacionadas, bem como as intervenções construtivas, minimizando ou eliminando os riscos oferecidos para a população.

“O rio nasce, sempre numa região elevada. Pode ser no alto de uma montanha. Em sua infância, é leve e irrequieto, como qualquer criança ou animal novo: corre, salta, ora atirando-se de grandes alturas, ora cascadeando ruidosamente por entre os seixos, ora descansando, ofegante, em seu leito de areia branca e brilhante. Seu aspecto é sadio e límpido, irradiando pureza; seu corpo é fresco como o orvalho da manhã; sua cor é o puro azul do céu refletido. Seu alimento é o que lhe proporciona o seio fértil da Terra-mãe”.

Prof. Samuel Murgel Branco

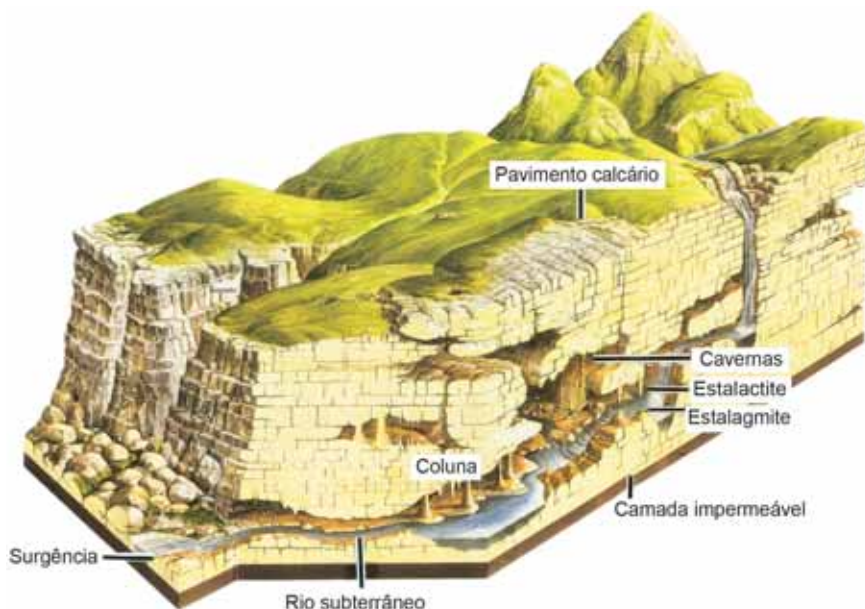
3. AFUNDAMENTOS CÁRSTICOS

São os afundamentos do terreno que ocorrem nas áreas constituídas por rochas carbonáticas, submetidas à dissolução pela percolação de águas superficiais e subterrâneas. Essa dissolução é comandada pela ação do ácido carbônico (água da chuva + CO_2 da atmosfera) e ácidos da decomposição da matéria orgânica (húmicos, fúlvicos e tânicos). Em profundidade, as águas ácidas dissolvem as rochas carbonáticas ao longo de contatos litológicos, fendas, fissuras, falhas e fraturas, abrindo uma rede de condutos e grutas que podem formar grandes cavernas quando os tetos desabam.

Esse processo, denominado de carstificação, é responsável pela formação de uma paisagem com aspecto ruiforme e esburacado, onde predomina a drenagem vertical e subterrânea, com a formação de rios subterrâneos (sumidouros e ressurgências), cavernas, dolinas, uvalas, poljés, lápias e diversas outras estruturas, típicas das áreas de carste².

FIGURA 4 - MORFOLOGIA DAS ÁREAS CÁRSTICAS

FONTE: ATLAS DO EXTRAORDINÁRIO – A FORMAÇÃO DA TERRA



² O termo Karste de origem servo-croata significa campo de pedras calcárias e foi inicialmente empregado para designar a morfologia das formações calcárias encontradas na região de Rjeka (Iugoslávia).

Os principais tipos de rochas susceptíveis aos processos de dissolução são as rochas calcárias ou carbonáticas (calcários, mármore e dolomitos), além de evaporitos (halita, gipsita e anidrita), embora sejam menos difundidos na superfície terrestre.

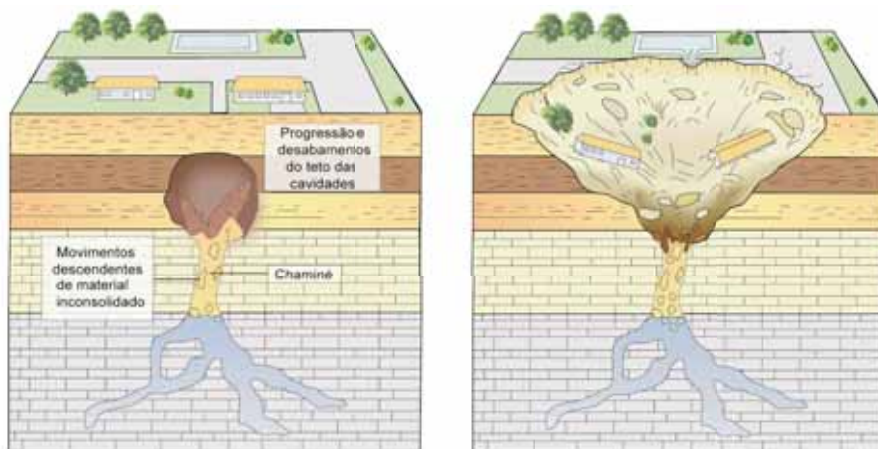
Nos terrenos de rochas carbonáticas os afundamentos cársticos se manifestam na forma de colapsos de solo e subsidências e podem se desenvolver de maneira natural ou ser deflagrados ou acelerados por ações próprias do uso inadequado do solo, principalmente aquelas que resultem em alterações na dinâmica e nas características de circulação das águas subterrâneas.

A presença de cobertura de materiais inconsolidados (aluviões, colúvios e solos de alteração) sobre as rochas carbonáticas em dissolução tende a aumentar o significado geotécnico desse processo, quer seja pela ampliação física das áreas de afundamento, quer pelo próprio mascaramento de corpos carbonáticos, produzindo até mesmo terrenos de topografia mais suave em relação ao entorno e, conseqüentemente, podendo atrair usos mais intensos.

Os colapsos de solo se caracterizam por desabamentos bruscos, circulares em forma de cratera, com seção lateral de tronco invertido. Podem ocorrer mesmo sem sinais prévios denunciadores e são apontados como os principais causadores de acidentes graves em áreas de carste. Um dos principais acidentes relacionados a colapsos de solo no Brasil foi verificado em 1986, na cidade de Cajamar (SP). Outros de menores proporções foram verificados nas cidades de Sete Lagoas (MG), Colombo e Almirante Tamandaré (PR).

FIGURA 5 - DESENVOLVIMENTO DE COLAPSOS DE SOLO EM ÁREAS URBANAS

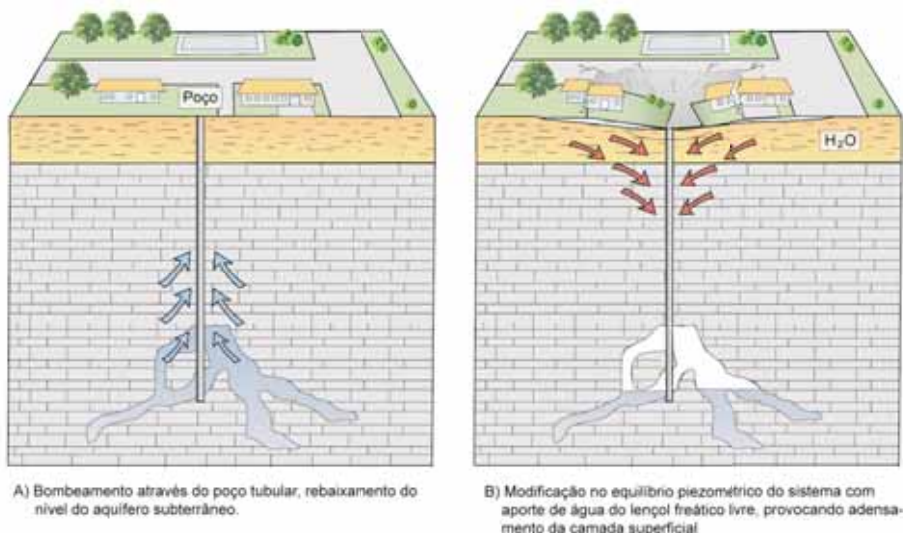
FONTE: MURCK, SKINNER E PORTER (1995)



As subsidências de terreno se distinguem por processos de adensamento ou rebaixamento do solo, em função de modificações nas condições de saturação das camadas superficiais. Consistem de movimentos mais lentos em relação aos colapsos, podendo provocar recalques nas fundações e ruína parcial de edificações (trincas, rachaduras e desabamentos de pequenas proporções).

FIGURA 6 - SUBSIDÊNCIAS EM TERRENOS CÁRSTICOS, PROVOCANDO RECALQUES EM FUNDAÇÕES

FONTE: MODIFICADO DE MURCK, SKINNER E PORTER (1995)



Segundo autores, nos países onde são observados fenômenos de colapsos de solo e subsidências já há alguns anos, considera-se extremamente difícil estabelecer previamente o local, as dimensões e o momento exato da ocorrência desses fenômenos.

Quais os fatores causadores dos afundamentos cársticos?

Nas áreas cársticas recobertas por materiais inconsolidados observa-se uma tendência natural dos materiais de cobertura em preencher as cavidades do substrato rochoso. Esse preenchimento faz-se tanto pela migração dos materiais para o interior das cavidades como também pelo desabamento do teto de cavernas. Os efeitos em superfície são detectados por meio dos afundamentos do terreno.

Esses processos podem ser deflagrados ou acelerados pela ação do ho-

mem, quando ele promove a ocupação indiscriminada dos terrenos cársticos, os quais constituem sistemas de grande fragilidade ambiental, atraindo, devido às suas características naturais, usos diversos e intensivos, a saber:

- ocupação urbana;
- mineração (rochas calcárias);
- exploração de água subterrânea;
- agricultura intensiva;
- exploração turística (patrimônio espeleológico);

Essas atividades, quando desenvolvidas sem planejamento prévio, podem se tornar conflitantes e inviabilizar o sistema, sendo responsáveis, isolada ou conjuntamente, pela deflagração dos afundamentos cársticos.

A Urbanização

Normalmente, nas áreas cársticas, a ocupação urbana desconsidera as características físicas, geológicas, geomorfológicas e hidrogeológicas do ambiente. São assim ocupados, equivocadamente, terrenos que podem apresentar comportamentos geotécnicos indesejáveis, trazendo riscos às comunidades assentadas na região e comprometimento dos recursos públicos destinados à urbanização e/ou expansão urbana. Muitas vezes, áreas com características topográficas favoráveis, a exemplo das planícies cársticas (poljés), tornam-se atraentes para a ocupação urbana indiscriminada, com grandes e pesadas edificações e tráfego intenso de veículos, encobrimdo, porém, a complexidade do ambiente cárstico, suas estruturas subterrâneas (cavidades, cavernas, etc) e zonas de extrema fragilidade.

A ocupação desordenada potencializa também os riscos de contaminação dos aquíferos subterrâneos, a partir do lançamento de esgotos domésticos e industriais, produtos da percolação de resíduos sólidos e outros, que rapidamente percolam os condutos cársticos e atingem os lençóis subterrâneos.

A Mineração

As rochas calcárias aflorantes nos terrenos cársticos constituem a matéria-prima para a indústria do cimento, cal e corretivo de solo. A mineração torna-se assim uma das principais atividades econômicas desenvolvidas nessas regiões, visando atender às demandas de mercado, principalmente na indústria da construção civil. Feita de maneira intensiva, a mineração de calcário sempre convive de

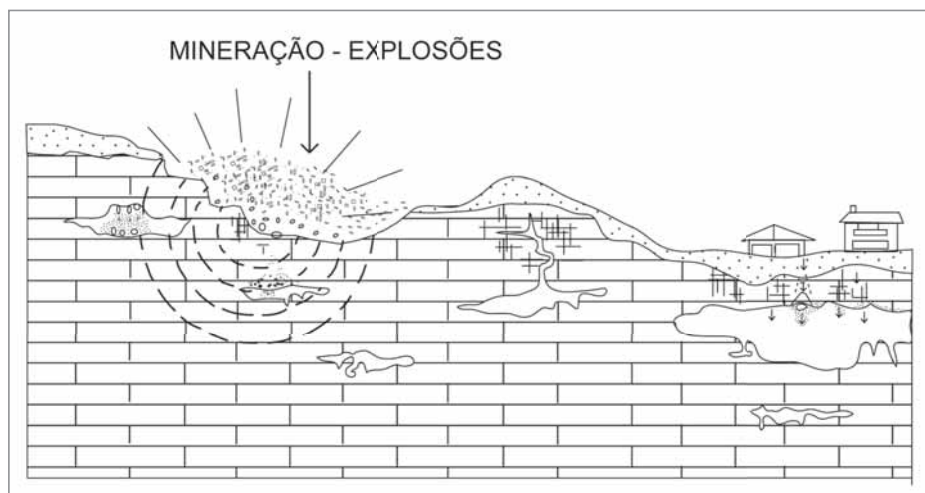
perto com núcleos urbanos, onde se processa a transformação do recurso mineral em insumo básico para os setores industriais. Muitas áreas de mineração, inicialmente localizadas a distâncias relativamente grandes de centros urbanos, mesmo que desativadas, são alcançadas pela ocupação urbana, trazendo uma série de problemas e inconvenientes.

A mineração de calcário, quando sem planejamento prévio, promove a degradação ambiental, além de causar efeitos indesejáveis como a poluição visual, sonora e do ar. As contínuas detonações efetuadas nas frentes de lavra para o desmonte da rocha produzem ondas que tendem a se propagar em subsuperfície. Essas vibrações podem contribuir para a desestabilização de materiais de cobertura, favorecendo sua migração para o interior de cavidades, ou provocar o desabamento das porções superiores dessas cavidades, culminando com o abatimento do terreno em superfície.

As vibrações quando atingem edificações localizadas nas áreas vizinhas podem provocar danos e avarias nas estruturas e fundações.

FIGURA 7 - AFUNDAMENTOS ASSOCIADOS A VIBRAÇÕES PELO USO DE EXPLOSIVOS EM PEDREIRAS

FONTE: OLIVEIRA (1997)



Presença de cavidades subterrâneas (grutas e cavernas), que podem sofrer desestabilização com o desabamento do teto devido a propagação de ondas vibratórias em subsuperfície.

A Extração de águas subterrâneas

Do ponto de vista da exploração das águas subterrâneas, o carste é tido como privilegiada estrutura armazenadora de água, assimilando enormes reservas.

A água contida nos condutos e cavidades da rocha calcária pode encontrar-se em condições de confinamento ou semiconfinamento, exercendo uma força dirigida de baixo para cima, auxiliando no equilíbrio do peso das camadas sobrepostas.

Em condições de brusco rebaixamento ou oscilações do nível hidrostático, quer por variações sazonais ou por operações de bombeamento de água subterrânea em poços tubulares, pode ocorrer a diminuição dessa pressão, aumentando a pressão intergranular dos materiais inconsolidados sobrepostos, o que propicia a instabilização e a migração dos solos para as cavidades do substrato carbonático com consequente afundamento do terreno, por colapso ou subsidência.

O brusco rebaixamento do nível de água subterrânea por bombeamento contínuo tem sido considerado o principal agente da deflagração e evolução dos mecanismos de migração de solo em subsuperfície.

Como efetuar o diagnóstico, prevenção e controle de subsidências e colapsos em áreas de carste?

