



Organizadores:  
Lídia Keiko Tominaga  
Jair Santoro  
Rosângela do Amaral



O Livro “Desastres Naturais: conhecer para prevenir” busca disseminar o conhecimento sobre os diversos processos naturais ou induzidos pelo homem com possibilidade de ocorrência no Estado de São Paulo, como escorregamentos, erosão, inundação, colapso e subsidência, temporais, etc.

Esta publicação foi elaborada por pesquisadores do Instituto Geológico, agregando o conhecimento em estudos relacionados à temática, bem como a experiência em atendimentos de situações emergenciais de risco, avaliações e mapeamento destes riscos.

O conteúdo apresentado justifica-se dada a tendência atual de aquecimento global com conseqüente aumento de extremos climáticos. Esta configuração torna o ambiente propício à ocorrência de desastres naturais, especialmente quando se associam às condições de vulnerabilidade das ocupações urbanas e a problemas relacionados ao gerenciamento de desastres.

Esperamos que a leitura desta obra possa contribuir para reduzir e minimizar as conseqüências dos desastres naturais e, assim, atingir o objetivo proposto no título: “conhecer para prevenir”.

Os organizadores

## DESASTRES NATURAIS

### Conhecer para prevenir

DESASTRES NATURAIS: conhecer para prevenir



Instituto Geológico  
Secretaria do Meio Ambiente  
Governo do Estado de São Paulo

# **Desastres Naturais: conhecer para prevenir**



**Governo do Estado de São Paulo**  
Geraldo Alckmin – Governador

**Secretaria de Estado do Meio Ambiente**  
Patrícia Iglecias – Secretária

**Instituto Geológico**  
Ricardo Vedovello – Diretor Geral

# Desastres Naturais: conhecer para prevenir

Organizadores

**Lídia Keiko Tominaga**

**Jair Santoro**

**Rosangela do Amaral**

3ª edição

São Paulo

INSTITUTO GEOLÓGICO

2015

Catálogo na Fonte  
INSTITUTO GEOLÓGICO

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do Instituto Geológico

---

T595 Tominaga, Lídia Keiko; Santoro, Jair; Amaral, Rosângela do (Orgs)

Desastres naturais: conhecer para prevenir / Organizadores Lídia Keiko Tominaga, Jair Santoro, Rosângela do Amaral – 3ª ed. - São Paulo : Instituto Geológico, 2015.

196 p. : il. ; color. ; 24

ISBN 978-85-87235-09-1

1. Desastres naturais. 2. Prevenção. 3. Gerenciamento. I. Título.

CDD 363.7

---

Dedicamos este trabalho aos agentes das defesas civis municipais e voluntários que, a qualquer hora do dia ou da noite, mesmo diante de intempéries, estão dispostos a atender aos chamados dos moradores de áreas de risco para verificar as condições de segurança.

## EQUIPE TÉCNICA

### ORGANIZAÇÃO

Lídia Keiko Tominaga  
Jair Santoro  
Rosângela do Amaral

### AUTORIA

Celia Regina de Gouveia Souza  
Daniela Girio Marchiori Faria  
Jair Santoro  
Lídia Keiko Tominaga  
Renato Tavares  
Rodolfo Moreda Mendes  
Rogério Rodrigues Ribeiro  
Rosângela do Amaral  
William Sallun Filho

### REVISÃO TÉCNICA

Maria José Brollo  
Cláudio José Ferreira

### DIAGRAMAÇÃO PRELIMINAR

Vanessa Honda Ogihara (estagiária)

### ILUSTRAÇÃO

Raphael Galassi Amorim (estagiário)  
Vanessa Honda Ogihara (estagiária)

### PRODUÇÃO EDITORIAL

Sandra Moni de Souza

### COLABORAÇÃO

Gisele dos Reis Manoel (estagiária)  
Jessika Flückiger Dupre Rabello (estagiária)  
Maiara Larissa dos Santos (estagiária)

### EDITORAÇÃO, CTP, IMPRESSÃO E ACABAMENTO

Imprensa Oficial do Estado de São Paulo

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenadoria Estadual de Defesa Civil pelo fornecimento dos dados relativos aos atendimentos emergenciais do Estado de São Paulo, à Giovana Parizzi (UFMG) pela disponibilização de fotos referentes a escorregamentos em Minas Gerais e ao Ney Ikeda (DAEE) pela disponibilização de fotos de inundações ocorridas no Vale do Ribeira.

## SUMÁRIO

<b>APRESENTAÇÃO</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO 1</b> – Desastres Naturais: por que ocorrem ? Lídia Keiko Tominaga	<b>11</b>
<b>CAPÍTULO 2</b> - Escorregamentos Lídia Keiko Tominaga	<b>25</b>
<b>CAPÍTULO 3</b> - Inundação e Enchentes Rosângela do Amaral e Rogério Rodrigues Ribeiro	<b>39</b>
<b>CAPÍTULO 4</b> - Erosão Continental Jair Santoro	<b>53</b>
<b>CAPÍTULO 5</b> - Erosão Costeira Celia Regina de Gouveia Souza	<b>71</b>
<b>CAPÍTULO 6</b> - Colapso e Subsidência de Solos Rodolfo Moreda Mendes	<b>85</b>
<b>CAPÍTULO 7</b> - Subsidência e Colapso em Terrenos Cársticos William Sallun Filho	<b>99</b>
<b>CAPÍTULO 8</b> - Clima, Tempo e Desastres Renato Tavares	<b>111</b>
<b>CAPÍTULO 9</b> - Análise e Mapeamento de Risco Lídia Keiko Tominaga	<b>147</b>
<b>CAPÍTULO 10</b> - Gerenciamento de Desastres Naturais Daniela Girio Marchiori Faria e Jair Santoro	<b>161</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>179</b>
<b>AUTORES</b>	<b>193</b>



## APRESENTAÇÃO

Os desastres naturais têm recorrência e impactos cada vez mais intensos nos dias de hoje, sendo responsáveis por expressivos prejuízos de caráter não apenas ambiental, mas também econômico e social.

Além disso, constituem um tema cada vez mais presente no cotidiano das pessoas, inclusive daquelas que não residem em áreas de risco. Isso porque, embora num primeiro momento o termo nos leve a associá-lo com tsunamis, erupções vulcânicas e furacões, desastres naturais contemplam, igualmente, processos e fenômenos mais comuns, que podem ocorrer espontaneamente ou serem induzidos pelo homem, tais como deslizamentos, inundações, erosões e subsidências.