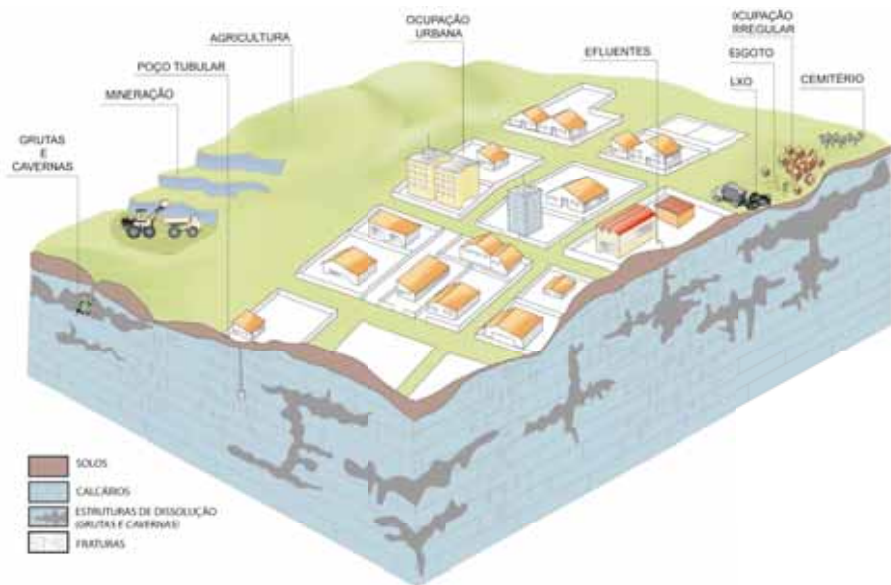
As medidas preventivas e corretivas compreendem:

- a) cartografia geotécnica - reconhecimento e mapeamento das características de ocorrência das áreas cársticas para subsidiar planos de uso e ocupação do solo e pré-dimensionamento de medidas e obras para viabilizar a ocupação, compreendendo aqui o zoneamento do risco em áreas já ocupadas;
- b) procedimentos do campo da hidrogeologia e geotecnia - incluem a diminuição ou cessação de bombeamento de água no subsolo e, ainda, o disciplinamento das águas de superfície;
- c) práticas e obras dos campos da engenharia de fundação e geologia de engenharia - obras e medidas para proporcionar suporte duradouro às cargas das estruturas, incluindo estaqueamentos, compactação do terreno, escavação e tratamento do topo rochoso, obturação e preenchimento das cavidades no solo e na rocha por injeção de caldas, argamassas e agregados;

- d) disciplinamento das atividades de mineração;
- e) implantação de campanhas de educação e informação à população, a qual deverá detectar e informar imediatamente para a prefeitura local a ocorrência de fatos que denunciem a evolução de mecanismos de afundamentos, tais como: surgimento de trincas em paredes, muros e pisos; dificuldades no fechamento de portas, janelas e portões; rompimentos frequentes nas redes públicas de água e esgoto; abaulamentos de calçadas e pisos; ruídos semelhantes a explosões ou trovoadas distantes entre outros;
- f) implantação de programas integrados de desenvolvimento de áreas de carste, viabilizando a ocupação urbana e a exploração de seus recursos naturais, sem oferecer riscos à economia e comunidades urbanas.

Figura 8 – USOS POTENCIAIS E OCUPAÇÃO DAS ÁREAS DE CARSTE
(Ocupação urbana, mineração de calcário, exploração das águas subterrâneas,
exploração do patrimônio espeleológico e agricultura)

FONTE: FIGURA ELABORADA PELO AUTOR



4. MOVIMENTOS DE MASSA

Compreendem os movimentos gravitacionais responsáveis pela mobilização de partículas, sedimentos, solo ou rocha pela encosta abaixo. Entre os fatores condicionantes naturais, destacam-se: as características dos solos e rochas, o relevo, a vegetação, o clima, o nível d'água (lençol freático) e, obviamente, a gravidade.

O processo pode ser natural ou induzido pelas interferências do homem no ambiente. O avanço das diversas formas de ocupação do solo em áreas naturalmente susceptíveis aos movimentos de massa acelera e amplia os processos de instabilização. As principais modificações oriundas das interferências antrópicas indutoras dos movimentos de massa dizem respeito a: remoção de cobertura vegetal; execução de cortes e aterros inadequados; saturação do solo por meio do lançamento e concentração de águas pluviais e servidas; vazamentos na rede de abastecimento e esgoto; presença de fossas; lançamento de lixo nas encostas e taludes; e cultivo inadequado do solo, entre outros.

Os movimentos de massa são classificados de diferentes formas, em função da geometria e do tipo de material envolvido. Podem ser subdivididos em quatro categorias:

- rastejos
- escorregamentos
- queda de blocos e tombamentos
- corridas de massa

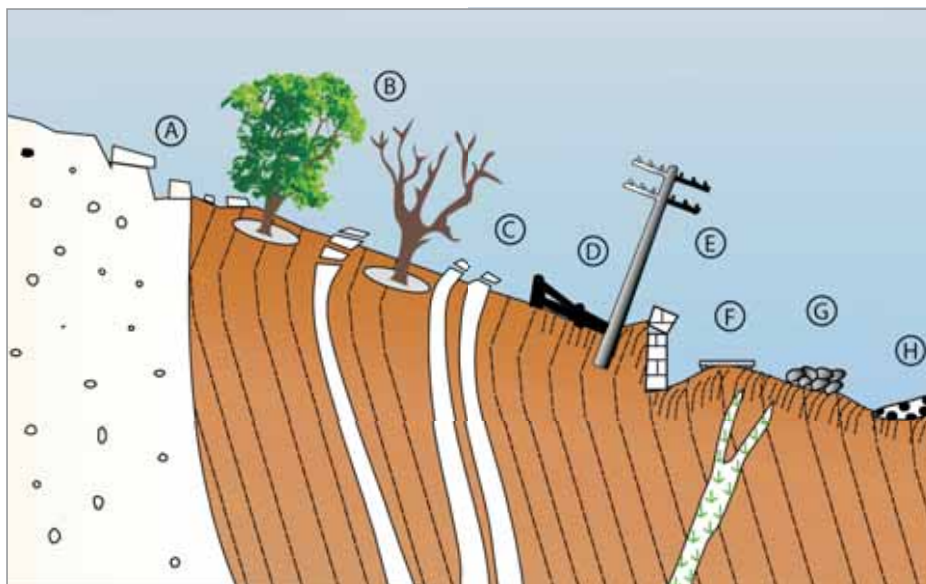
4.1 Rastejos

Correspondem a movimentos lentos e contínuos de uma massa de solo ao longo de um talude, sem o desenvolvimento de uma superfície de ruptura. Podem se originar a partir da instabilização da encosta pela abertura de cortes, como também pelo pisoteio do gado e pelo crescimento de raízes ou escavação de buracos pelos animais, que podem gerar uma série de movimentos de minúsculas partículas terrosas.

O rastejo afeta grandes áreas e atua tanto nos horizontes superficiais das encostas (solo superficial) quanto nos estratos mais profundos, deslocando e abrindo fendas e trincas no terreno. Pode ser evidenciado pelos indícios apresentados na figura que segue:

FIGURA 9 - PERFIL ESQUEMÁTICO DE ENCOSTA SUBMETIDA A PROCESSO DE RASTEJO

FONTE: MODIFICADO DE CHRISTOFOLETTI (1974)



- A. deslocamento de blocos
- B. presença de árvores com troncos recurvados
- C. acamação para jusante de blocos intemperizados e fraturados
- D. deslocamento de postes, cercas e marcos
- E. deslocamento ou rupturas de muros e muretas de proteção
- F. existência de rodovias e ferrovias fora do alinhamento
- G. presença de matacões rolados
- H. ocorrência de cascalheiras ou linhas de fragmentos de rocha ("stone lines"), na base do regolito (solo de alteração)

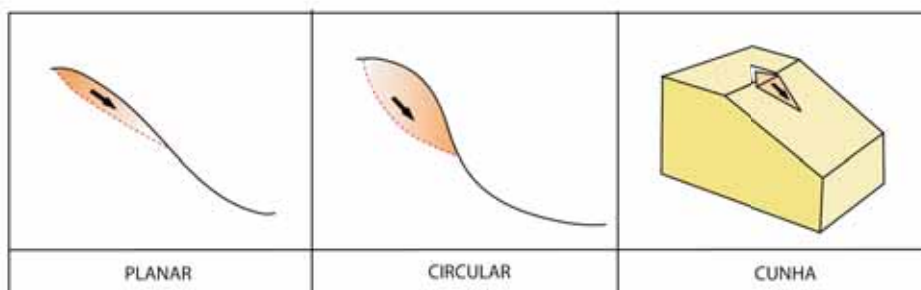
O fenômeno do rastejo pode afetar desde pequenas obras (casas, edificações, rede de abastecimento, etc), até grandes construções (pontes, viadutos, etc), podendo preceder movimentações mais rápidas, como os escorregamentos.

4.2 Escorregamentos

Os escorregamentos constituem os acidentes geológicos que mais têm provocado a perda de vidas humanas. Caracterizam-se por movimentos rápidos, bruscos, com limites laterais e profundidades bem definidos. Podem envolver solo, solo e rocha ou apenas rocha. Sua geometria pode ser circular, planar ou em cunha, em função da existência ou não de estruturas ou planos de fraqueza nos materiais envolvidos, que condicionam a formação das superfícies de ruptura.

FIGURA 10 - GEOMETRIA DOS MOVIMENTOS DE MASSA ASSOCIADOS A ESCORREGAMENTOS

FORTE: CUNHA (1991)



O principal agente deflagrador do processo é a água da chuva, muitas vezes associado a desmatamentos, erosão, variações de temperatura, oscilações do nível freático e fontes. As chuvas contribuem diretamente para a instabilização de encostas, por meio de infiltração e encharcamento do solo; formação de fendas, trincas e juntas, com a geração de superfícies de ruptura; atuação de pressões hidrostáticas; saturação do solo com aumento do peso específico; redução da resistência dos solos pela perda de coesão e escorregamento.

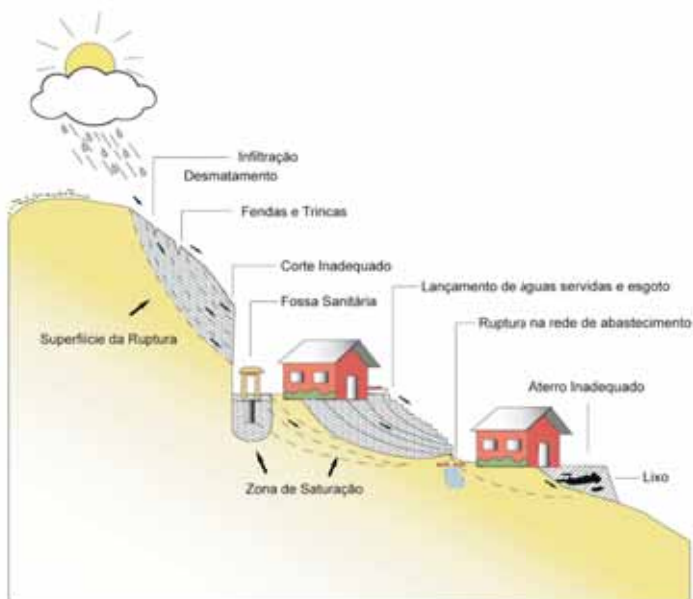
As principais causas antrópicas dos escorregamentos são as seguintes:

- a) concentração de águas pluviais;
- b) lançamento de águas servidas;
- c) vazamentos na rede de abastecimento de água;
- d) existência de fossas sanitárias;
- e) declividade e alturas excessivas de cortes;
- f) execução inadequada de aterros;

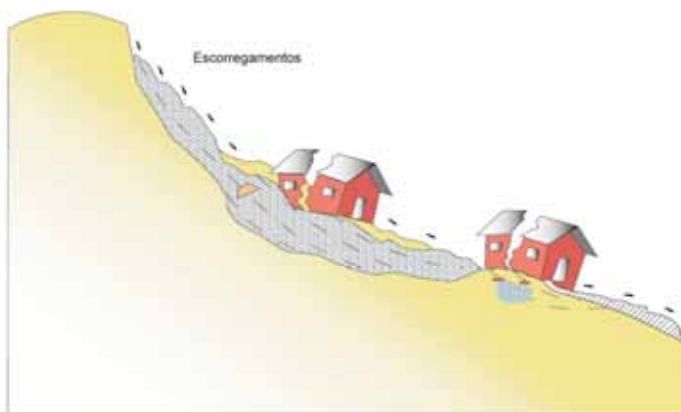
- g) deposição de lixo ou existência deste englobado nos aterros;
- h) remoção indiscriminada da cobertura vegetal.

FIGURA 11 - PRINCIPAIS ATIVIDADES ANTRÓPICAS INDUTORAS DE ESCORREGAMENTOS EM ENCOSTAS

FORTE: FIGURA ELABORADA PELO AUTOR



A. Fatores de risco que potencializam o processo.



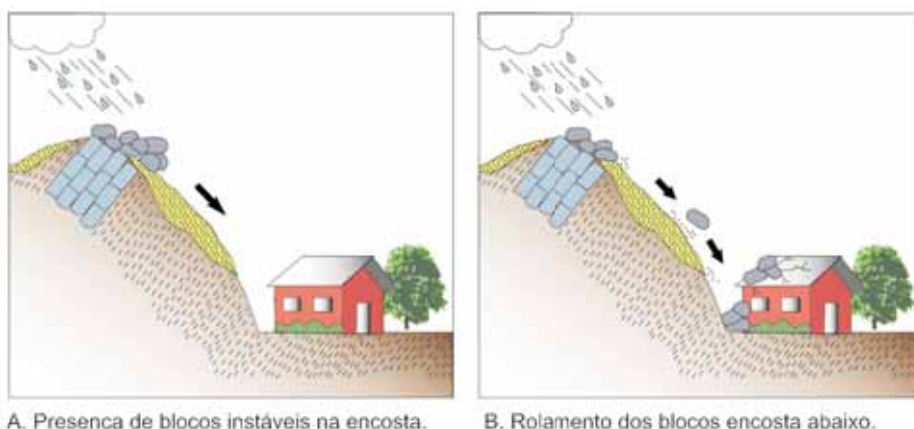
B. Escorregamento da encosta.

4.3 Queda de blocos e tombamentos

Compreendem movimentos rápidos, em queda livre ou rolamento, envolvendo blocos e lascas de rocha. O processo se desenvolve em encostas íngremes, constituídas por afloramentos de rocha, com presença de blocos isolados ou campo de matacões. A instabilização do bloco se dá pela perda da resistência mecânica de apoio, que pode ser uma superfície rochosa ou elementos como árvores e raízes. Pode desenvolver-se ainda a partir da erosão ou ação das águas das chuvas, que lavam e escavam as camadas superficiais do solo, liberando os blocos e matacões encosta abaixo.

FIGURA 12 - MODELO EVOLUTIVO DO PROCESSO DE QUEDA DE BLOCO

FONTE: FIGURA ELABORADA PELO AUTOR



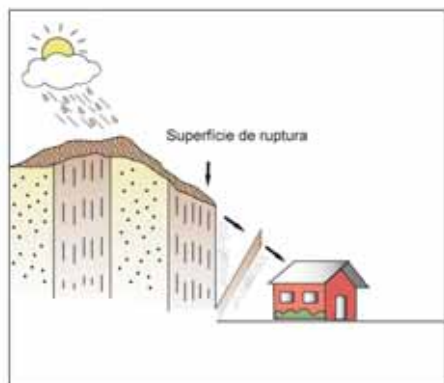
A. Presença de blocos instáveis na encosta.

B. Rolamento dos blocos encosta abaixo.

Os tombamentos, com desprendimento de lascas ou placas de rocha, formam-se a partir das discontinuidades do maciço rochoso (acamamento, xistossidade, planos de falhas e fraturas e outros). O processo pode se originar devido a variações térmicas (contração e dilatação), erosão ou ainda por pressões exercidas a partir do crescimento de raízes ao longo das discontinuidades. A ocupação inadequada das áreas de pedreiras desativadas, onde são comuns lascas e blocos instáveis, pode provocar acidentes relacionados a esse processo.

FIGURA 13 - PROCESSO DE TOMBAMENTO DE LASCAS DE ROCHA EM ENCOSTAS E TALUDES

FONTE: FIGURA ELABORADA PELO AUTOR

**A.** Presença de descontinuidades no maciço rochoso, favorecendo o aparecimento de superfícies de ruptura.**B.** Tombamentos de blocos, lascas e fragmentos de rocha.

4.4 Corridas de massa

Constitui o processo mais rápido de escoamento de uma massa de solo ou solo e rocha ao longo de uma vertente. A massa, de aspecto viscoso, é formada por uma matriz composta por água, argila e silte e uma porção granular de material grosseiro (areia, grânulos, seixos e matacões). A origem da corrida de massa está diretamente relacionada às águas das chuvas e sua ocorrência faz parte da dinâmica de evolução de uma vertente, podendo mostrar recorrência ao longo do tempo.

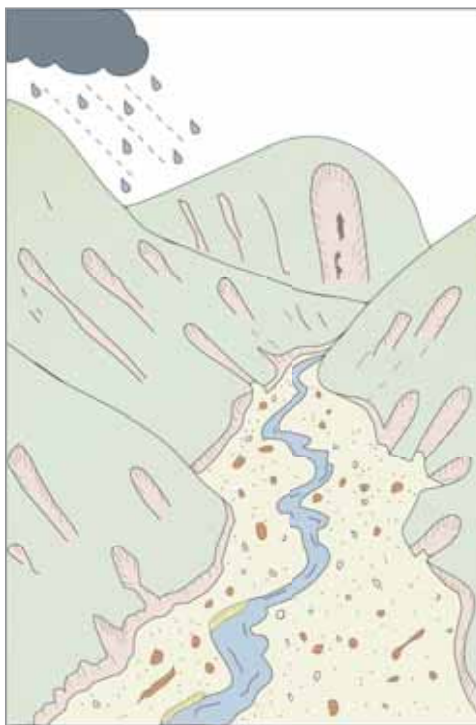
Geralmente envolve grandes volumes de massa com alto poder destrutivo e de transporte, atingindo grandes distâncias ao longo das drenagens e podendo atingir mesmo as áreas mais planas.

As corridas de massa são, em geral, provocadas por encharcamento do solo por chuvas intensas ou por longos períodos de chuvas de menor intensidade. A ocupação desordenada das encostas, sem critérios técnicos adequados, pode antecipar e ampliar o processo.

Casos notáveis de corridas de lama ocorreram em novembro de 2008 na região do Vale do Itajaí, Santa Catarina, trazendo como conseqüências a destruição de bens materiais, mortes e desabrigados.

FIGURA 14 - ASPECTO GERAL DAS CORRIDAS DE LAMA AO LONGO DAS VERTENTES

FONTE: CUNHA (1991)



Como enfrentar os problemas decorrentes da ocupação das encostas e os riscos geológicos relacionados?

As principais medidas de caráter preventivo e corretivo, dizem respeito a:

- a) cartografia geológica e geotécnica para caracterização dos materiais de superfície associados à encosta (solo, rocha, blocos, etc), determinação dos processos de instabilização através da identificação dos seus agentes/causas e a definição das áreas de risco, com a delimitação de zonas quanto à susceptibilidade e raio de alcance dos movimentos de massa (carta de zoneamento geotécnico);
- b) disciplinamento do uso do solo, dando prioridade à preservação das encostas ou ocupação segundo critérios técnicos adequados, adotando-se planos de ocupação, projetos de urbanização com implantação e manu-

tenção de sistemas de drenagem e captação das águas pluviais e servidas, coleta de lixo, entulhos e dejetos, desativação e aterro de fossas sanitárias, manutenção da rede de abastecimento de água, etc., levando em conta a legislação vigente (lei do parcelamento do solo, áreas de preservação, etc);

c) recuperação de pontos críticos da encosta ocupada com a execução de obras convencionais de estabilização e contenção, tais como: retaludamentos, obras de drenagem superficial e subterrânea, muros de contenção, atirantamentos, muros de espera, barreiras vegetais e outras, próprias do campo da engenharia e geotecnia;

d) remoção de moradias e relocação de famílias, quando constatadas situações críticas de extremo risco de acidentes;

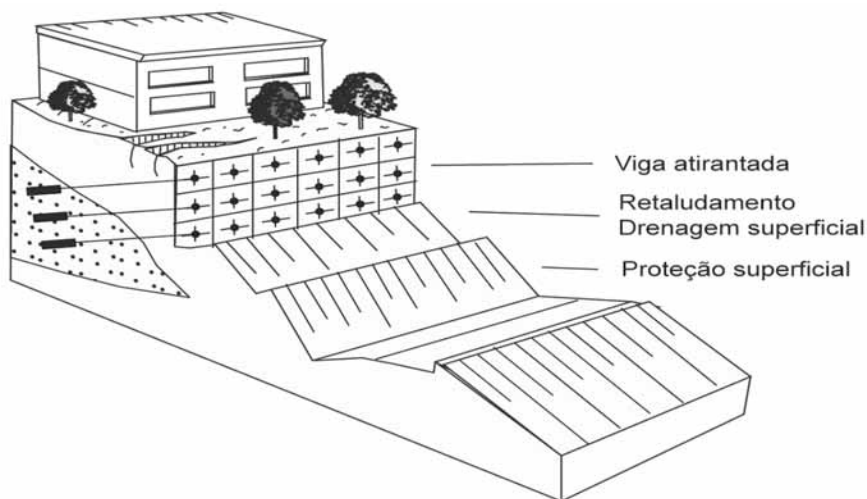
e) reurbanização de núcleos habitacionais, caso as remoções não possam ser efetivadas, levando em consideração os riscos envolvidos;

f) campanhas de conscientização popular, esclarecendo quanto aos riscos envolvidos na ocupação de encostas sujeitas aos movimentos de massa;

g) fiscalização e monitoramento das intervenções antrópicas no meio físico, para que estas sejam feitas de maneira adequada.

FIGURA 15 – EXEMPLO DE OBRAS DE CONTENÇÃO E ESTABILIZAÇÃO DE ENCOSTAS

FONTE: CUNHA (1991)



5. EROSÃO

O fenômeno da erosão consiste na ação combinada de um conjunto de fatores que provoca a desagregação e o transporte de partículas do solo ou fragmentos e partículas de rocha sobre a superfície terrestre. Os principais agentes são as águas das chuvas, rios, mares, geleiras e ventos. Dentre esses, as águas pluviais têm grande importância, por propiciarem o escoamento superficial e o transporte de material inconsolidado, principalmente em países de clima tropical.

A erosão causada pelo escoamento superficial pode ser natural ou acelerada (antrópica). Ela é classificada como natural quando a atuação dos processos erosivos se faz em um ambiente onde é controlada somente pelos fatores naturais. A erosão acelerada, provocada pela ação da água em consequência da ocupação urbana, está relacionada à interferência do homem no ambiente natural, provocando o seu desequilíbrio.

A erosão acelerada quando afeta as áreas urbanas tem efeitos devastadores, trazendo como consequência grandes prejuízos nas instalações urbanas, assoreamento nos cursos d'água, com significativo aumento das enchentes e, às vezes, perda de vidas humanas, além da recorrência cada vez maior de catástrofes provocadas por esses fenômenos.

Como se dá a erosão pela ação antrópica?

As atividades humanas constituem o principal fator na deflagração dos processos erosivos, podendo ser citados os desmatamentos, o cultivo inadequado de terras e a urbanização com a impermeabilização do solo, a concentração de drenagem por meio do lançamento de águas pluviais e servidas, o lançamento de efluentes, a redução de percursos, a implantação de estradas e rodovias, entre outros.

Uma vez deflagrados pelo uso inadequado do solo, os processos erosivos passam a ser comandados por diversos fatores naturais, destacando-se a chuva, a geomorfologia e as características dos materiais inconsolidados. A influência da chuva está relacionada à sua capacidade erosiva, pela ação das gotas de chuva e do escoamento superficial. Os fatores ligados à geomorfologia dizem respeito à declividade do terreno e comprimento da encosta. Quanto aos materiais inconsolidados, os principais atributos são a textura, a estrutura do solo, a composição e a espessura. Solos profundos ou sedimentos friáveis de textura arenosa a média

mostram maior susceptibilidade aos processos erosivos, a exemplo dos sedimentos derivados dos arenitos da Formação Caiuá, na região noroeste do Paraná.

A erosão por escoamento superficial pode ocorrer na forma de erosão por *splash*, erosão laminar e erosão linear (sulcos, ravinas e voçorocas).

Erosão por **splash** ou salpico é a porção de solo desagregada pela ação das gotas de chuva e expelida a uma certa distância. Segundo autores, a energia de impacto, ou energia cinética das gotas de chuva que caem em um ano sobre um hectare de terra, corresponde à energia liberada por cinquenta toneladas de dinamite. Essa energia de impacto fragmenta os agregados do solo em partículas diminutas, que rapidamente entopem os macroporos do solo, selando-os e, conseqüentemente, impedindo a infiltração das águas da chuva. Os fatores que afetam a direção e a distância do salpico de solo são a declividade, o vento e as condições da superfície do solo. Quanto mais alta for a erosão por splash, maior será a susceptibilidade da superfície do solo aos processos de selamento.

FIGURA 16 – IMPACTO DA ÁGUA DE CHUVA SOBRE O SOLO

FONTE: SECRETARIA DE ENERGIA E SANEAMENTO DE SÃO PAULO (1989)



A proteção da superfície do solo contra o efeito selador é decisiva para o impedimento do escoamento superficial e da erosão.

A erosão **laminar** afeta a superfície do solo como um todo, removendo finas camadas de solo de maneira mais ou menos uniforme. A formação de um fluxo superficial homogêneo é a causa do transporte das partículas previamente desagregadas e susceptíveis de serem arrastadas ou colocadas em suspensão. Desse modo, o conjunto água/solo escoar como uma lâmina no sentido da declividade do solo, o qual vai se degradando em camadas sucessivas. A erosão laminar é prejudicial, pois carrega a camada superficial do solo, que é a mais intemperizada, causando grande aporte de sedimentos para os cursos d'água. Essa forma de erosão é pouco perceptível e ocorre principalmente em solos pouco coesos.

A erosão **linear** ou erosão concentrada consiste no arraste de partículas do solo, ocasionando sulcos orientados perpendicularmente às curvas de nível. A formação destes sulcos ocorre quando a água não escoar de maneira uniforme sobre toda a superfície, mas sim concentrada em lâminas que possuem uma potência erosiva capaz de abrir pequenos sulcos no solo.

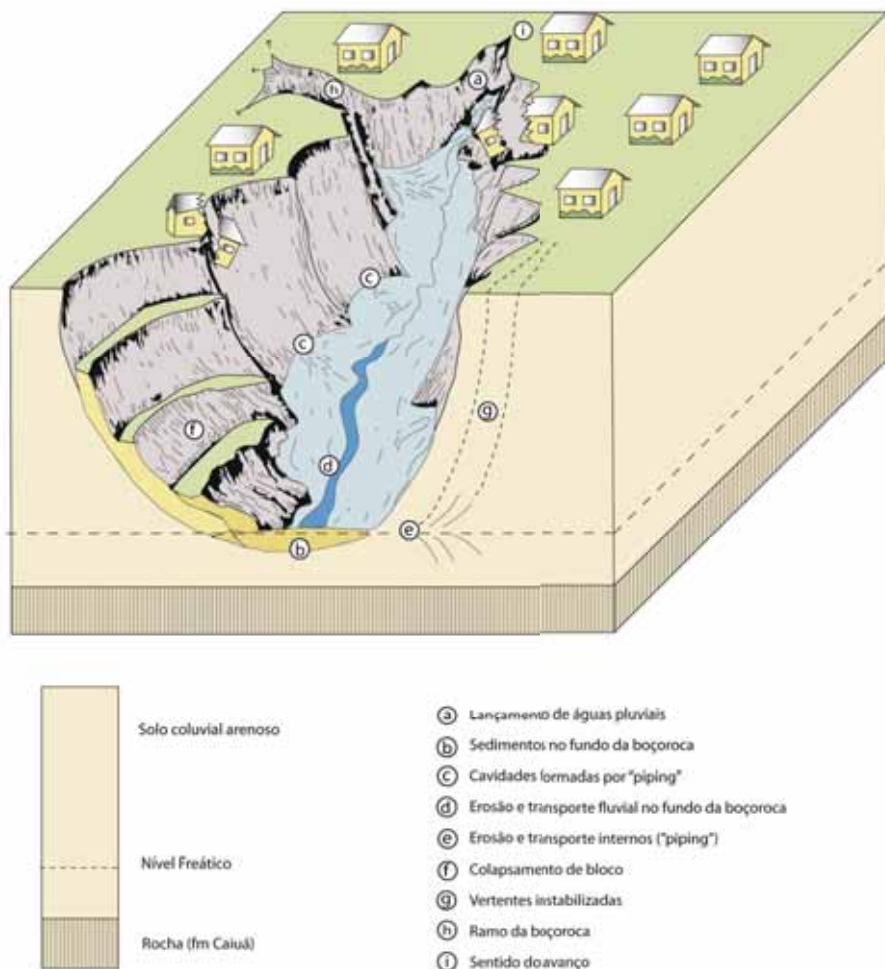
Os fenômenos de erosão concentrada podem apresentar proporções diferentes, desde pequenos sulcos ou ravinas, que apresentam dimensões relativamente pequenas, até processos que atingem grandes áreas, com o aprofundamento dos canais até dezenas de metros, interceptando muitas vezes o nível freático. Nessas condições, em que a erosão se desenvolve por influência, não somente das águas superficiais, mas também dos fluxos d'água subsuperficiais, incluindo o lençol freático, configura-se o processo conhecido por *voçoroca* ou *voçoroca*, com o desenvolvimento de *piping* (erosão interna ou tubular).

O fenômeno de *piping* provoca a remoção de partículas do interior do solo, formando canais que evoluem em sentido contrário ao fluxo d'água, o que pode dar origem a colapsos do terreno, com desabamentos que alargam a *voçoroca* ou criam novos ramos. Assim, a evolução das *voçorocas* se faz mediante o desenvolvimento de processos combinados de erosão superficial, erosão interna, solapamentos, desabamentos e escorregamentos, que se conjugam para dotar essa forma de erosão de elevado poder destrutivo.

A formação de *voçorocas* pode ser precedida por intensa erosão laminar e formação de sulcos e linhas de concentração do escoamento superficial.

FIGURA 17 – MODELO EVOLUTIVO DA FORMAÇÃO DE VOÇOROCAS

FONTE: PICANÇO (1994)



Quais as consequências da erosão?

Além dos efeitos extremamente negativos decorrentes da erosão e degradação dos solos das áreas agrícolas, os prejuízos socioeconômicos decorrentes da erosão acelerada, causados pela atividade humana, são intensos e incluem:

- a) destruição de habitações;
- b) destruição de instalações públicas, tais como ruas pavimentadas, redes

- de abastecimento de água, galerias de águas pluviais, redes elétricas, etc.;
- c) assoreamento de cursos d'água e reservatórios;
- d) aumento da ocorrência de enxurradas e enchentes;
- e) escorregamentos de encostas;
- f) desapropriações;
- g) desvalorização imobiliária;
- h) redução das áreas disponíveis para a agricultura e urbanização;
- i) desestímulo de novos investimentos em regiões afetadas;
- j) diminuição da produtividade;
- k) decréscimo da arrecadação;
- l) inquietude da população;
- m) migração dos núcleos urbanos de apoio rural para as grandes cidades, e dessas, para as metrópoles;
- n) investimentos em obras de contenção, onerando sobremaneira os cofres públicos;
- o) gastos com a remoção contínua de sedimentos das zonas atingidas pelas inundações;
- p) manutenção periódica de sistemas de irrigação e drenagem;

A utilização indevida das voçorocas para disposição de lixo é uma tentativa desesperada de resolver os problemas da erosão e destinação final do lixo urbano, que traz consigo uma série de inconvenientes, entre eles: contaminação do solo e das águas superficiais e subterrâneas, incômodos à população (proliferação de vetores de doenças, odores), ocorrência de catação, contaminação de animais, descontrole no tipo de resíduos lançados no local, carreamento de material disposto para rios adjacentes, prejuízos à imagem do município (que passa a ser degradador do meio ambiente), entre outros.

Como promover o controle e prevenção da erosão?

As medidas de combate à erosão devem contemplar ações de caráter preventivo e corretivo para seu controle, dentre as quais se destacam:

- a) cartografia geológica e geotécnica, com a caracterização dos terrenos em função de suas propriedades físicas, destacando sua vocação para distintos tipos de ocupação, suas restrições e potencialidades. Esses elementos devem subsidiar planos de uso e ocupação do solo e orientar a implantação de obras de correção das erosões já instaladas;
- b) caracterização das condições de uso e ocupação do solo, definindo as atividades antrópicas deflagradoras dos processos erosivos para seu controle e disciplinamento;
- c) aplicação de técnicas adequadas de conservação e manejo do solo, como o plantio em curva de nível, com apropriado sistema de captação e escoamento das águas pluviais;
- d) revegetação para proteção do solo contra o impacto das gotas de chuva e o escoamento superficial concentrado;
- e) implantação de obras de estabilização e drenagem, adequadas e adaptadas para cada caso específico de erosão, dentro dos parâmetros estabelecidos pela engenharia e geotecnia (muros, barramentos, estruturas em gabião, revestimentos, retaludamentos, escadas hidráulicas, dissipadores de energia, drenagens e outros);
- f) disciplinamento das águas superficiais: estruturas de captação e condução de águas superficiais (rede de galerias e emissários, dimensionados a partir do cálculo de vazão de águas pluviais), controle e dissipação das águas nos pontos de lançamento;
- g) disciplinamento das águas subterrâneas (drenos profundos);
- h) estabilização de taludes resultantes do movimento de massa (aterro, retaludamento);
- i) conservação de obras implantadas.