No Brasil, e mais especificamente no Estado de São Paulo, embora estejamos livres dos fenômenos considerados de grande magnitude, são comuns os registros de desastres associados, principalmente, a escorregamentos e inundações, os quais, não raro, ganham contornos de tragédia em função das perdas de vidas humanas.

A presente publicação é a primeira do país a reunir, em um único volume, os diversos aspectos que compõem as ações de prevenção de desastres naturais. E mais, apresenta conceitos, terminologias, métodos de análise e aplicações que possibilitam um entendimento dos cenários favoráveis à ocorrência de acidentes e desastres, além de subsidiar os agentes envolvidos na avaliação, gerenciamento e intervenções de áreas de risco ou potencialmente perigosas. Para tanto, foram considerados os processos e fenômenos tipicamente brasileiros, com ênfase naqueles de maior ocorrência no Estado de São Paulo.

Assim, o capítulo inicial traz o conceito e a classificação dos desastres naturais, apresentando, ainda, um panorama geral de sua ocorrência. Na sequência, são apresentados nos capítulos 2 a 8 os principais fenômenos geoambientais relacionados aos desastres naturais, seus mecanismos e as medidas de prevenção. No capítulo 9, são abordados os conceitos básicos de perigo e risco e os métodos empregados na sua análise e mapeamento, instrumentos técnicos fundamentais tanto na prevenção quanto na gestão de desastres naturais. Por fim, o último capítulo contempla ações específicas, retratando as práticas da União, Estados e Municípios na área, com destaque para os planos desenvolvidos em São Paulo.

O Livro *Desastres Naturais: conhecer para prevenir* é resultado da experiência de técnicos e pesquisadores do Instituto Geológico (IG) e da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SMA), que há mais de vinte anos desenvolvem estudos e atividades sobre o tema.

A atuação do IG tem se ampliado e consolidado a cada ano, permitindo que a instituição desempenhasse um papel de destaque em episódios ocorridos não apenas no Estado, mas no país como um todo, dentre eles: Santa Catarina (2008), Guarujá (2009), Cunha, São Luís do Paraitinga e Alagoas (2010), Mauá (2011), Campos do Jordão e Cubatão (2013) e em Itaóca (2014).

Mas a experiência do IG não se resume ao apoio à prevenção e à mitigação de desastres, estendendo-se às ações e instrumentos de gestão ambiental e de ordenamento territorial do Estado, implantados no âmbito da SMA.

Com esta publicação, esperamos contribuir para que técnicos, gestores e público em geral possam obter uma visão abrangente de processos perigosos, impactos possíveis, formas de análise, instrumentos de gestão e ações mitigadoras que se aplicam à prevenção de desastres naturais.

Por fim, é importante ressaltar que esta publicação integra um conjunto de materiais de divulgação sobre o tema, voltados a diversos públicos e faixas etárias, com o intuito de que todos os cidadãos possam ser cada vez mais atuantes na preservação e conservação do meio ambiente.

**Patrícia Iglecias**

Secretária do Meio Ambiente  
do Estado de São Paulo

**Ricardo Vedovello**

Diretor Geral do Instituto Geológico

# Capítulo 1

## Desastres Naturais: Por que ocorrem?

Lídia Keiko Tominaga

“O homem é parte da natureza e sua guerra contra a natureza é inevitavelmente uma guerra contra si mesmo... Temos pela frente um desafio como nunca a humanidade teve, de provar nossa maturidade e nosso domínio, não da natureza, mas de nós mesmos”  
(Rachel Carson – Primavera Silenciosa)



Morro do Baú, Município de Luis Alves, SC, 2008. Fonte: Acervo IG.



## CAPÍTULO 1

### DESASTRES NATURAIS: POR QUE OCORREM?

A relação do homem com a natureza ao longo da história evoluiu de uma total submissão e aceitação fatalista dos fenômenos da natureza a uma visão equivocada de dominação pela tecnologia. As inundações que ultrapassaram e romperam diques e barragens em New Orleans, por ocasião do Furacão Katrina em 2005, nos Estados Unidos e o terremoto de Kobe no Japão em 1995, com milhares de vítimas e pessoas afetadas, são exemplos que demonstram que muitas vezes os fenômenos naturais surpreendem até mesmo as nações mais bem preparadas para enfrentá-los. Obviamente os avanços tecnológicos permitem hoje que a humanidade enfrente melhor os perigos decorrentes destes fenômenos. Assim, esta publicação visa destacar que, para a efetiva prevenção dos fenômenos naturais, as leis da natureza devem ser respeitadas. Ou seja, estes fenômenos devem ser bem conhecidos quanto à sua ocorrência, mecanismos e medidas de prevenção.

Os desastres naturais podem ser provocados por diversos fenômenos, tais como, inundações, escorregamentos, erosão, terremotos, tornados, furacões, tempestades, estiagem, entre outros. Além da intensidade dos fenômenos naturais, o acelerado processo de urbanização verificado nas últimas décadas, em várias partes do mundo, inclusive no Brasil, levou ao crescimento das cidades, muitas vezes em áreas impróprias à ocupação, aumentando as situações de perigo e de risco a desastres naturais.

Além disso, diversos estudos indicam que a variabilidade climática atual, com tendência para o aquecimento global, está associada a um aumento de extremos climáticos. Nesta situação, os eventos de temporais, de chuvas intensas, de tornados ou de estiagens severas, entre outros, podem tornar-se mais frequentes, aumentando a possibilidade de incidência de desastres naturais.

#### 1.1. O que são desastres naturais?

Quando os fenômenos naturais atingem áreas ou regiões habitadas pelo homem, causando-lhe danos, passam a se chamar desastres naturais.

A conceituação adotada pela UN-ISDR (2009) considera **desastre** como uma grave perturbação do funcionamento de uma comunidade ou de uma sociedade envolvendo perdas humanas, materiais, econômicas ou ambientais de grande extensão, cujos impactos excedem a capacidade da comunidade ou da sociedade afetada de arcar com seus próprios recursos. Os critérios objetivos adotados no Relatório Estatístico Anual do EM-DAT (Emergency Disasters Data Base) sobre Desastres de 2007 (Scheuren, *et. al.* 2008) consideram a ocorrência de pelo menos um dos seguintes critérios:

- 10 ou mais óbitos;
- 100 ou mais pessoas afetadas;
- declaração de estado de emergência;
- pedido de auxílio internacional.