O combate à erosão exige medidas de caráter multidisciplinar e sistêmico, voltadas não somente à solução de problemas pontuais em áreas de focos erosivos, mas também à solução de outros problemas urbanos, igualmente graves, de reflexos tanto ambientais quanto econômicos.

6. EXPANSÃO E CONTRAÇÃO DE SOLOS

Solos expansíveis são aqueles que têm a capacidade de se expandir quando saturados de água e de se contrair quando secos, característica esta dada em função da presença de argilominerais expansíveis em sua composição. Esse tipo de comportamento, reflexo do uso inadequado do solo, se dá pela influência de ciclos de umedecimento e ressecamento, afetando superfícies expostas e desprotegidas em cortes, taludes e áreas aplainadas.

A evolução do processo de inchaço e retração, com significativas variações volumétricas, dá origem ao fenômeno denominado de empastilhamento, que torna o solo desestruturado e desagregado, susceptível à erosão, colapsos por compactação e instabilização em taludes, podendo movimentar grandes massas de material, mesmo em áreas aplainadas. O empastilhamento de solo pode afetar também fundações e outras obras de engenharia, promovendo sua ruína parcial ou total, com a geração de trincas, rachaduras e desabamentos nas edificações.

FIGURA 18 – ASPECTO DO EMPASTILHAMENTO EM SEDIMENTOS CONSTITUÍDOS POR ARGILOMINERAIS DO GRUPO DAS ESMECTITAS

FONTE: MURCH, SKINNER E PORTER (1995)



O que são os argilominerais?

Os argilominerais são silicatos hidratados de alumínio, podendo conter quantidades variáveis de ferro, magnésio, potássio, sódio, lítio, etc. Sua estrutura geralmente é lamelar e seu grau de cristalinidade bastante variável. Devido a essa estrutura lamelar e à fragilidade das partículas, esses minerais raramente se apresentam em grandes cristais, ocorrendo geralmente agregados de pequenos cristais.

Os argilominerais têm grande capacidade de adsorver água em seu retículo cristalino, permitindo com que a água penetre nos espaços interlamelares, sem a interação química com a estrutura básica. Isso torna possível que esse grupo de minerais apresente propriedades de expansividade, retração e plasticidade, introduzindo nos solos comportamentos inteiramente diferentes dos que são devidos aos demais minerais.

Dentre os argilominerais, os mais importantes pertencem aos grupos da caulinita, esmectita e illita. O primeiro, em face de sua estrutura de camadas duplas (uma de tetraedros de silício e uma de octaedros de alumina / 1:1), é o mais estável em presença de água, o de menor plasticidade, e, portanto, o que apresenta propriedades mecânicas melhores. Os minerais do grupo da esmectita, geralmente apresentam as piores propriedades mecânicas, uma vez que possuem uma estrutura expansível, onde as moléculas de água podem se introduzir entre as camadas triplas (duas de tetraedros de silício e uma de octaedros de alumina / 2:1), originando alta plasticidade, características de expansividade/retração e baixo coeficiente de atrito interno. Propriedades deste tipo afetam a maior parte das variedades deste grupo, como as bentonitas, as nontronitas e as montmorillonitas. Estas últimas constituem os principais minerais do grupo.

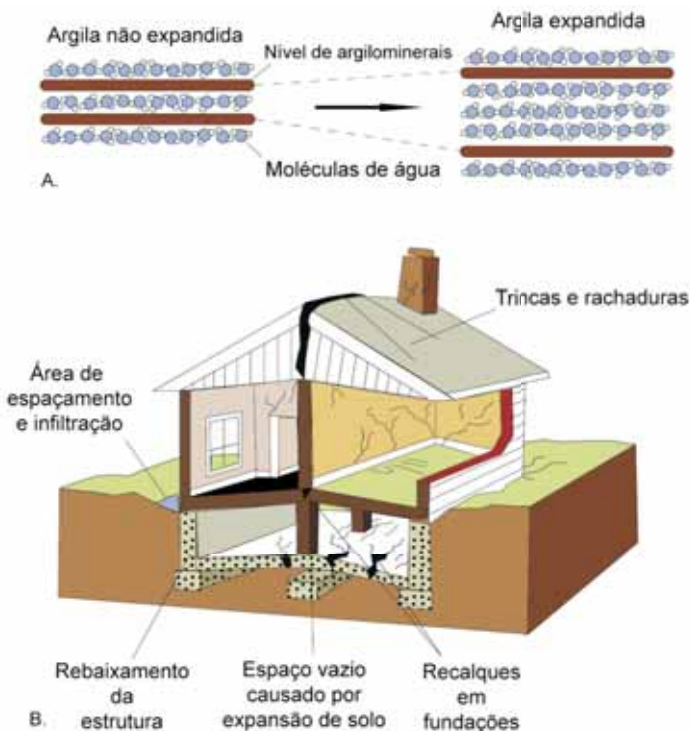
PROPRIEDADES DOS PRINCIPAIS GRUPOS DE ARGILOMINERAIS

GRUPO	PROPRIEDADES
CAULINITA	Argilomineral 1:1 Não expansivo, cristais lamelares hexagonais, baixo *CTC (1 a 20), plasticidade baixa, reduzido espaço para penetração d'água e íons.
ILLITA	Argilomineral 2:1 Expansividade baixa ou nula, cristais lamelares, rigidez das ligações entre camadas e dificuldade de penetração de água e íons. Baixa adsorção d'água e plasticidade. Sujeito à troca iônica (*CTC de 20 a 60).
ESMECTITA	Argilomineral 2:1 Expansivo, pequenos cristais, possibilidade de quebra de grãos por adsorção d'água, grande capacidade de reter íons. Elevada capacidade de expansão e contração, elevada plasticidade. *CTC entre 60 e 150.

*CTC Capacidade de troca de cátions (meq/100mg ou cmol/kg)

FIGURA 19 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA ESTRUTURA INTERNA DOS ARGILOMINERAIS E OS DANOS CAUSADOS EM FUNDAÇÕES PELOS EFEITOS DA EXPANSÃO DOS MESMOS

FONTE: MURCK, SKINNER E PORTER, (1995)



A. Expansão de esmectitas como resultado da adição de água entre camadas de argila.

B. Tipo de estrutura danosa que pode resultar da expansão de solo abaixo de construções.

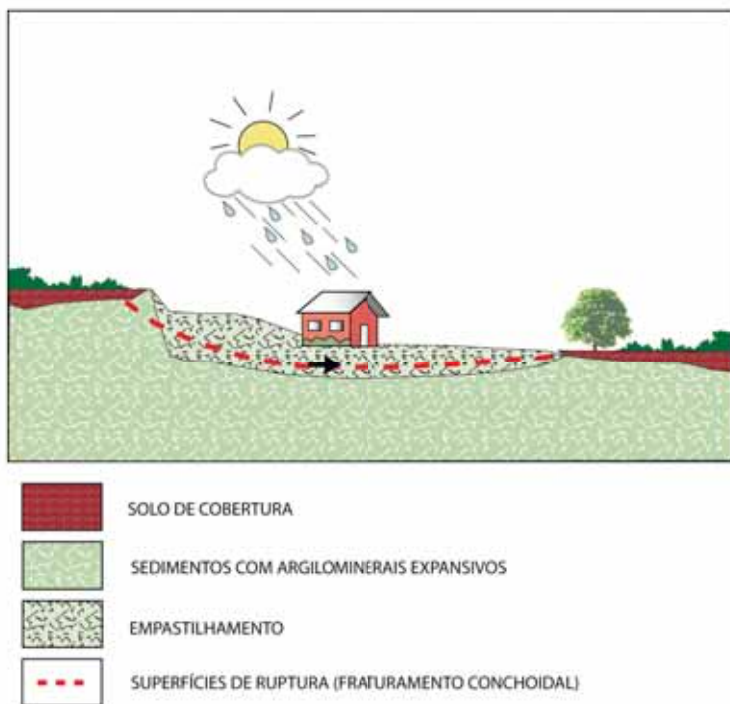
Quais os principais problemas derivados da expansão e retração de solos?

A ação antrópica nas obras de construção de estradas, implantação de loteamentos, corte para construção de casas, terraplenagem e outras, onde normalmente é retirada a camada vegetal protetora e o solo superficial estável, pode expor sedimentos constituídos de argilominerais expansíveis. Nessas condições, esses sedimentos perdem a umidade natural em função das suas características físico-químicas, se retraem (empastilhamento) e com a água das chuvas se reidratam e se expandem, formando uma lama que é facilmente transportada pelas águas do

escoamento superficial, mesmo em pequenos gradientes, dando origem à erosão laminar ou erosão linear concentrada. Além dessa característica do material, quanto maior a declividade mais acelerado será o processo de formação de ravinas, que atingem grandes proporções, se não forem tomadas medidas mitigadoras, e causam grandes danos tanto em áreas rurais como em urbanas, se evoluírem. Em declividades acentuadas, há possibilidade de deslizamentos de grandes proporções.

FIGURA 20 – RISCOS DE EROSÃO E MOVIMENTOS DE MASSA EM ÁREAS DE SOLOS EXPANSÍVEIS, SUSCEPTÍVEIS AO EMPASTILHAMENTO

FORTE: OLIVEIRA (1997)

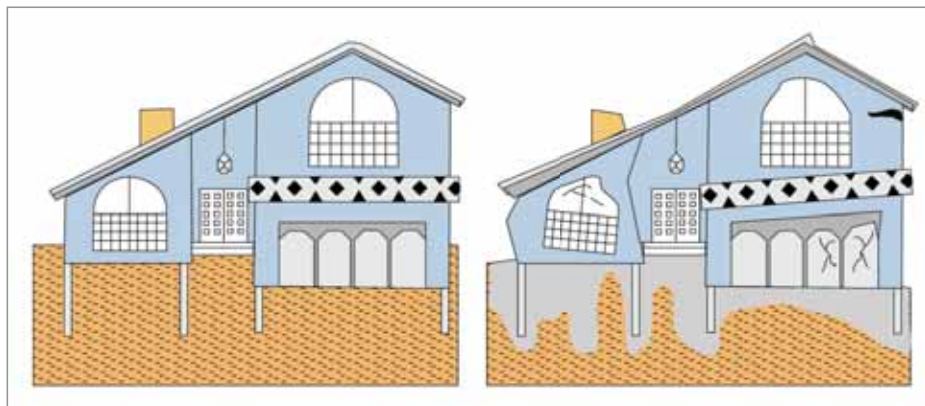


Dentre outros problemas causados pelos argilominerais expansíveis, destacam-se:

- a) instabilização de taludes;
- b) instabilização de subleitos de estradas;
- c) avarias e recalques nas fundações de pequenas e grandes obras;
- d) rompimento nas redes de abastecimento de águas pluviais e servidas;
- e) desabamentos de túneis, etc.

**FIGURA 21 – RECALQUES EM FUNDAÇÕES POR COMPACTAÇÃO DE SOLOS
SUSCEPTÍVEIS A EXPANSÃO E RETRAÇÃO**

FONTE: MURCK, SKINNER E PORTER (1995)



Como se prevenir dos efeitos da expansão e contração de solos?

As medidas necessárias para o enfrentamento dos problemas derivados da presença de materiais ou solos expansivos incluem:

- a) cartografia geológica e geotécnica para caracterização dos materiais de cobertura e suas propriedades, com o objetivo de orientar a ocupação do solo, sobretudo para fins urbanos (áreas para loteamentos, áreas industriais, áreas para disposição de rejeitos sólidos, etc);
- b) realização de ensaios geotécnicos para o dimensionamento e definição dos tipos de estruturas e fundações apropriadas para os terrenos potencialmente problemáticos. Os ensaios devem ser acompanhados da caracterização dos argilominerais, incluindo estudos mineralógicos específicos, tais como: difração de Raios X, microscopia eletrônica, análise termodiferencial, medidas da capacidade de troca iônica e outros;
- c) implantação de obras de proteção em terrenos expostos, incluindo a recuperação da cobertura vegetal e a estabilização de cortes e taludes, para evitar a instalação de processos erosivos e escorregamentos;
- d) implantação de sistemas eficientes de drenagem em áreas susceptíveis a fenômenos de empastilhamento, evitando o escoamento superficial concentrado.

Essas medidas mostram melhores resultados se aplicadas antecipadamente à implantação de qualquer empreendimento, seja ele relacionado à expansão urbana, implantação de loteamentos, áreas residenciais, comerciais ou industriais, ou mesmo à implantação de obras civis de pequeno ou grande porte. As medidas de caráter preventivo têm um custo econômico e ambiental muitas vezes inferior, se comparado aos elevados custos de ações de caráter corretivo.

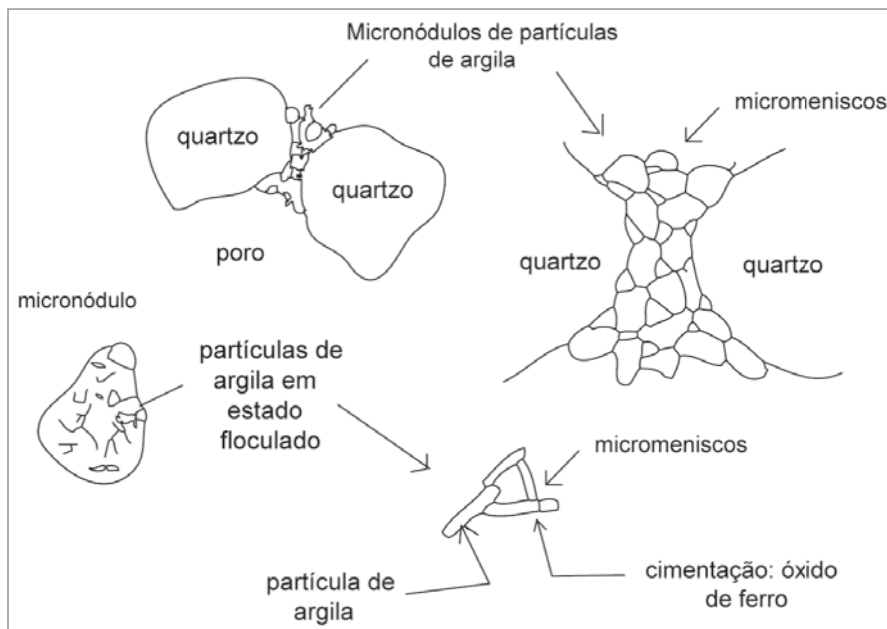
7. COLAPSOS DE SOLO

Correspondem ao fenômeno caracterizado pela súbita redução do volume do solo, devido ao ganho de umidade com presença ou não de sobrecarga. Os solos susceptíveis a esse processo são denominados solos colapsáveis.

Os solos colapsáveis ou porosos se caracterizam por apresentarem altos índices de vazios, estrutura macroporosa e baixo grau de saturação. São solos não lixiviados, compostos basicamente por grãos de areia e silte - ligados por argilas, colóides, óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio - e, quando submetidos ao acréscimo de umidade, sofrem um rearranjo brusco na estrutura, com consequente redução de volume. Essa redução pode ser rápida ou gradual e está associada à perda estrutural dos vínculos de cimentação entre as partículas, devido à saturação, que permite às partículas deslizarem umas sobre as outras, deslocando-as para os espaços vazios.

FIGURA 22 – MODELO DE ARRANJO ESTRUTURAL DE SOLOS COLAPSÁVEIS

FONTE: MENDONÇA E MAHLER (1994)



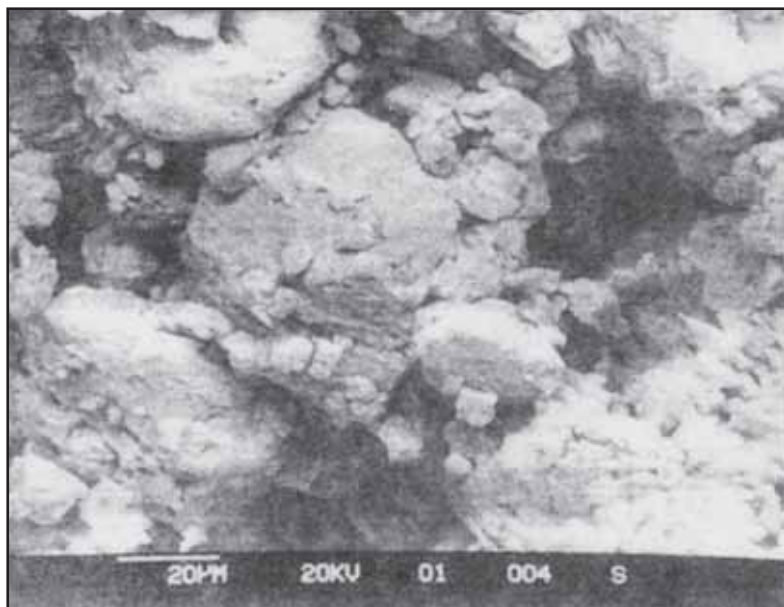
O resultado do processo é o abatimento do terreno por adensamento do solo, em consequência do colapso de sua estrutura, o que lhe dá o nome de solo colapsável.