No Glossário da Defesa Civil Nacional, **desastre** é tratado como sendo “resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um ecossistema (vulnerável), causando danos humanos, materiais e/ou ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais. A intensidade de um desastre depende da interação entre a magnitude do evento adverso e o grau de vulnerabilidade do sistema receptor afetado” (Castro, 1998).

Desastres naturais podem ser definidos como o resultado do impacto de fenômenos naturais extremos ou intensos sobre um sistema social, causando sérios danos e prejuízos que excede a capacidade da comunidade ou da sociedade atingida em conviver com o impacto.

(Tobin e Montz, 1997; Marcelino, 2008).

## 1.2. Classificação dos desastres

As classificações mais utilizadas distinguem os desastres quanto à origem e à intensidade (Alcântara-Ayala, 2002; Marcelino, 2008).

### Classificação quanto à origem

Quanto à origem ou causa primária do agente causador, os desastres podem ser classificados em: naturais ou humanos (antropogênicos). **Desastres Naturais** são aqueles causados por fenômenos e desequilíbrios da natureza que atuam independentemente da ação humana. Em geral, considera-se como desastre natural todo aquele que tem como gênese um fenômeno natural de grande intensidade, agravado ou não pela atividade humana. Exemplo: chuvas intensas provocando inundação, erosão e escorregamentos; ventos fortes formando vendaval, tornado e furacão; etc. **Desastres Humanos ou Antropogênicos** são aqueles resultantes de ações ou omissões humanas e estão relacionados com as atividades do homem, como agente ou autor. Exemplos: acidentes de trânsito, incêndios urbanos, contaminação de rios, rompimento de barragens, etc (Alcântara-Ayala, 2002; Castro, 1999; Kobiyama *et al.* 2006; Marcelino, 2008).

Os desastres naturais podem ser ainda originados pela dinâmica interna e externa da Terra. Os decorrentes da dinâmica interna são terremotos, maremotos, vulcanismo e tsunamis. Já os fenômenos da dinâmica externa envolvem tempestades, tornados, inundações, escorregamentos, entre outros.

### Classificação quanto à intensidade

A avaliação da intensidade dos desastres é muito importante para facilitar o planejamento da resposta e da recuperação da área atingida. As ações e os recursos necessários para socorro às vítimas dependem da intensidade dos danos e prejuízos provocados (Tabela 1.1).

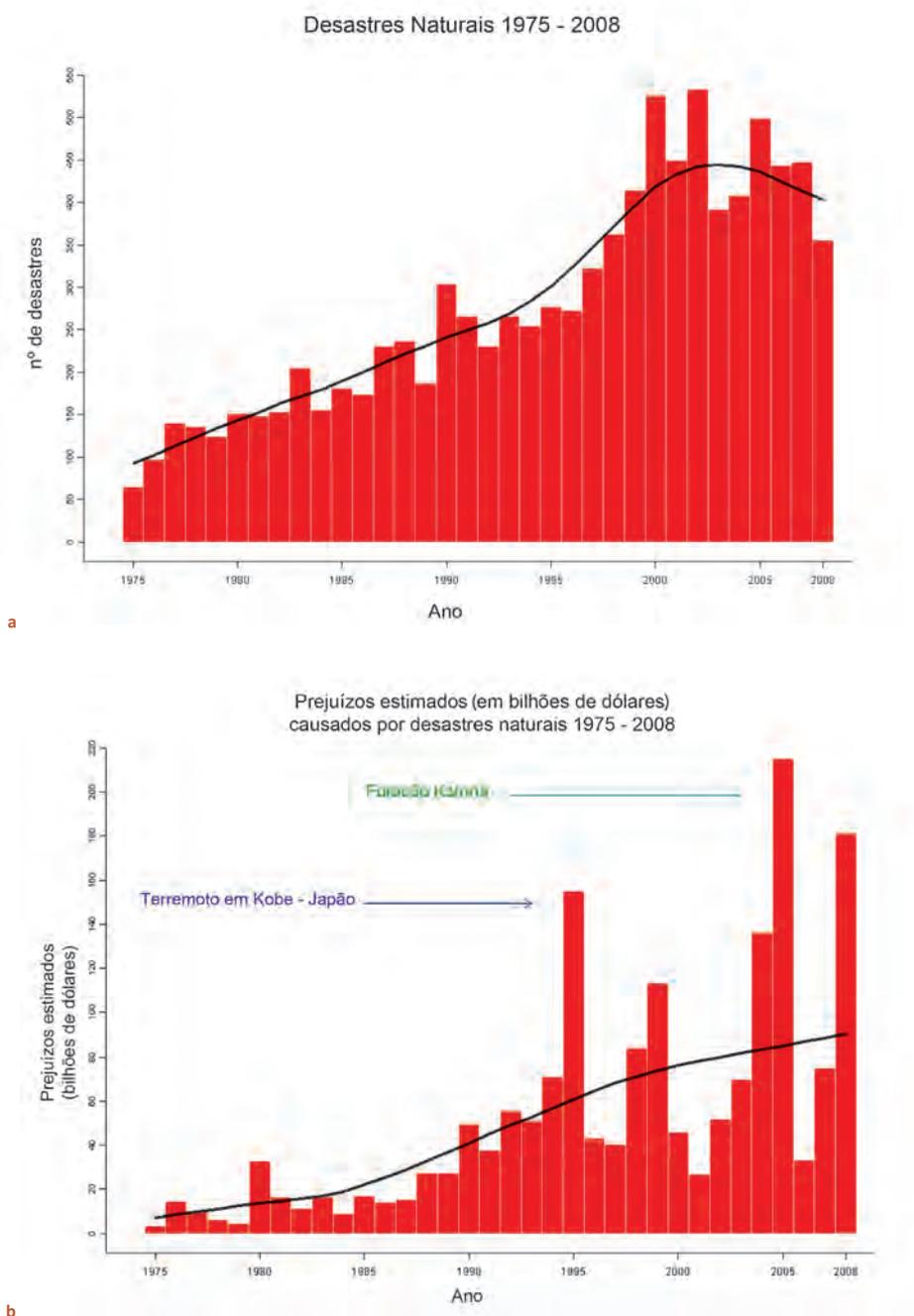
**Tabela 1.1.** Classificação dos desastres em relação à intensidade (modificado de Kobiyama *et al*, 2006).

Nível	Intensidade	Situação
I	Desastres de pequeno porte, também chamados de <u>acidentes</u> , onde os impactos causados são pouco importantes e os prejuízos pouco vultosos. (Prejuízo menor que 5% PIB municipal)	Facilmente superável com os recursos do município.
II	De média intensidade, onde os impactos são de alguma importância e os prejuízos são significativos, embora não sejam vultosos. (Prejuízos entre 5% e 10% PIB municipal)	Superável pelo município, desde que envolva uma mobilização e administração especial.
III	De grande intensidade, com danos importantes e prejuízos vultosos. (Prejuízos entre 10% e 30% PIB municipal)	A situação de normalidade pode ser restabelecida com recursos locais, desde que complementados com recursos estaduais e federais. <b>(Situação de Emergência – SE)</b>
IV	De muito grande intensidade, com impactos muito significativos e prejuízos muito vultosos. (Prejuízos maiores que 30% PIB municipal)	Não é superável pelo município, sem que receba ajuda externa. Eventualmente necessita de ajuda internacional. <b>(Estado de Calamidade Pública – ECP)</b>

### 1.3. Desastres naturais no mundo

Em âmbito mundial, tem-se verificado, nas últimas décadas, um aumento das ocorrências de desastres naturais e dos prejuízos decorrentes (Figura 1.1). Constata-se uma tendência global para o significativo incremento do número de desastres a partir da década de 70 que, conforme EM-DAT (2009) passou de 50 registros por ano para 350 em 2008, tendo chegado a 500 em 2005. Segundo esta mesma fonte, os prejuízos estimados, que em 1975, eram de aproximadamente 5 bilhões de dólares, passaram a 180 bilhões em 2008. Em 2005, ano do Furacão Katrina nos Estados Unidos, o prejuízo atingiu 210 bilhões de dólares.

As populações em risco têm apresentado um crescimento anual em torno de setenta a oitenta milhões de pessoas, sendo que, mais de noventa por cento dessa população encontra-se nos países em desenvolvimento, com as menores participações dos recursos econômicos e maior carga de exposição ao desastre (Figura 1.2). Em teoria, os perigos naturais ameaçam igualmente qualquer pessoa, mas na prática, proporcionalmente, atingem os mais desfavorecidos, devido a uma conjunção de fatores: há um número muito maior de população de baixa renda, vivendo em moradias mais frágeis, em áreas mais densamente povoadas e em terrenos de maior suscetibilidade aos perigos. Assim, a estratégia de redução de desastres precisa ser acompanhada do desenvolvimento social e econômico e de um criterioso gerenciamento ambiental. Portanto, deve ser construída com políticas de desenvolvimento sustentável que levem em conta os perigos existentes e os planos para redução dos riscos (Alcantara-Ayala, 2002; UN-ISDR, 2004).

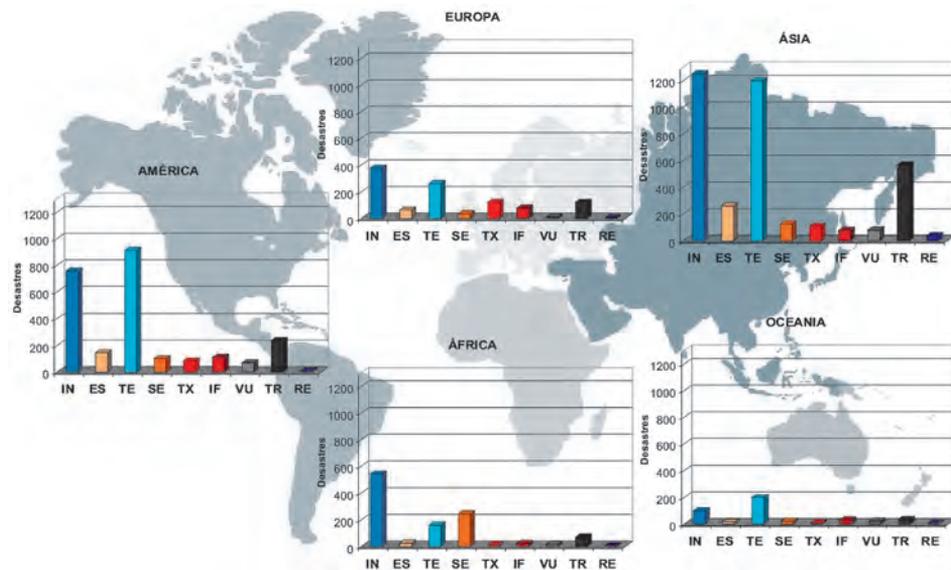


**Figura 1.1** - Evolução do crescimento mundial (1975 a 2008) no número de ocorrências de desastres naturais (a) e dos prejuízos estimados em bilhões de dólares (b). Fonte: EM-DAT (2009).

A década de 1990, declarada pelas Nações Unidas, como a Década Internacional para Redução de Desastres Naturais (*International Decade for Natural Disaster Reduction – IDNDR*), foi dedicada à promoção de soluções para redução do risco decorrente de perigos naturais, fortalecendo os programas de prevenção e redução de acidentes naturais. Uma das ações derivada da *IDNDR* foi a implantação da Estratégia Internacional para Redução de Desastres (*International Strategy for Disaster Reduction – ISDR*), voltada para promover maiores envolvimento e comprometimentos públicos, disseminação de conhecimentos e parcerias para implementar medidas de redução de riscos. Hoje, há um crescente reconhecimento que enquanto esforços humanitários ainda são importantes e necessitam de atenção continuada, a avaliação e a mitigação dos riscos e das vulnerabilidades são fatores fundamentais a serem considerados na redução dos impactos negativos dos perigos e desta maneira são essenciais para a implantação do desenvolvimento sustentável (UN-ISDR, 2004).

Uma das explicações do grande desequilíbrio entre prevenção e resposta de urgência, conforme observado por Veyret (2007), é que as ações de redução de riscos não oferecem a mesma visibilidade às políticas de organismos oficiais nacionais e internacionais, arrecadadores de fundos, em relação aos programas de atendimentos emergenciais, os quais normalmente têm grande exposição na mídia.