O fenômeno do colapso pode ocorrer em diferentes depósitos de solo, tais como: eólicos, coluvionais, aluviais, residuais, fluxos de lama e aterros compactados, sendo também constatados em solos argilosos.

Em solos colapsáveis arenosos a interligação entre grãos de areia pode se dar por meio de verdadeiras pontes formadas pelas partículas de silte e argila, com elevado índice de vazios, sendo instáveis perante o umedecimento, situação em que essa estrutura “desmancha-se”, dando origem a um arranjo mais compacto (adensamento).

FIGURA 23 – MICROFOTOGRAFIA DE SOLO POROSO, MOSTRANDO UMA ESTRUTURA CUJAS PARTÍCULAS MAIORES NÃO SE CONECTAM DIRETAMENTE, MAS POR MEIO DE PARTÍCULAS MENORES DE SILTE E ARGILA, COM ALTO ÍNDICE DE VAZIOS

FORTE: MENDONÇA E MAHLER (1994)



Para que se atinjam as condições de saturação dos solos colapsíveis em áreas secas ou em terrenos altos ou de topo, é necessário o fornecimento de água, muitas vezes incrementado por condições de uso e ocupação indesejáveis, como o vazamento de redes de água e esgoto.

Como é deflagrado o fenômeno de colapso de solo?

Além da característica natural de colapsividade do solo, um importante fator deflagrador do processo em áreas urbanas diz respeito à saturação do solo provocada pelo vazamento de redes de água, de esgoto doméstico e industrial, de galerias e canais de águas pluviais, de reservatórios de água, de estações de tratamento, etc.

A presença de água pode ainda ser agravada quando contém efluentes industriais capazes de contaminar e alterar as condições naturais dos solos, como no caso de dispersantes que quebram a estrutura microagregada das argilas, favorecendo o arraste dos finos (piping) e a formação de cavidades e, consequentemente, aumentando a proporção dos recalques na superfície.

Alguns autores consideram a natureza do líquido de saturação como um fator de grande importância para a deflagração do processo, com a constatação de danos mais severos em fundações de edificações nos solos saturados por água de esgoto do que por água pura. Quando efluentes lançados na rede de esgoto são corrosivos ao material da própria tubulação, o processo tende a intensificar-se. É o caso da soda cáustica, um efluente comum para diversas indústrias e que normalmente é lançado na rede de esgoto doméstico. A soda cáustica (constituída por hidróxido de sódio) dissolvida na água auxilia a quebra de estrutura do solo, a partir da dispersão da argila, favorecendo o adensamento do solo.

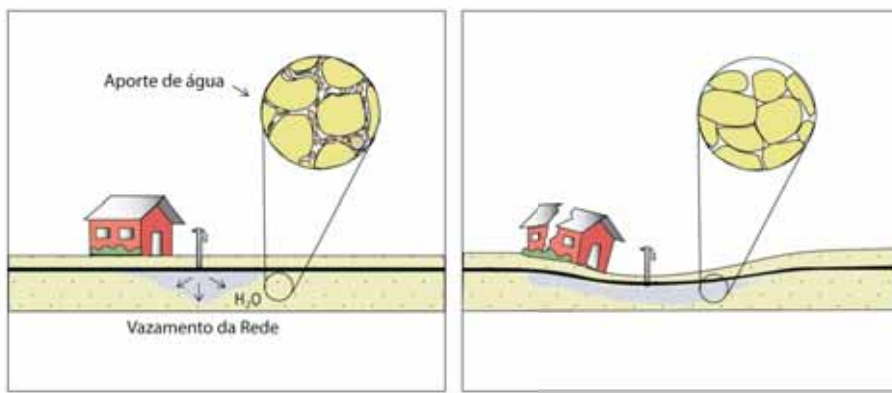
Quais os problemas relacionados à ocupação de terrenos de solos colapsíveis?

Os recalques de fundações, associados ao processo de colapsos de solo, têm como consequências mais comuns a danificação nas edificações (trincas, rachaduras e desabamentos) e na rede de infraestrutura (rede de água e esgoto, rede elétrica, sistema viário, etc).

A implantação de usinas hidrelétricas em áreas de solos colapsíveis pode provocar uma série de impactos ambientais, pelo enchimento de grandes reservatórios próximos a regiões densamente urbanizadas.

FIGURA 24 - ESQUEMA DEMONSTRATIVO DO ADENSAMENTO DE SOLOS COLAPSÍVEIS, PELO ACRÉSCIMO DE ÁGUA

FORNE: FIGURA ELABORADA PELO AUTOR



A. Saturação de solo susceptível a colapso, devido a vazamentos na rede de abastecimento de água.

B. Adensamento de solo pela perda estrutural dos vínculos de cimentação entre os grãos.

Quais as ações para enfrentar os problemas relacionados à colapsividade de solos?

As medidas preventivas e corretivas para o problema de colapsividade de solos em áreas urbanas incluem:

- a) caracterização geológica e geotécnica das áreas urbanas e de expansão, com a finalidade de caracterizar os materiais de cobertura susceptíveis ao colapsamento, para posterior planejamento do uso e ocupação e dimensionamento de equipamentos urbanos;
- b) dimensionamento adequado das redes de infraestrutura enterrada, principalmente de abastecimento de água e de coleta de esgoto, com o objetivo de evitar fugas e vazamentos. Isso impõe a necessidade da implantação de projetos especiais nas áreas potencialmente problemáticas, com a utilização de materiais mais duráveis e resistentes;
- c) dimensionamento adequado de fundações rasas ou profundas, com investigações locais de detalhe e caracterização geotécnica dos materiais de cobertura associados. Nas áreas urbanas consolidadas, afetadas pela co-

lapsividade de solos, há necessidade de reforço de fundações e reestruturação das redes de abastecimento;

d) disciplinamento no tratamento de efluentes industriais, antes de seu lançamento nas redes de esgoto, neutralizando sua ação corrosiva;

e) tratamento do solo poroso ou contaminado, utilizando a escavação, a retirada e substituição de solo e a compactação, principalmente em áreas de vazamentos;

f) colaboração da população no sentido de comunicar imediatamente aos órgãos responsáveis fatos como: indícios de vazamentos nas redes, ocorrência de trincas ou rachaduras nas paredes das edificações e indícios de rebaixamentos do terreno;

g) na implantação de reservatórios de água de pequeno ou grande porte, efetuar estudos geotécnicos de detalhe, visando caracterizar a presença de solos colapsíveis e evitar ou minimizar os impactos associados.

8. POLUIÇÃO DAS ÁGUAS

O termo poluição se refere a todo processo de alteração das características físicas, químicas e biológicas das águas naturais, decorrente de atividades antrópicas. Quando o homem contamina diretamente a água, usando-a e devolvendo-a à natureza com suas características totalmente alteradas, passa a ser o responsável pela produção de substâncias nocivas, que os fenômenos naturais se encarregam de incorporar aos cursos dos rios e aos sistemas de armazenamento subterrâneo. Por conseguinte, considera-se a atividade humana como a principal fonte de poluição das águas superficiais e/ou subterrâneas.

O conhecimento dos diferentes agentes que podem ocasionar a poluição dos recursos hídricos tem destacada importância no processo de planejamento urbano, os quais precisam ser detectados para que suas atuações possam ser controladas.

A seguir, apresentam-se as principais fontes de poluição que têm assumido importância significativa nos dias atuais:

8.1 Poluição das águas superficiais

Os cursos d'água podem ser poluídos pelos seguintes agentes:

a) Esgotos domésticos

Provocam contaminação tanto bacteriológica por meio de dejetos humanos como química, pela presença de produtos químicos de uso doméstico.

Os esgotos domésticos compreendem as águas servidas, utilizadas para higiene pessoal, cocção de alimentos e lavagem de utensílios. Originam-se em prédios residenciais, comerciais, administrativos, hospitalares e industriais. Os esgotos sanitários apresentam uma composição praticamente uniforme, constituída por matéria orgânica biodegradável, micro-organismos (bactérias, vírus, etc), nutrientes (nitrogênio, fósforo), óleos, graxas e detergentes.

b) Esgotos industriais

As águas de origem industrial constituem a principal fonte de contaminação das águas naturais. A maioria das indústrias utiliza a água em quantidades variáveis e em diferentes processos de fabricação. Os esgotos industriais geram poluentes essencialmente químicos, sendo os setores de maior contaminação referidos às indústrias químicas, notadamente a do petróleo e a da celulose.

As águas residuais industriais apresentam uma variação muito grande na sua composição. No quadro a seguir é apresentada uma caracterização de águas residuais industriais de alguns ramos da indústria.

RAMOS INDUSTRIAIS	POLUENTES MAIS SIGNIFICATIVOS
Curtumes	Material em suspensão, matéria orgânica, sulfetos e cromo.
Têxtil	Ácidos e álcalis, corantes, material em suspensão, óleos e graxas.
Óleos vegetais	Matéria orgânica, nutrientes, material em suspensão, óleos e graxas.
Matadouros/Frigoríficos	Material em suspensão, nutrientes, matéria orgânica e micro-organismos.
Galvanoplastia	Metais pesados, cianetos, acidez, material em suspensão e dissolvido.
Siderurgia	Acidez, metais pesados, fenóis, óleos e graxas.

Fonte: TUCCI (1993)

c) Resíduos sólidos

Os resíduos sólidos são os rejeitos de atividades domésticas, industriais, comerciais, hospitalares e agrícolas. Enquanto nos resíduos domésticos predominam os poluentes bacteriológicos, nos resíduos industriais são mais comuns os químicos. A composição do lixo depende de fatores como nível educacional, poder aquisitivo, hábitos e costumes da população.

O quadro que segue, mostra uma classificação dos resíduos sólidos quanto à sua origem e formas de disposição:

TIPO DE RESÍDUO	CARACTERÍSTICAS	DISPOSIÇÃO FINAL
Domiciliar	São aqueles originados nas residências, comércio e, eventualmente, lixo de pequenas indústrias. Incluem os seguintes componentes: matéria orgânica, papel, papelão, vidro, terra, pedra, plástico fino e grosso, trapo, couro, borracha, madeira, metal não-ferroso e outros.	Disposição em aterro sanitário (coleta pelo poder público).
Público	São aqueles originados nas operações de limpeza pública, tais como varrição, poda, limpeza de praias, etc.	Disposição em aterro sanitário (coleta pelo poder público).
Industrial	São aqueles originados nas indústrias (metalurgia, química, etc), tendo destinação determinada pela sua periculosidade.	Disposição em aterro de resíduos industriais.
Hospitalar	Constituem os resíduos sépticos produzidos em serviços de saúde (hospitais, clínicas, etc), geralmente contendo vetores patogênicos. Cabe lembrar que resíduos não-sépticos destes locais são classificados como domésticos, devendo, portanto, ser coletados em separado e dispostos adequadamente.	Disposição em aterro de resíduos perigosos (preferencialmente devem sofrer tratamento e incineração).
Entulho	Constituem os resíduos da construção civil: demolições e restos de obras, solos de escavações diversas, etc. Geralmente materiais inertes passíveis de reaproveitamento.	Disposição em aterros de inertes.
Sedimentos dragados	Constituem os resíduos de desassoreamento de córregos e rios.	Disposição provisória em bota-foras. Disposição em aterros inertes. Disposição em aterros de resíduos industriais.
Rejeitos de mineração	Constituem os resíduos resultantes dos processos de mineração em geral (lavra, pré-processamento, etc)	Disposição em corpos d'água. Disposição em aterros de inertes. Disposição em aterros de resíduos industriais.

Fonte: BITAR (1995)

A decomposição do lixo produz um líquido altamente poluído e contaminado, contendo concentração de matéria orgânica equivalente de 30 a 100 vezes o esgoto sanitário, além de organismos patogênicos e metais pesados. Esse líquido, denominado **chorume**, pode atingir mananciais subterrâneos e superficiais em caso de disposição inadequada dos rejeitos.

d) Produtos químicos agrícolas

São os adubos, corretivos de solos e pesticidas, frequentemente usados na lavoura e que as águas de escoamento podem carrear para os leitos dos rios, provocando a poluição química dos mesmos.

Os pesticidas são utilizados principalmente na agricultura, sendo fonte de poluição e toxidez à vida aquática. São elementos químicos empregados no combate às pragas e são classificados segundo seu uso biológico em inseticidas, larvicidas, ovicidas, formicidas, bermicidas, carrapaticidas e herbicidas, entre outros.

e) Produtos de atividades pecuárias e granjeiras

Compreendem um tipo de poluição essencialmente orgânica e biológica. Os poluentes, muito semelhantes aos das atividades domésticas, são levados pelas águas superficiais dos rios. As purinas (águas que percolam a urina e fezes da criação de porcos) constituem os contaminantes mais expressivos, enquanto os produtos de granjas avícolas, de modo geral, são menos poluentes.

f) Fontes acidentais

Abrangem as situações em que não há um despejo contínuo de poluentes no ambiente. Incluem-se aí, acidentes ocorridos em depósitos de produtos perigosos, derramamento de óleo por petroleiros e explosões de caráter radioativo. Apresentam um efeito catastrófico para o ambiente, já que são lançados sem controle, em grande quantidade e de maneira concentrada. A recuperação do ambiente pode levar muitos anos. O transporte de material tóxico por navegação, rodovias e ferrovias é também um exemplo típico de risco potencial ao meio ambiente.

g) Fontes atmosféricas

A queima de combustíveis fósseis emite para a atmosfera óxidos de enxofre e nitrogênio, que são oxidados para ácidos sulfúrico e nítrico e/ou convertidos em aerossóis de sulfato e nitrato. Esses compostos retornam ao solo/água sob a forma de **chuvas ácidas**. Há evidências de acidificação de águas superficiais em decorrência desse fenômeno, com possibilidades de solubilização de metais pesados presentes nos solos e sedimentos de lago.

Outros efeitos decorrentes da poluição do ar pela emissão, por exemplo, dos aerossóis, têm sido pesquisados. Decorrem dessas emissões as aberturas na camada de ozônio e efeito estufa, este com implicações no regime hidrológico das águas continentais e marinhas.

FIGURA 25 – PRINCIPAIS FONTES DE POLUIÇÃO DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS

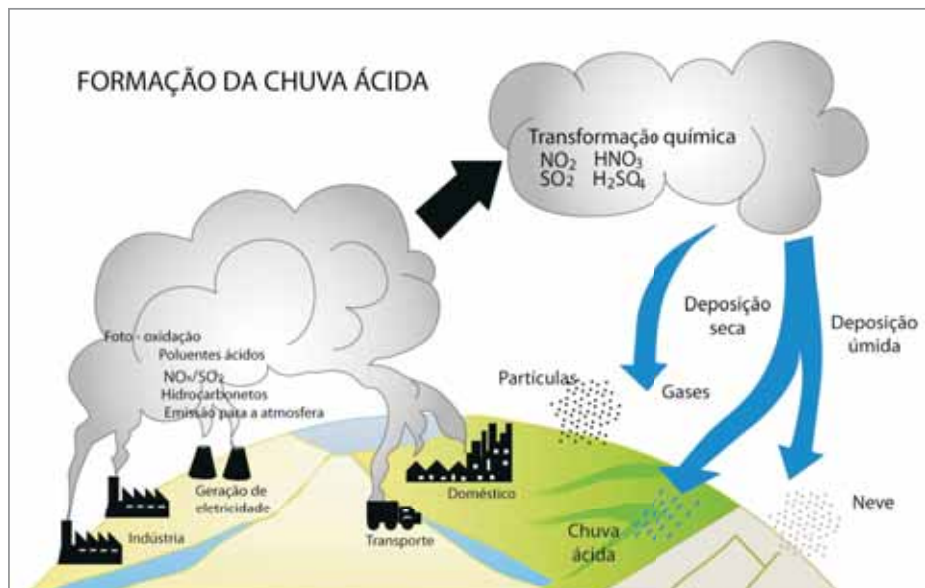
Fonte: EMBRAPA - ATLAS DO MEIO AMBIENTE DO BRASIL (1994)



Exemplos de atividades humanas que podem poluir o meio ambiente quando desenvolvidas sem critérios técnicos adequados e sem controle ambiental necessário.

FIGURA 26 – MODELO DA FORMAÇÃO DA CHUVA ÁCIDA

FONTE: EMBRAPA - ATLAS DO MEIO AMBIENTE DO BRASIL (1994)



8.2 Poluição das águas subterrâneas

Em relação à poluição das águas subterrâneas, devem ser consideradas as mesmas fontes que poluem as águas superficiais, desde que ocorra a infiltração daqueles poluentes nas zonas de recarga. Para as águas subterrâneas, no entanto, mais três tipos de agentes poluidores merecem citação:

- poluição por águas superficiais - se processa quando os aquíferos são recarregados por águas superficiais contaminadas.
- poluição por poços mal construídos ou abandonados - é o caso de poços que colocam em comunicação diferentes aquíferos contaminados. Enquadram-se aqui as perfurações em regiões costeiras, onde as águas salgadas podem poluir aquíferos de água doce. Por outro lado, poços abandonados que permitem a fácil penetração de águas superficiais são também considerados fontes de poluição.
- poluição por poços de injeção de resíduos - a introdução de resíduos líquidos, por meio de injeção de poços, é uma forma prática de se desfazer desses resíduos. No entanto, quando tais poços são mal localizados, mal construídos ou mal utilizados tornam-se expressivos agentes poluidores de águas subterrâneas.

Quais as principais substâncias tóxicas para o organismo (humano e animal) e que podem estar presentes nas águas poluídas?

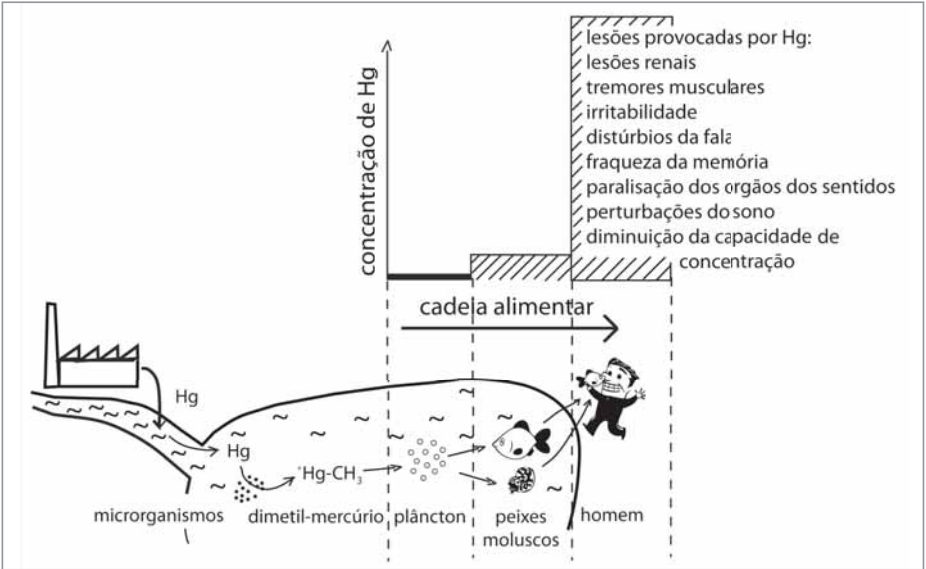
As principais substâncias, produtos ou radicais químicos tóxicos que podem aparecer nas águas de origens diversas, são enumerados a seguir:

SUBSTÂNCIA	EFEITOS
Arsênio	Ingestão de 100 mg envenena seriamente o organismo. É carcinogênico.
Bário	Doses entre 550 a 600 mg são fatais para o homem. Causa bloqueio nervoso ou aumento da pressão sanguínea por vasoconstrição.
Cádmio	Altamente tóxico, pode determinar a hipertensão arterial, anemia, retardamento de crescimento e morte.
Cromo	Quando inspirado causa câncer. Na água o cromo trivalente parece não ter significado sanitário. O hexavalente, em concentrações de até 11 mg/l, pode ser tolerado pelo homem por vários anos.
Cianetos	Até 4,7 mg por dia não são prejudiciais. Na água potável, o limite aceitável não deve exceder 0,2 mg/l.
Flouretos	Até 1,0 mg/l, protege os dentes. Entre 8-20 mg/l, causa a fluorose dental e deformação dos ossos. Doses excessivas levam à morte em uma só dose.
Chumbo	De efeito cumulativo, pode ser letal se ingerido por muito tempo. A águas naturais apresentam 0,01mg/l ou menos desse elemento.
Selênio	Tóxico para homens e animais em concentrações acima de 0,01 mg/l. Aumenta a incidência de cárie dentária e é carcinogênico.
Prata	Efeito sistêmico ocasional e alterações fisiológicas (coloração azulada da pele e das mucosas).
Mercurio	Lesões renais, tremores musculares, irritabilidade, distúrbios da fala, fraqueza da memória, paralisção dos órgãos do sentido, perturbações do sono.

Fonte: TUCCI (1993)

FIGURA 27 – ESQUEMA DO PERCURSO DO MERCÚRIO ATÉ A CADEIA ALIMENTAR. NOS MEMBROS FINAIS DA CADEIA, O TEOR DE MERCÚRIO PODE ULTRAPASSAR O LIMITE DE TOXIDADE TOLERÁVEL E PROVOCAR UMA SÉRIE DE DISTÚRBIOS CARACTERÍSTICOS

FORTE: FELLEBERG (1980)



Existe ainda a possibilidade da contaminação das águas superficiais e subterrâneas, a partir de concentrações naturais de substâncias minerais presentes no solo ou na rocha. Essas concentrações naturais, que podem constituir reservas minerais economicamente exploráveis (jazidas), também favorecem a liberação de substâncias químicas nocivas ao homem, incorporadas ao organismo após o consumo da água contaminada. É o caso, por exemplo, do flúor e do chumbo, cujo acúmulo no organismo provoca doenças como a fluorose e saturnismo, respectivamente.

As concentrações naturais de substâncias minerais (anomalias) podem ser detectadas através de estudos específicos, denominados levantamentos geoquímicos.

Quais as medidas para preservar os recursos hídricos e evitar a poluição das águas?

A qualidade da água de um manancial que compõe uma bacia hidrográfica está relacionada com o uso do solo na bacia e com o grau de controle sobre as fontes de poluição. A partir disso, as principais medidas para promover a preservação dos recursos hídricos, evitando a poluição, dizem respeito a:

- a) planejamento territorial: implantação de zoneamento adequado de usos do solo na bacia hidrográfica, com a caracterização de áreas de preservação de mananciais, reservas florestais, áreas agrícolas, distritos industriais, áreas de expansão urbana, obedecendo às características naturais da bacia hidrográfica, principalmente as geológicas, com a definição das características de escoamento superficial e infiltração no subsolo;
- b) controle sobre as fontes de poluição, por meio do tratamento de águas residuárias, sanitárias e industriais, com a utilização de tecnologias adequadas para a implantação de obras de engenharia (estações de tratamento, tanques de decantação, filtros, etc.);
- c) disciplinamento e racionalização do uso de agrotóxicos, fertilizantes e pesticidas, geralmente aplicados em uma quantidade muito maior que a necessária;
- d) reutilização do lixo urbano, para diminuir a utilização de recursos naturais e a poluição das águas. Por exemplo: papéis, metais, plásticos são reaproveitáveis, e do lixo urbano é possível obter um composto orgânico para aplicação agrícola;
- e) adequada disposição final de resíduos, em locais geologicamente favorá-

veis, com condições de impermeabilização para evitar a contaminação de aquíferos superficiais e subterrâneos;

f) crescimento urbano ordenado, evitando a ocupação de áreas potencialmente problemáticas. A expansão urbana desordenada pode causar a impermeabilização progressiva do solo, resultando em aumentos do escoamento superficial e transbordamentos de riachos e córregos urbanos, normalmente bastante poluídos. A utilização de pavimentos, materiais porosos, construção de bacias de retenção e implantação de áreas de proteção, são medidas preventivas;

g) implantação de campanhas educativas com a comunidade, que deve ser esclarecida com relação à importância da conservação da água e os prejuízos que a poluição provoca. A preservação dos recursos hídricos depende também de uma série de leis e regulamentos que as autoridades devem implantar. É necessário que haja administração racional, que não vise apenas aumentar a oferta de água com grandes investimentos em obras, mas se preocupe principalmente em conservar, preservar e reaproveitar a água que temos.

9. ACIDENTES COSTEIROS

São aqui considerados acidentes costeiros aqueles que decorrem da ocupação indevida dos terrenos litorâneos e cuja deflagração advém da interferência antrópica nos processos da dinâmica costeira. Referem-se principalmente a fenômenos de erosão marinha, adensamentos do terreno, assoreamentos e dragagens, gerando enormes prejuízos aos cofres públicos e riscos às comunidades locais.

9.1 Erosão marinha

Compreende o conjunto de processos responsáveis pelo desgaste, transporte e deposição de sedimentos na linha de costa, a partir da ação de ondas, marés e correntes marinhas. Esse fenômeno natural passa a oferecer riscos ao homem quando ele ocupa de maneira inadequada as áreas susceptíveis a esses processos costeiros, potencializando os efeitos destrutivos da erosão, principalmente nos eventos das “ressacas”.

Os fenômenos de erosão marinha vêm ocorrendo com maior frequência em diversas regiões do mundo, trazendo como consequências a destruição de edificações e obras de engenharia e de infraestrutura, notadamente nas regiões densamente urbanizadas.

Para a compreensão do problema devem ser considerados os seguintes aspectos: o aumento do nível do mar e a ocupação urbana desordenada.

O nível médio do mar tem aumentado no mundo inteiro, em média, 0,30m em 100 anos. Esse fenômeno tem como causas naturais o deslocamento do eixo de rotação da Terra e outras, relacionadas ao aquecimento global do planeta e o efeito estufa (buraco na camada de ozônio, provocado pelo acúmulo de certos gases na atmosfera, principalmente dióxido de carbono ou gás carbônico, metano, óxido de azoto e os CFC's), provocando o aumento das temperaturas, a liberação dos raios solares nas calotas polares, o derretimento das geleiras e, conseqüentemente, o aumento do nível dos oceanos.

Nas regiões costeiras, caracterizadas por uma topografia aplainada, com um litoral constituído por praias arenosas e de baixa declividade, esse aumento no nível do mar propicia uma ação mais efetiva das ondas e marés na linha de costa, culminando com alagamentos e erosão. A interferência antrópica tende a agravar a situação à medida que a ocupação intensificada nas áreas litorâneas desconsidera os fatores naturais que mantêm o equilíbrio das regiões costeiras (movimento das

ondas, marés, direção de correntes, ventos, estuários de rios que desembocam na costa, etc).

Cabe ressaltar que 60% da população do mundo vive nessa faixa de terra, que representa apenas 1,6% das terras emersas do planeta.

Já a ocupação urbana desordenada e a especulação imobiliária levam o homem a ocupar áreas de extrema sensibilidade ambiental, afetando o equilíbrio natural e a hidrodinâmica litorânea. Isso se verifica principalmente na implantação de loteamentos, edificações, ruas, avenidas e obras de infraestrutura muito próximos à linha de costa, por vezes se valendo do aterramento de áreas sujeitas às oscilações de nível das marés e a ação das ondas. Essa tentativa de criar novos espaços para a ocupação pode trazer consequências catastróficas. Como as ondas têm uma ação erosiva muito forte e tendem a buscar o espaço que lhes foi tomado, causam grandes danos e destruição, multiplicando os investimentos na busca de soluções para a contenção do processo.

Outras alterações antrópicas que interferem diretamente na dinâmica costeira e potencializam os fenômenos erosivos, dizem respeito a:

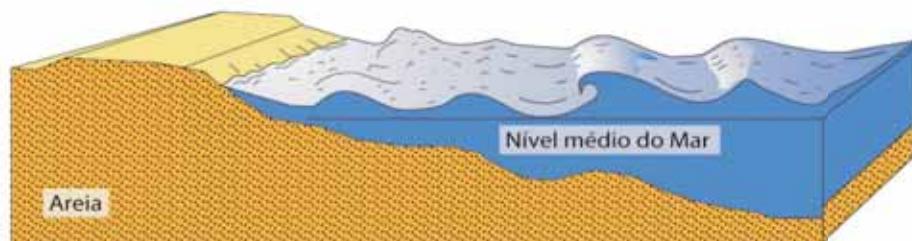
- descarga concentrada de águas pluviais na praia;
- retirada da vegetação costeira, que fornece proteção à praia;
- construção ou ampliação de portos;
- barragens nos rios, reduzindo o aporte fluvial de sedimentos disponíveis para manter o equilíbrio sedimentar nas desembocaduras dos rios litorâneos;
- desmatamentos ao longo dos córregos, contribuindo para o aumento na taxa de erosão e carga de sedimentos nas zonas de desembocadura;
- enrocamentos;
- construção de obras de engenharia (molhes, muros, etc), que alteram o transporte litorâneo de sedimentos. Muitas vezes a implantação de obras de contenção é suficiente para a solução de problemas localizados, transferindo-os, porém, para outros locais.

Quais as medidas para minimizar os efeitos da erosão marinha em áreas urbanizadas?

A erosão marinha, como um risco geológico para o homem, tende a se agravar nos próximos anos, em função do aparecimento, nas últimas décadas, de uma

FIGURA 28 – OCUPAÇÃO URBANA INADEQUADA SOBRE ATERROS NA LINHA DE COSTA

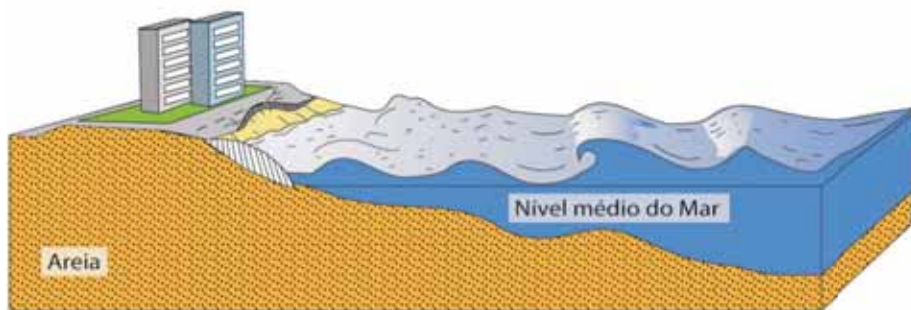
FONTE: MODIFICADO DE MURCK, SKINNER E PORTER, (1995)



1. Situação do equilíbrio natural.



2. Avanço da linha da costa, com aterramento e ocupação urbana.



3. Ação erosiva das ondas promovendo a destruição das edificações e obras de infraestrutura.

filosofia de lazer e turismo voltada para a zona costeira e que resultou na incorporação imobiliária de extensos trechos da linha de costa de muitas regiões do Brasil.

A abertura de novas estradas bordejando a linha da costa e facilitando o acesso às áreas litorâneas, a difusão da filosofia de lazer voltada ao mar, os planos de turismo contemplando vultosos empreendimentos na zona costeira, associados à ausência de um planejamento adequado que respeite as limitações impostas pelos fenômenos geológicos, contribuem para exacerbar o problema de erosão que afeta a linha de costa de muitas regiões brasileiras, entre as quais podemos citar: praias Mansa e Brava de Caiobá e Ilha do Mel (PR), praia de Boa Viagem, Recife (PE), praia do Pecém, Fortaleza (CE), Ilha Comprida (SP), entre outras.