Atualmente, as Nações Unidas por meio da *ISDR*, focam muito na questão da vulnerabilidade que é um estado determinado pelas condições físicas, sociais, econômicas e ambientais, as quais podem aumentar a suscetibilidade de uma comunidade ao impacto de eventos perigosos. Uma vez que o perigo de ocorrer um determinado desastre natural em geral, já é conhecido e, muitas vezes inevitável, o objetivo é minimizar a exposição



**Figura 1.2** - Distribuição dos tipos de desastres naturais no mundo, período 1900-2006 (Marcelino, 2007).  
 Legenda: IN – inundação, ES – escorregamento, TE – tempestades (furacões, tornados e vendavais), SE – secas, TX – temperatura extrema, IF – incêndios florestais; TR – terremoto; VU - vulcanismo; RE - ressaca.

ao perigo por meio do desenvolvimento de capacidades individuais, institucionais e da coletividade que possam contrapor-se aos perigos e aos danos. O papel da participação comunitária e da capacidade de enfrentamento da população é considerado elemento chave no entendimento do risco de desastre (UN-ISDR, 2004).

#### 1.4. Desastres naturais no Brasil

No Brasil, os principais fenômenos relacionados a desastres naturais são derivados da dinâmica externa da Terra, tais como, inundações e enchentes, escorregamentos de solos e/ou rochas e tempestades (Figura 1.3). Estes fenômenos ocorrem normalmente associados a eventos pluviométricos intensos e prolongados, nos períodos chuvosos que correspondem ao verão na região sul e sudeste e ao inverno na região nordeste.

De acordo com EM-DAT, o Brasil encontra-se entre os países do mundo mais atingidos por inundações e enchentes, tendo registrado 94 desastres cadastrados (segundo os critérios já comentados) no período de 1960 a 2008, com 5.720 mortes e mais de 15 milhões de pessoas afetadas (desabrigados/desalojados). Considerando somente os desastres hidrológicos que englobam inundações, enchentes e movimentos de massa, em 2008 o Brasil esteve em 10º lugar entre os países do mundo em número de vítimas de desastres naturais, com 1,8 milhões de pessoas afetadas (OFDA/CRED, 2009).

Quanto aos fenômenos da dinâmica interna, o Brasil caracteriza-se por uma fraca atividade na ocorrência de tremores, que em sua maioria, são de baixa magnitude variando entre 2º e 4º na escala Richter. No entanto, já foram registrados no país, tremores de magnitudes maiores, como em 1955 no Estado do Mato Grosso, de 6,6º (escala Richter) e 6,3º no mesmo ano no litoral do Estado do Espírito Santo. Como ocorreram em regiões desabitadas não provocaram danos. Em geral, no Brasil são pouco frequentes os danos associados a tremores. Porém, em 2007, no município de Itacarambi (MG), ocorreu um terremoto (4,9º na escala Richter) que provocou, provavelmente por falta de preparo para o enfrentamento destas situações no Brasil, uma morte e pelo menos 6 feridos, além de derrubar 5 casas e danificar



Figura 1.3 - Distribuição por região dos desastres atendidos pela Defesa Civil Nacional (SEDEC, 2009).

outras 60. Outro exemplo, sem danos, foi o abalo sísmico que atingiu a cidade de São Paulo no dia 22 de Abril de 2008, cujo epicentro (local de projeção na superfície de origem) ocorreu no Oceano Atlântico a 215 km do município de São Vicente, e foi sentido também nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio de Janeiro. Dos estados brasileiros, o Ceará é o que tem registrado maior número de ocorrências de sismos (Hansen *et al.* 2008).

Seguindo a tendência mundial, constata-se também no Brasil um crescimento significativo das ocorrências de desastres naturais a partir de 1960, uma vez que do total de 289 ocorrências registradas pelo EM-DAT, no período de 1900 a 2009 (até o 1º trimestre de 2009), em torno de 70% são posteriores a 1.960. Entretanto, os dados do EM-DAT para o Brasil estão longe da realidade, como já haviam observado Marcelino *et al.* (2006) que apontaram discrepâncias nestes dados. Nos registros do EM-DAT constam 89 eventos para o Brasil, no período de 1980 a 2003, enquanto somente no Estado de Santa Catarina foram computados 3.373 desastres naturais no mesmo período. No banco de dados da Defesa Civil de Santa Catarina são registradas apenas as ocorrências que levaram os municípios a decretarem Situação de Emergência (SE) ou Estado de Calamidade Pública (ECP), os quais são compatíveis com os critérios do EM-DAT. Portanto, se forem considerados também os acidentes que envolvem danos menores, estes números podem ser muito maiores.

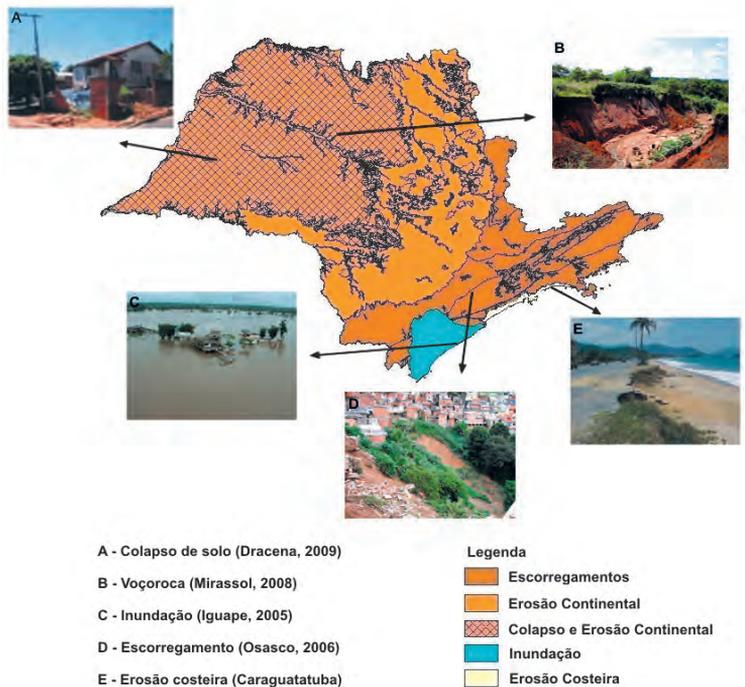
Este aumento na incidência de desastres naturais é considerado por diversos autores como consequência do intenso processo de urbanização verificado no país nas últimas décadas, que levou ao crescimento desordenado das cidades em áreas impróprias à ocupação, devido às suas características geológicas e geomorfológicas desfavoráveis. As intervenções antrópicas nestes terrenos, tais como, desmatamentos, cortes, aterros, alterações nas drenagens, lançamento de lixo e construção de moradias, efetuadas, na sua maioria, sem a implantação de infraestrutura adequada, aumentam os perigos de instabilização dos mesmos. Quando há um adensamento destas áreas por moradias precárias, os desastres associados aos escorregamentos e inundações assumem proporções catastróficas causando grandes perdas econômicas e sociais (Fernandes *et al.*, 2001; Carvalho & Galvão, 2006; Lopes, 2006; Tominaga, 2007).

Este fato é também corroborado por Maffra e Mazzola (2007) que observaram que no Brasil há uma estreita relação entre o avanço da degradação ambiental, a intensidade do impacto dos desastres e o aumento da vulnerabilidade humana.

Os municípios mais atingidos por desastres naturais localizam-se nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Espírito Santo, Santa Catarina, Paraná, Bahia, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Paraíba e Ceará (Kobiyama *et al.* 2006; Carvalho & Galvão 2006).

### 1.5. Ocorrências de acidentes e desastres naturais no Estado de São Paulo

Os acidentes e desastres naturais no Estado de São Paulo estão associados predominantemente aos escorregamentos de encostas, inundações, erosão acelerada e tempestades (ventanias, raios e granizo). A Figura 1.4 mostra que a maior parte do estado (porção central e oeste) apresenta suscetibilidade à erosão, sendo que na região oeste ocorrem também os colapsos de solos; na região leste do estado predominam os processos de escorregamentos e inundações. Enchentes e inundações ocorrem em todo estado, ao longo dos principais cursos d'água. Entretanto, as regiões do Vale do Ribeira



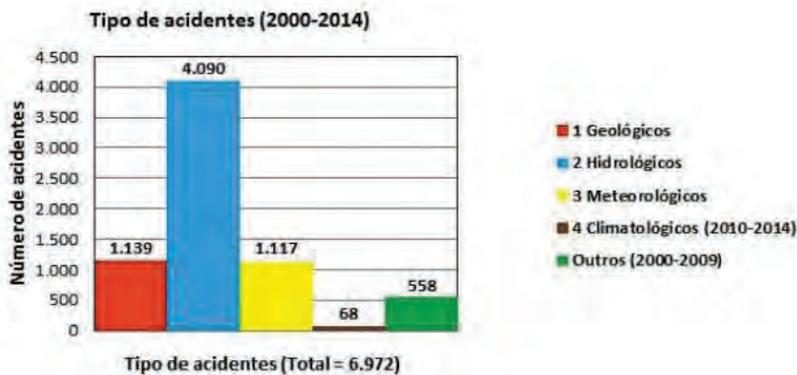
**Figura 1.4** - Suscetibilidade aos principais processos associados a desastres naturais no Estado de São Paulo. Fonte: fotos A, B, D e E – Acervo IG; foto C – Ney Ikeda (DAEE).

e Litoral Sul, por receberem mais chuvas do tipo frontal, que podem ser muito intensas e de longa duração, produzindo grandes volumes de escoamento superficial, atingem maior número de pessoas, entre desabrigados e desalojados. Além disso, as características morfológicas da bacia também favorecem a ocorrência de grandes cheias. As inundações nesta região atingem vários municípios, muitos dos quais já tiveram que decretar situação de emergência ou estado de calamidade pública (Ikeda & Bertagnoli, 2000). De acordo com informações da Coordenadoria Estadual de Defesa Civil (CEDEC, 2009), dos vinte e nove municípios paulistas que decretaram Situação de Emergência, no primeiro semestre de 2009, sete (em torno de 25%) são da Região do Vale do Ribeira. Por outro lado, é a Região Metropolitana de São Paulo que, segundo dados da CEDEC, tem tido maior número de óbitos em consequência de enchentes e inundações, provavelmente devido ao adensamento populacional, dentre outros fatores.

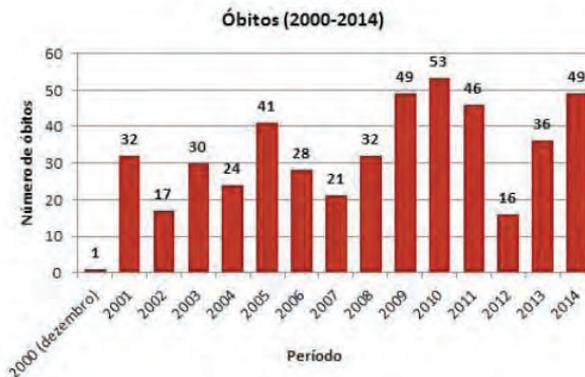
Apesar da dificuldade de se obter informações de ocorrências de desastres naturais no Estado de São Paulo, a Coordenadoria Estadual de Defesa Civil (CEDEC) iniciou em 2000, a organização dos dados de atendimentos efetuados durante as Operações de Verão (vide Cap. 10), implantada anualmente, durante os meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março. Assim, desde o ano 2000, a CEDEC vem cadastrando os atendimentos e vistorias emergenciais relacionados a acidentes diversos, incluindo escorregamentos, erosão, inundação e processos similares (enchentes, transbordamentos de rios, alagamentos), dentre outros (raios, chuvas fortes, vendavais, desabamentos de casas, etc). Em 2010, o Instituto Geológico

iniciou a organização de um banco de dados de desastres naturais mais abrangente, com informações obtidas no Sistema Integrado de Defesa Civil (SIDEV) da CEDEC e de notícias veiculadas na internet (IG-SMA 2015).

No intervalo de 2000 a 2014, foram registrados 6.972 acidentes, relacionados aos vários tipos de fenômenos, sendo: em torno de 59% (4.090) eventos hidrológicos (inundações, enchentes e alagamentos), 16% (1.139) eventos geológicos (escorregamentos, erosão) 16% (1.117) eventos meteorológicos (temporais, raios, vendavais, granizo, etc), 1% (68) eventos climatológicos (seca, geadas, etc) e 8% (558) de acidentes diversos (chuvas fortes, vendavais, desabamentos de casas e muros, etc) (Figura 1.5). Os danos identificados referem-se a número de óbitos (475 registros), número de pessoas afetadas que envolvem desabrigados e desalojados (304.313 registros) e, a partir de 2010, número de edificações afetadas (90.664)(Figuras 1.6, 1.7 e 1.8). A Região do Alto Tietê que engloba a Região Metropolitana de São Paulo apresentou, neste período, o maior número de acidentes (2.254) e de óbitos (179). Em relação ao número de pessoas afetadas, a Região do Vale do Paraíba do Sul atingiu maior número, com 85.113 pessoas, na maior parte em consequência de inundações (Brollo *et al*, 2015).