FIGURA 29 – EFEITOS DA EROSÃO MARINHA NA ORLA DE MATINHOS, LITORAL DO PARANÁ (2006)

FONTE: CENTRO DE ESTUDOS DO MAR - UFPR, BALNEÁRIO DE PONTAL DO SUL - PR

NOTA: FOTO CEDIDA PELO GEÓLOGO CARLOS ROBERTO SOARES



As principais ações para a prevenção e minimização dos processos de erosão costeira devem contemplar:

- a) implantação de planos de uso e ocupação dos solos nas regiões litorâneas, apoiados em estudos detalhados do comportamento morfodinâmico da área litorânea, com controle sobre regimes de ondas, marés e correntes

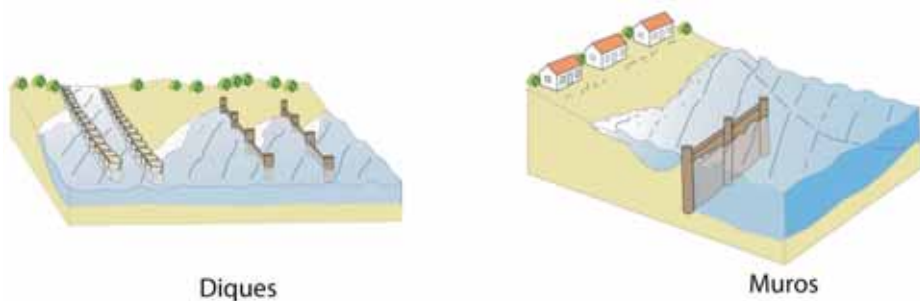
litorâneas e perfis de praia para estudos do balanço sedimentológico da mesma;

b) implantação de obras com caráter corretivo, incluindo três grandes categorias (PILKEY, 1991 in SOARES et al., 1998):

- **estabilização pesada:** são as obras de engenharia que empregam concreto, madeira, rochas ou qualquer outro tipo similar. Incluem muros e revestimentos (construídos paralelamente à linha de costa, procurando bloquear a energia das ondas), espigões ou diques (construídos transversalmente à linha de praia, com o objetivo de captar as areias transportadas pela deriva litorânea, aumentando a área útil da praia) e enrocamentos. O uso desse tipo de obra tem sido o mais comum para proteger e salvar as propriedades adjacentes à costa, apresentando como desvantagens a degradação da área recreativa da praia, um custo elevado, pouca esteticidade, além de tornar difícil o acesso à praia.
- **estabilização leve:** Inclui as ações para a estabilização da linha de costa que não envolvam obras complexas de engenharia, tais como o enchimento artificial de uma praia, também chamado de engordamento (despejo de grandes quantidades de areia para preencher a praia que sofreu recuo, na tentativa de construir seu perfil de equilíbrio), e a fixação artificial de dunas. A engorda artificial tem como principal vantagem o aumento da área útil da praia.
- **relocação e desapropriação:** constituem atitudes politicamente difíceis, causando a perda de áreas nobres, podendo muitas vezes ser economicamente inviáveis.

FIGURA 30 - EXEMPLOS DE OBRAS DE CONTENÇÃO EM ÁREAS LITORÂNEAS SUEITAS À EROSÃO

FONTE: MURCK, SKINNER E PORTER (1995)



c) modificação na concepção e filosofia de urbanização em áreas litorâneas. Segundo SOARES (1998), a idéia da preservação de faixas maiores na linha de costa e a verticalização das edificações em direção ao continente poderiam constituir ações efetivas para prevenir a ação destrutiva do mar sobre as obras antrópicas. Essas medidas dependem de ampla discussão envolvendo o poder público, empreendedores do ramo da construção e a comunidade, para posterior legislação.

FIGURA 31 – MODELO DE OCUPAÇÃO URBANA COM A VERTICALIZAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES EM DIREÇÃO AO CONTINENTE, COM MAIOR RECUO EM RELAÇÃO À LINHA DE COSTA

FONTE: FIGURA ELABORADA PELO AUTOR



Vale salientar que todas as obras concebidas para a contenção e estabilização dos processos de erosão marinha devem fazer parte de um plano global e integrado, levando em conta os fatores que atuam na dinâmica costeira. Soluções pontuais quase sempre têm efeito potencializador, transferindo o problema para outro lugar.

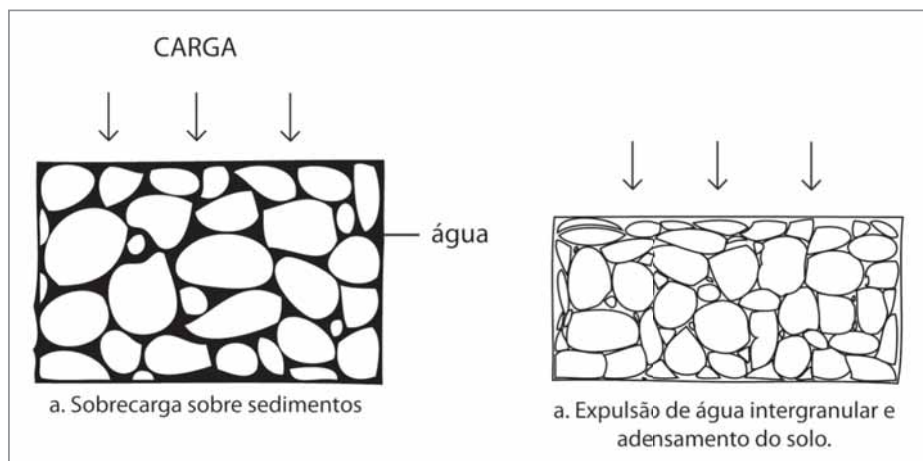
9.2 Adensamentos de solo

O processo de adensamento de solo, nas áreas litorâneas, tem como condicionante principal a ocorrência de sedimentos argilosos compressíveis (argilas e argilas orgânicas moles), em subsuperfície.

Esses sedimentos, quando submetidos à sobrecarga, podem gerar deformações a partir da perda de água intergranular com consequente modificação na estrutura sólida do sedimento. A água ao ser expulsa, quer por processos naturais de consolidação (peso das camadas sobrejacentes), quer por indução (drenagem, sobrecarga), leva ao adensamento, reduzindo o volume dos sedimentos e, conseqüentemente, refletindo em recalques na superfície e nas estruturas fundadas nesses materiais, sejam aterros, pavimentos ou fundações de edificações (NAKA-ZAWA et al., 1994).

FIGURA 32 – MODELO DO DESENVOLVIMENTO DE ADENSAMENTOS DE SOLO EM SEDIMENTOS ARGILOSOS COMPRESSÍVEIS

FONTE: FIGURA ELABORADA PELO AUTOR

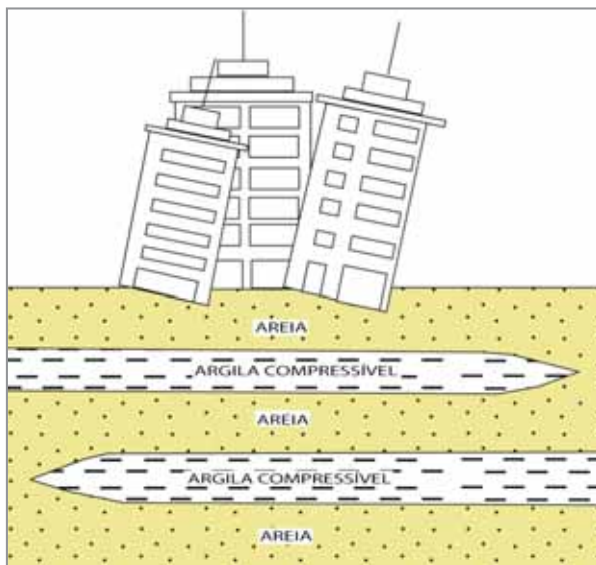


Casos notáveis de adensamentos de solo em áreas litorâneas têm sido registrados na Baixada Santista, litoral de São Paulo, produzindo recalques de grande monta devido à existência de camadas profundas e espessas de argilas marinhas compressíveis, intercaladas a pacotes de areias.

O fenômeno se agravou com a densificação das construções de edificações de grande porte, contíguas e próximas, apoiadas em fundações diretas rasas, ocasionando intensos desaprumos das estruturas.

FIGURA 33 – DESAPRUMOS EM EDIFICAÇÕES COM FUNDAÇÕES RASAS EM ÁREAS LITORÂNEAS, CAUSADOS PELA PRESENÇA DE ARGILAS COMPRESSÍVEIS EM SUBSUPERFÍCIE (BAIXADA SANTISTA – SP)

FONTE: FIGURA ELABORADA PELO AUTOR



Segundo TEIXEIRA (1994), o desaprumo das estruturas de edificações traz como consequências: o desnivelamento de pisos nos pavimentos com dificuldades no escoamento interior das águas para os ralos (quer seja de banheiras, pisos de cozinhas ou terraços); o refluxo de esgotos; a perda das prumadas das guias dos elevadores causando dificuldades na operacionalização dos mesmos; a deformação nas paredes de alvenaria, nos caixilhos das janelas e batentes das portas; o fissuramento nas alvenarias e nos revestimentos; os esmagamentos ou rupturas por compressão da base dos pilares dos pavimentos térreos, com o aparecimento das ferragens longitudinais na forma de alças; danos e desnivelamentos acentuados em apêndices, edículas e coberturas térreas, entre outras.

Tais problemas têm sido corrigidos de forma paliativa, com a execução frequente de obras do tipo: reconstrução de pisos para adequar o caimento das águas, obturações de fissuras, reajuste em portas e caixilhos, encaixamento estrutural de pilares, etc.

Como evitar e prevenir os problemas derivados dos adensamentos de solo?

Para a previsão e prevenção de recalques, resultantes do adensamento de solos em áreas litorâneas, recomenda-se:

- a) realização de estudos geotécnicos específicos, com investigações de sub-superfície para a caracterização de sedimentos susceptíveis a processos de adensamento. Essas informações deverão dar suporte para a elaboração de projetos estruturais das edificações (cálculo de recalques, número máximo de pavimentos por edificação, suas dimensões, distanciamento entre prédios e tipo de fundações);
- b) realização de mapeamento geológico de detalhe com o estudo da origem e evolução geológica dos depósitos litorâneos associados. A caracterização ou individualização de camadas específicas permite melhor compreensão do comportamento geotécnico dos sedimentos, a exemplo dos estudos realizados por SUGUIO e MARTIN (1994), no litoral Santista. Esses estudos foram decisivos para a área da engenharia de fundações;
- c) aplicação dos conhecimentos e informações geológicas na elaboração ou alterações no código de obras pelas prefeituras locais, respeitando as limitações impostas pelo meio físico.

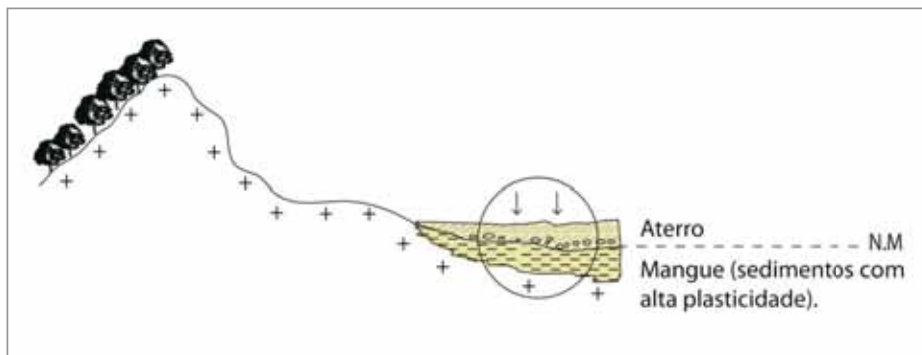
Nas áreas litorâneas, os problemas de recalque por adensamento de solo ocorrem também associados às áreas de mangues.

Situados na faixa intermediária entre a terra firme e o mar, os manguezais ocupam regiões que são inundadas na maré cheia e emergem na maré baixa, quebrando a força da arrebentação e dos ventos. Criam assim um ambiente propício para a desova e reprodução de muitas espécies de alto mar. Contêm uma complexa cadeia alimentar que inclui algas, caranguejos, siris, mexilhões, camarões e peixes. Os mangues são também uma espécie de filtro através do qual nutrientes carregados pelos rios, marés e chuvas são distribuídos sobre o solo e incorporados aos sedimentos ou absorvidos pelo metabolismo vegetal.

As áreas de mangues são constituídas predominantemente por sedimentos finos (argilas, siltes e matéria orgânica), saturados, lodosos, com baixa consistência e com a propriedade de sofrer adensamento quando submetidos à carga. Mostram, assim, recalques expressivos, que podem provocar rupturas em aterros e outras obras assentadas nesses terrenos. Constituem áreas de preservação permanente e sua ocupação deve sofrer severas restrições. No caso de ocupação inevitável, faz-se necessária a adoção de técnicas adequadas de fundações e drenagem, embasadas em caracterização geotécnica prévia.

FIGURA 34 – ATERRO SOBRE ÁREA DE MANGUE , POTENCIALIZANDO OS RISCOS DE ADENSAMENTO DE SOLO E RECALQUE NAS FUNDAÇÕES

FORTE: FIGURA ELABORADA PELO AUTOR



9.3 Assoreamentos e Dragagens

A implantação ou ampliação de áreas portuárias traz consigo a necessidade de viabilizar acessos para a navegação, o que demanda por áreas com profundidades compatíveis com as embarcações.

Na região costeira, muitas vezes essas áreas não oferecem condições naturais satisfatórias, quer pela pouca profundidade, quer por constantes assoreamentos no fundo das baías e estuários.

Quando em zonas de sedimentos móveis, o acesso é viabilizado por dragagens, que retiram a quantidade de sedimentos necessária ao estabelecimento das batimetrias exigidas para a circulação. Se o fundo for rochoso, esta remoção se faz somente com o uso de explosivos.

Nas áreas litorâneas, à medida que a urbanização se expandiu, pequenos rios e córregos foram tomados ou incorporados ao perímetro urbano, dando origem a processos de erosão com consequente aumento da carga de sedimentos, que incorporados às águas costeiras, contribuíram para o assoreamento do fundo das baías e estuários, onde geralmente se instalam os portos.

Para compensar o acréscimo de sedimentos de fundo, o que é prejudicial à navegação, são realizadas, frequentemente, dragagens.

As dragagens em ambientes continentais ou marinhos constituem uma atividade necessária ao desenvolvimento. Em determinadas circunstâncias, podem ser uma importante ferramenta para remediar interferências ambientais. Por outro

lado, pela própria natureza, o ato de dragar e relocar materiais dragados é ambientalmente impactante. No seu aspecto mais simples, a dragagem consiste na escavação de material do fundo do mar, baías, rios e lagos e sua remoção para outro lugar, a fim de tornar as profundidades aceitáveis para o acesso de embarcações de grande porte a portos, atracadouros e canais.

Três opções têm sido tradicionalmente adotadas no que se refere à disposição de materiais dragados, em áreas portuárias:

- a) deposição subaquática;
- b) deposição na linha de costa;
- c) deposição em terrenos continentais.

De acordo com SOARES (1997a), as atividades de dragagem, quando não devidamente caracterizadas e dimensionadas, podem trazer como consequências:

- a) alterações na morfologia da costa ou de rios, que podem levar à degradação da qualidade ambiental ou de potencial de lazer das áreas abrangidas pelas obras propostas, com a adição ou redução de habitats para espécies animais e vegetais;
- b) transformações no padrão de circulação local, fazendo com que muitas vezes o material dragado retorne para os locais mais próximos da costa, propiciando uma intensa sedimentação ou desestabilização de praias, através da erosão, afetando o sistema de defesa costeira, além de outras estruturas já edificadas;
- c) redução ou aumento da qualidade da água costeira, o que por sua vez afeta a fauna bêntica, o plâncton e a alimentação e reprodução de peixes e de outras espécies animais e vegetais de importância ecológica ou econômica;
- d) remoção de sedimentos de fundo contaminados e sua relocação e deposição em áreas mais seguras.

Como se prevenir dos problemas relacionados ao assoreamento e dragagem em áreas litorâneas?

O número de projetos envolvendo obras marítimas vem sofrendo nos últimos anos um aumento notável, orientando-se não apenas para a implantação de

novos portos e ampliação de instalações, como também no sentido de solucionar problemas de proteção sanitária da orla e prevenção contra processos de erosão e assoreamento.

Qualquer desses projetos exige para a sua otimização e, posteriormente, para a sua execução, levantamentos hidrográficos de detalhe (estudos da conformação topográfica do fundo oceânico, conformação das margens, velocidade e natureza das correntes atuantes, influência dos ventos, natureza e amplitude das marés, caracterização das ondas) e levantamentos geológicos referentes aos processos da dinâmica costeira e sedimentação.

A correlação entre todos estes elementos e fatores é necessária para fins de interpretação do sistema atuante e dimensionamento de obras.

No que se refere ao problema das dragagens e sua destinação final, fazem-se necessárias avaliações sistemáticas e adequadas dos impactos ambientais decorrentes, evitando a degradação ambiental das áreas litorâneas.

SOARES (1997a), faz referência à possibilidade do aproveitamento dos materiais dragados no litoral para utilização em obras de aterro e urbanização ou para a restauração de áreas degradadas. Esse aproveitamento poderia ser feito pelas administradoras municipais regionais e por empresas privadas.

10. A PREVENÇÃO DE ACIDENTES GEOLÓGICOS URBANOS

A ocupação urbana, na maioria das cidades do Brasil, tem ocorrido desordenadamente e sem o mínimo conhecimento sobre as características do meio físico, colocando a população frequentemente em situações de risco que podem evoluir até a deflagração de acidentes geológicos propriamente ditos. Essa situação não se restringe apenas aos grandes núcleos urbanos, mas também afeta as comunidades urbanas de menor porte e mesmo as áreas rurais.