**Figura 1.5** - Número e tipos de acidentes registrados no Estado de São Paulo, no período de 2000 a 2014 (CEDEC, 2014; IG-SMA, 2015). Org. Maria José Brollo.



**Figura 1.6** - Número de óbitos registrados no Estado de São Paulo, no período de 2000 a 2014 (CEDEC, 2014; IG-SMA, 2015). Org. Maria José Brollo.

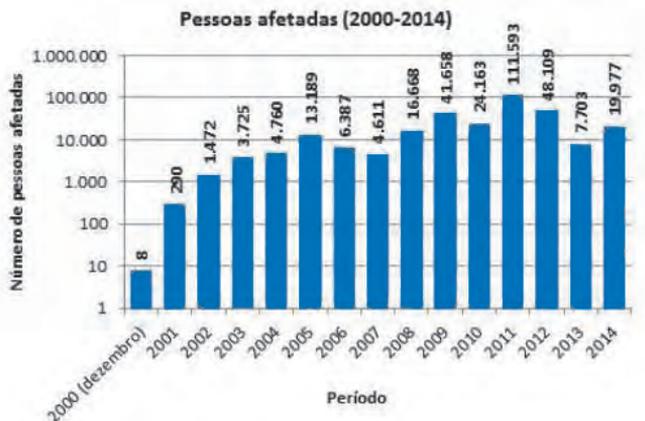


Figura 1.7 - Número de afetados (desabrigados/desalojados), no período de 2000 a 2014 (CEDEC, 2015). Org. Maria José Brollo.

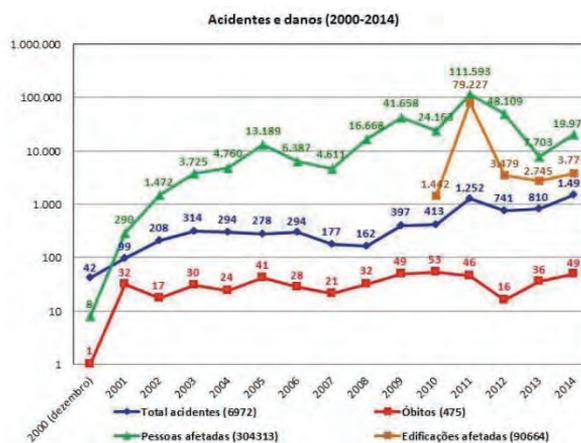


Figura 1.8 - Número de acidentes e danos registrados no período de 2000 a 2014 (CEDEC, 2015). Org. Maria José Brollo.

## 1.6. Considerações finais

As ações emergenciais de enfrentamento dos riscos decorrentes dos desastres naturais são coordenadas e executadas pelo Sistema de Defesa Civil, estruturado em nível federal, estadual e municipal. Desta forma, há uma estrutura organizacional com diretrizes e planos de ação para os atendimentos emergenciais em todo território nacional. Entretanto, as ações de prevenção aos desastres naturais não têm o mesmo tratamento, ficando em segundo plano. Como observado por Carvalho & Galvão (2006), no Brasil, apesar de já se dispor de conhecimentos técnicos desenvolvidos por universidades e institutos de pesquisa para dar suporte técnico às ações de prevenção de riscos urbanos, ainda é reduzido o número de municípios que contemplam a gestão de riscos em seus planos de desenvolvimento urbano.

Em relação aos dados de ocorrência de desastres naturais no Brasil, a ausência de um banco de dados nacional, dificulta a compreensão do comportamento dos desastres naturais e suas consequências, conforme já apontado por Marcelino *et al.* (2006). As falhas verificadas por estes autores nos dados brasileiros registrados pelo EM-DAT são bastante significativas. Isto mostra a urgente necessidade de se organizar os dados referentes aos desastres naturais em âmbito estadual e nacional, para que se tenha um quadro da realidade brasileira e as informações necessárias para a prevenção e gestão destes desastres.

Outra questão que deve ser enfatizada é quanto à necessidade de respeitar e fazer respeitar, por meio da fiscalização, a legislação ambiental, uma vez que as áreas de preservação permanente (APPs), que abrangem as margens de corpos d'água (rios, lagos, lagoas), as encostas íngremes e os topos de morros são naturalmente suscetíveis à inundação e escorregamentos, com potencial de se tornarem áreas de risco, ao serem ocupadas.

Esta publicação foi elaborada com o objetivo de disseminar o conhecimento dos fenômenos associados aos desastres naturais, bem como das medidas preventivas para evitar ou reduzir seus danos, procurando, assim, contribuir com as ações de gestão de risco e principalmente de prevenção de riscos urbanos em âmbito municipal e nas demais esferas do poder público.

### **Bibliografia recomendada**

- CARVALHO, C. S. & GALVÃO, T. (Org) 2006. Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais. Brasília: Ministério das Cidades; Cities Alliance, 2006.
- CASTRO, A. L. C. 1999. Manual de planejamento em defesa civil. Vol.1. Brasília: Ministério da Integração Nacional/ Departamento de Defesa Civil. 133 p.
- KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D.A.; MARCELINO, I.P.V.O; MARCELINO, E.V.; GONÇALVES, E.F.; BRAZETTI, L.L.P.; GOERL, R.F.; MOLLERI, G.S.F.; RUDORFF, F.M. 2006. Prevenção de Desastres Naturais: Conceitos Básicos. Curitiba: Ed. Organic Trading. 109 p. Disponível em: <http://www.labhidro.ufsc.br/publicacoes.html>
- MARCELINO, E. V. 2008. Desastres Naturais e Geotecnologias: Conceitos Básicos. Caderno Didático nº 1. INPE/CRS, Santa Maria, 2008.
- INSTITUTO GEOLÓGICO - SMA. 2015. Banco de dados de eventos, acidentes e desastres relacionados a eventos geodinâmicos no Estado de São Paulo. Inédito, São Paulo, Instituto Geológico. Planilha eletrônica.