A prevenção de acidentes geológicos urbanos é possível a partir da identificação e análise das áreas de risco. Estas, por sua vez, são enfocadas em trabalhos prévios de análise do meio físico, comumente denominados mapeamentos geotécnicos.

O mapeamento geotécnico é uma forma de cartografia do meio físico, onde se busca a caracterização de seus diferentes aspectos (geológicos, geomorfológicos, hidrológicos, geotécnicos e ambientais), definindo o comportamento dos materiais existentes na superfície e suas alterações frente às interferências do homem sobre o ambiente. Essas informações, somadas à identificação das causas e mecanismos que operam os principais acidentes geológicos, fornecem os subsídios necessários para orientar o processo de uso e ocupação do solo, otimizando a ocupação dos espaços de acordo com a definição da adequabilidade dos terrenos para os diferentes fins (implantação de núcleos urbanos, loteamentos, áreas industriais, centros comerciais, equipamentos urbanos, obras de engenharia, entre outros), minimizando os riscos da deflagração dos referidos acidentes.

Neste contexto é de fundamental importância a caracterização das áreas de riscos geológicos e a proposição de medidas de prevenção dos acidentes correlatos, com a indicação dos locais ameaçados, sua quantificação e prioridades, expressos em cartas de zoneamento de riscos geológicos.

Segundo CERRI e AMARAL (1998), as medidas de prevenção de acidentes geológicos podem ser dirigidas para evitar a ocorrência ou reduzir a magnitude do(s) processo(s) geológico(s), para eliminar ou reduzir as consequências sociais e/ou econômicas decorrentes, ou para ambas, simultaneamente. Os autores consideram ainda que, além da possibilidade de remoção definitiva dos moradores

das áreas sujeitas a risco (procedimento raramente colocado em prática devido às dificuldades inerentes a esta ação), a prevenção de acidentes geológicos urbanos deve considerar os seguintes objetivos:

- Eliminar e/ou reduzir os riscos já instalados;
- Evitar a instalação de novas áreas de risco;
- Conviver com os riscos atuais.

Em razão das características de cada situação de risco em particular e com base nesses objetivos estabelecidos, CERRI e AMARAL (1998), consideram que podem ser adotadas diferentes medidas de prevenção de acidentes geológicos, cada qual associada a uma ação técnica específica, conforme resumido no quadro seguir:

Objetivo	Medida de Prevenção	Ação técnica
Eliminar e/ou reduzir os riscos já instalados	Recuperação das áreas de risco	Perenização da ocupação (quando possível), por meio de projetos de urbanização e da implantação de obras de engenharia, que se destinam a evitar a ocorrência do(s) processo(s) geológico(s) e/ou reduzir a magnitude destes processos, com diminuição da área a ser atingida. A definição da concepção mais adequada de cada obra de engenharia depende, fundamentalmente, do entendimento do(s) processo(s) geológico(s) considerado(s).
Evitar a instalação de novas áreas de risco	Controle da expansão e do adensamento da ocupação	Estabelecimento de diretrizes técnicas que permitam adequada ocupação do meio físico, expressas em cartas geotécnicas, que se constituem em instrumentos básicos, visto que reúnem informações do meio físico-geológico, indispensáveis ao planejamento de uma ocupação segura.
Conviver com os riscos naturais	Remoção preventiva e temporária da população instalada nas áreas de risco eminente.	Elaboração e operação de Planos de Defesa Civil, visando reduzir a possibilidade de registro de perda de vidas humanas, após ser constatada a iminente possibilidade de ocorrência de acidentes geológicos.

Fonte: CERRI (1993) in CERRI e AMARAL (1998)

Cabe finalmente ressaltar que a desconsideração do meio físico no processo de ocupação urbana é decorrente da falta de integração e participação de equipes multidisciplinares no planejamento territorial e urbano. Além do poder público, os técnicos de maneira geral (engenheiros, geólogos, arquitetos, sanitaristas e outros), têm sua parcela de responsabilidade nos desastres ocorridos, por não considerarem todas as variáveis necessárias para cada forma de ocupação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, V. L. A. **Conservação da água**. Disponível em <www.tvcultura.com.br>. Acesso em 9/03/1998.

ALBRECH, K. J.; ZUQUETTE, L. V. **Mapeamento geotécnico de áreas carbonáticas: sua importância frente aos problemas do meio físico**. In : SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA 2, 1996, São Carlos. **Anais...** São Carlos : ABGE, 1996. p. 175-184.

ALBRECHT, K. J. **Avaliação dos problemas geológico-geotécnicos em terrenos cársticos. - Base para o mapeamento geotécnico**. São Carlos: Escola de Engenharia, 1996.

ALMEIDA, J. P. **Erosão hídrica**. Disponível em <<http://mozart.ulbra.tche.br/>>. Acesso em 20 /03/1998.

ALMEIDA, M. C. J.; DINIZ, N. C. **A expansão urbana no entorno metropolitano de São Paulo e os problemas decorrentes: o caso das regiões de Campinas e Vale do Paraíba**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA 38., 1994, Balneário Camboriú. **Boletim de resumos expandidos**. Balneário Camboriú: SBG, 1994. p 519-520.

ALMEIDA, M. C. J.; FREITAS, C. G. L. **Uso do solo urbano: suas relações com o meio físico e problemas decorrentes**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA 2., 1996, São Carlos. **Anais...** São Carlos: ABGE, 1996. p. 195-197.

ANGULO, R. J. **Geologia da planície costeira do Estado do Paraná**. 334 f. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1992.

AOKI, N.; ANGELINO NETO, C. **Fundações profundas na Baixada Santista**. In: FALCONI, F. F.; NEGRO JR., A. (Ed.). **Solos no Litoral de São Paulo**. São Paulo: ABMS, 1994. p. 155-178.

ARAÚJO, D. E. **Considerações sobre as obras de controle de erosão do solo urbano no Estado de São Paulo**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO 5., 1995, Bauru. **Anais...** Bauru: ABGE, 1995. p. 63-68.

ARAÚJO, M. L. M. **Preservação de fundos de vale**. 50 f. Monografia (Especialista em Gestão Técnica do Meio Urbano.). Curitiba: PUC/PR, 1992.

ATLAS DO EXTRAORDINÁRIO. **A formação da Terra**. Madrid: Ediciones del Prado, 1996. v.1.

BIGARELLA, J. J.; MAZUCHOWSKI, J. Z. **Visão integrada da problemática da erosão**. Curitiba: ABGE/ADEA, 1985.

BITAR, O. Y. (Coord.) **Curso de Geologia aplicada ao meio ambiente**. São Paulo: IPT/ABGE, 1995.

BOMBONATTO, C. **Enchentes: fenômeno natural e interferência humana**. Disponível em <www.tvcultura.com.br/resguia/cienci/agua1/enchente.htm>. Acesso em 20/03/1998.

BONACIM, E. A. **Dinâmica do sistema hidrogeológico cárstico na área de Tranqueira – Região Metropolitana de Curitiba**. 162 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. Curitiba: UFPR, 1996.

BRANCO, S. M. **Poluição: a morte de nossos rios**. Editora ASCETESB. 1983. São Paulo (SP). pg.47. INSTITUTO SAMUEL MURGEL BRANCO – www.ismb.org.br

CAPUTO, H. P. **Mecânica de solos e suas aplicações**. 3 ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Ed., 1977.

CARVALHO, E. T. **Erosão nos meios urbanos: prevenção e controle**. In : SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO 5., 1995, Bauru. **Anais...** Bauru : ABGE, 1995. p.33-35.

CASTRO, J. W. A.; ALHEIROS, M. M. Diagnóstico de risco de erosão costeira na Praia de Boa Viagem, Recife, PE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA 38.,1994, Balneário Camboriú. **Boletim de Resumos Expandidos**. Balneário Camboriú: SBG, 1994. p. 505-508.

CERRI, L. E. S.; AMARAL, C. P. **Riscos Geológicos**. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. Geologia de Engenharia, São Paulo: ABGE, 1998. p. 301-310.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher/EDUSP, 1974.

CONSONI, A. J.; ALMEIDA FILHO, G. S.; RIDENTE JR, J. L.; AZEVEDO, S. G. **Como não resolver dois problemas de uma só vez: erosão e lixo urbano**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO 5., 1995, Bauru. **Anais...** Bauru: ABGE, 1995. p. 423-425.

COSTA, J. **A vingança do mar.** Disponível na Internet. <www.di.ufpe.br/~mundi/numero1/ziencia/ziencia.html>. Acesso em 20/03/1998.

COTTAS, L. R. **Estudos geológicos-geotécnicos aplicados ao planejamento urbano de Rio Claro** – SP. 171 f. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo. São Paulo: USP, 1983.

CUNHA, M. A. (Coord.) **Ocupação de encostas.** São Paulo: IPT, 1991.

DOMINGUEZ, J. M. L. **Avaliação regional do problema da erosão na Região nordeste do Brasil.** Disponível em <www.pppg.ufba.br/~pgeol/lab-costa/eros.htm>. Acesso em 19/03/1998.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Atlas do meio ambiente do Brasil.** Brasília: EMBRAPA, 1994.

FELIPE, R. S.; SALAZAR JR, O.; OLIVEIRA, L. M. **Mapeamento geológico-geotécnico na região do Alto Iguaçu.** Curitiba: MINEROPAR, 1994. Convênio MINEROPAR/COMEC.

FELLENBERG, G. **Introdução aos problemas da poluição ambiental.** São Paulo: EPU, 1980.

FENDRICH, R. **Drenagem e controle da erosão urbana.** In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO 5., 1995, Bauru. **Anais...** Bauru : ABGE, 1995. p. 37-39.

FORNASARI FILHO, N. (Coord.) **Alteração no meio físico decorrente de obras de Engenharia.** São Paulo: IPT, 1992.

GIUSTI, D. A. **Contribuição à Geologia Ambiental no Município de Curitiba – PR.** Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo: USP, 1989.

HACHICH, W.; VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. **Fundações: teoria e prática.** São Paulo: Pini, 1996.

HEY, S.; MARQUES FILHO, P. L. **Noções gerais sobre solos e água subterrânea.** Curitiba: UFPR.

JOHN, L. **Ecos da Terra.** Disponível na Internet. www.agedado.com/virtual/liana/liana83.htm. Acesso em 20 /03/1998.

KUTNER, A. S. **Levantamentos sedimentológicos de apoio na pesquisa e reconhecimento de áreas portuárias.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA 1., 1976, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABGE, 1976. v.2, p. 47-55.

LINDROTH, G. **Caiobá: um modelo em proteção e recuperação das praias atacadas pela erosão marinha.** Disponível em <www.netpar.com.br/lindroth/index.htm> Acesso em 20/03/1998.

MASSAD, F. **Propriedades dos sedimentos marinhos.** In: FALCONI, F. F.; NEGRO JR., A. (Ed.). Solos no Litoral de São Paulo. São Paulo: ABMS, 1994. p. 99-128.

MENDONÇA, M. B.; MAHLER, C. F. **Aspectos microestruturais de solos colapsíveis da Bahia.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES 10., 1994, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: ABMS, 1994. v.4, p.1149-1156.

MENEZES, R. S. **O fenômeno do colapso: condicionantes e critérios de identificação.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES 10., 1994, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: ABMS, 1994. v.4, p.1325-1332.

MURCK, B. W.; SKINNER, B. J.; PORTER, S. C. **Environmental Geology.** New York: John Wiley & Sons, 1995.

NAKAZAWA, V.; FREITAS, C. G. L.; DINIZ, N. C. (Coord.) **Carta geotécnica do Estado de São Paulo.** Escala 1:500.000. São Paulo: IPT, 1994. v.1, 22 p.

OLIVEIRA, L. M. **A gestão de riscos geológicos urbanos em áreas de carste.** 46 f. Monografia (Especialista em Gestão Técnica do Meio Urbano). Curitiba: GTU/PUC/UTC, 1997.

OLIVEIRA, L. M. **Relatório de visita técnica ao Parque da Barragem.** Curitiba: MINEROPAR, 1997.

OLIVEIRA, L. M.; FELIPE, R. S. **Caracterização do meio físico da área urbana de Guarapuava.** Curitiba: MINEROPAR, 1992.

OLIVEIRA, L. M.; FELIPE, R. S.; SALAZAR JR, O. **Mapeamento geológico-geotécnico nas folhas COMEC A100, A103, A093 (Parcial).** Curitiba: MINEROPAR, 1997.

OLIVEIRA, L. M.; RIBAS, S. M. **MINEROPAR. Serviço Geológico e Pesquisa Mineral. Caracterização do meio físico da área urbana de Dois Vizinhos.** Curitiba: MINEROPAR, 1994. Convênio MINEROPAR/Prefeitura Municipal de Dois Vizinhos.

OLIVEIRA, L. M.; RIBAS, S. M. **Caracterização do meio físico da área urbana de Guaraqueçaba.** Curitiba: MINEROPAR, 1993. Convênio MINEROPAR/IBAMA/Prefeitura Municipal de Guaraqueçaba.

PICANÇO, J. L. **Caracterização do meio físico da área urbana de Apucarana (PR).** Curitiba: MINEROPAR, 1994. Convênio MINEROPAR/FAMEPAR/Prefeitura Municipal de Apucarana.

POLUIÇÃO DAS ÁGUAS CONTINENTAIS. Disponível em <www.fvirtual.pt/ambiente/agua/polui1.html>. 19/03/1998.

PRANDINI, F. L.; CARNEIRO, C. D. R.; PIRES, A. G. **Carta geotécnica dos Morros de Santos e São Vicente.** São Paulo: IPT, 1980.

PRANDINI, F. L.; NAKAZAWA, V. A. **A erosão urbana, algumas considerações.** In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROÇÃO 5., 1995, Bauru. **Anais...** Bauru: ABGE, 1995. p.95.

REPETTO, F. L.; KAREZ, C. S. **Aspectos geológicos de protecção ambiental.** Campinas: UNICAMP, 1995.

SALAZAR JR, O.; OLIVEIRA, L. M.; FELIPE, R. S.; RIBAS, S. M. **Mapeamento geológico-geotécnico nas Folhas COMEC A137, A138, A139 a A140.** Curitiba: MINEROPAR, 1996. Convênio MINEROPAR/COMEC.

SANTOS, A. M.; OLIVEIRA, S. N. A. B. (Coord.) **Geologia de Engenharia.** São Paulo: ABGE, 1998.

SÃO PAULO. Secretaria de Energia e Saneamento. **Controle de erosão. Bases conceituais e técnicas; diretrizes para o planejamento urbano e regional.** 2 ed. São Paulo: DAEE/IPT, 1989.

SOARES, C. R. **Parecer sobre a engorda de praia a ser realizada pelo Governo do Estado do Paraná no Município de Matinhos.** Pontal do Sul: Centro de Estudos do Mar, 1998.

SOARES, C. R. **Parecer técnico sobre as possíveis áreas de despejo de material a ser dragado para o aprofundamento do canal de acesso à região de Antonina (Baía de Paranaguá – PR).** Pontal do Sul: Centro de Estudos do Mar, 1997 a.

SOARES, C. R.; ANGULO, R. J.; LESSA, G. C. **Morfodinâmica de ambientes atuais, evolução da planície durante o quaternário e problemas de erosão costeira.** Curitiba: ABEQUA, 1997 b.

SOUZA, C. R. G. **Cartografia de risco a inundação no Litoral Paulista: o exemplo do Município de São Sebastião.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA. 2., 1996, São Carlos. **Anais...** São Carlos: ABGE, 1996. p.139-145.

STEIN, D. P. **Diagnóstico de erosão.** In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROÇÃO. 5., 1995, Bauru. **Anais...** Bauru: ABGE, 1995. p.55-57.

SUGUIO, K.; MARTIN, L. **Geologia do quaternário.** In: FALCONI, F. F.; NEGRO JR., A. (Ed.). **Solos no Litoral de São Paulo.** São Paulo: ABMS, 1994. p. 69-98.

TEIXEIRA, A. H. **Fundações rasas na Baixada Santista.** In: FALCONI, F. F.; NEGRO, JR., A. (Ed.). **Solos no Litoral de São Paulo.** São Paulo: ABMS, 1994. p.137-154.

THE AMERICAN INSTITUTE OF PROFESSIONAL GEOLOGIST. **The citizen's guide to geological hazards.** Arvada: AIPG, 1993.

TOMMASI, L. R. **Estudo de impacto ambiental.** São Paulo: CETESB, 1993.

TUCCI, C. E. M. (Org.) **Hidrologia: ciência e aplicação.** Porto Alegre: Ed. Da Universidade, 1993.

ZUQUETTE, L. V. **Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico : fundamentos e guia para elaboração. V. 2. (Mestrado em geotecnia),** – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1993.