# Capítulo 2

## Escorregamentos

Lídia Keiko Tominaga

“... e não há imenso tempo, com as grandes chuvas desabaram porções das serras, que vieram entulhar o rio das Minas e o ribeirão de Mandira, arrastando consigo enormes madeiras com graves prejuízos dos moradores..., julgando nisto um castigo visível da mão divina”

(Martim Francisco Ribeiro de Andrade, 1805 - Relato de ocorrência de escorregamentos e de corrida destrítica próximo a Cananéia (SP) no “Diário de uma Viagem Mineralógica”, em 1805 (apud Infanti & Fornasari Filho, 1998)



Escorregamento em Campo Limpo, SP, 2009. Fonte: Acervo IG.

Escorregamento em Campo Limpo, SP, 2009. Fonte: Acervo IG.



## CAPÍTULO 2 ESCORREGAMENTOS

### 2.1. Introdução

Os escorregamentos, também conhecidos como deslizamentos, são processos de movimentos de massa envolvendo materiais que recobrem as superfícies das vertentes ou encostas, tais como solos, rochas e vegetação. Estes processos estão presentes nas regiões montanhosas e serranas em várias partes do mundo, principalmente naquelas onde predominam climas úmidos. No Brasil, são mais frequentes nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste.

Os movimentos de massa consistem em importante processo natural que atua na dinâmica das vertentes, fazendo parte da evolução geomorfológica em regiões serranas. Entretanto, o crescimento da ocupação urbana indiscriminada em áreas desfavoráveis, sem o adequado planejamento do uso do solo e sem a adoção de técnicas adequadas de estabilização, está disseminando a ocorrência de acidentes associados a estes processos, que muitas vezes atingem dimensões de desastres (Tominaga, 2007).

**Movimento de massa** é o movimento do solo, rocha e/ou vegetação ao longo da vertente sob a ação direta da gravidade. A contribuição de outro meio, como água ou gelo se dá pela redução da resistência dos materiais de vertente e/ou pela indução do comportamento plástico e fluido dos solos.

### 2.2. Tipologia dos movimentos de massa

Os movimentos de massa podem ser de diversos tipos, pois envolvem uma variedade de materiais e processos. Uma das classificações mais utilizadas internacionalmente, devido a sua simplicidade, é a proposta por Varnes (1978) que se baseia no tipo de movimento e no tipo de material transportado. Dentre as classificações brasileiras, destacam-se as de Freire (1965), de Guidicini & Nieble (1984) e de Augusto Filho (1992), das quais esta última é apresentada no Quadro 2.1.

Entretanto, como citado por Fernandes & Amaral (1996), qualquer esquema proposto apresenta limitações, uma vez que na natureza os escorregamentos tendem a ser mais complexos, dificultando estabelecer limites entre classes ou ainda pela manifestação de várias classes num mesmo movimento.

**Tabela 2.1.** Principais tipos de movimentos de massa em encostas (Augusto Filho, 1992).

Processos	Dinâmica/Geometria/Material
Rastejos	<ul style="list-style-type: none"> <li>vários planos de deslocamento (internos)</li> <li>velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade</li> <li>movimentos constantes, sazonais ou intermitentes</li> <li>solo, depósitos, rocha alterada/fraturada</li> <li>geometria indefinida</li> </ul>
Escorregamentos	<ul style="list-style-type: none"> <li>poucos planos de deslocamento (externos)</li> <li>velocidades médias (m/h) a altas (m/s)</li> <li>pequenos a grandes volumes de material</li> <li>geometria e materiais variáveis:</li> </ul> Planares – solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza; Circulares – solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas Em cunha – solos e rochas com dois planos de fraqueza
Quedas	<ul style="list-style-type: none"> <li>sem planos de deslocamento</li> <li>movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado</li> <li>velocidades muito altas (vários m/s)</li> <li>material rochoso</li> <li>pequenos a médios volumes</li> <li>geometria variável: lascas, placas, blocos, etc.</li> </ul> Rolamento de matacão Tombamento
Corridas	<ul style="list-style-type: none"> <li>muitas superfícies de deslocamento</li> <li>movimento semelhante ao de um líquido viscoso</li> <li>desenvolvimento ao longo das drenagens</li> <li>velocidades médias a altas</li> <li>mobilização de solo, rocha, detritos e água</li> <li>grandes volumes de material</li> <li>extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas</li> </ul>

### 2.2.1. Escorregamentos

Dentre os processos de movimentos de massa, os mais frequentes na região sudeste do Brasil e principalmente na Serra do Mar, são os escorregamentos. O termo escorregamento tem diversos sinônimos de uso mais generalizado na linguagem popular como *deslizamento*, *queda de barreira*, *desbarrancamento*, os quais equivalem ao *landslide* da língua inglesa.

Escorregamentos são movimentos rápidos, de porções de terrenos (solos e rochas), com volumes definidos, deslocando-se sob ação da gravidade, para baixo e para fora do talude ou da vertente.

Em termos gerais, um escorregamento ocorre quando a relação entre a resistência ao cisalhamento do material e a tensão de cisalhamento na superfície potencial de movimentação decresce até atingir uma unidade, no momento do escorregamento (Guidicini & Nieble, 1984). Ou seja, no momento em que a força gravitacional vence o atrito interno das partículas, responsável pela estabilidade, a massa de solo movimenta-se

encosta abaixo. Normalmente, a infiltração de água no maciço de solo provoca a diminuição ou perda total do atrito entre as partículas. Quando o solo atinge o estado de saturação com perda total do atrito entre as partículas, em processo conhecido como solifluxão, passa a se mobilizar encosta abaixo, formando os movimentos de escoamento do tipo corridas.

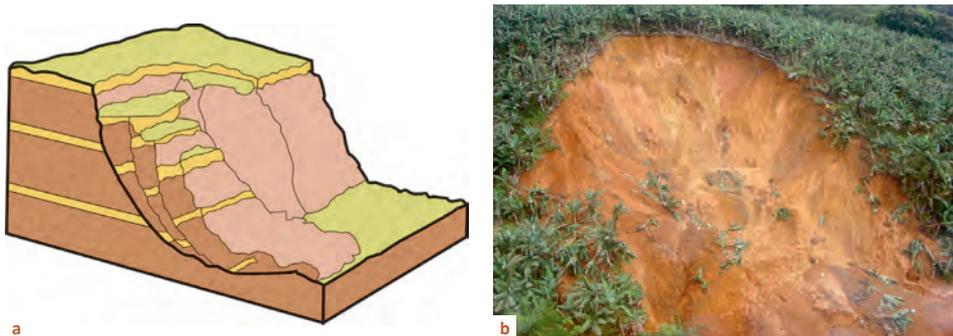
A velocidade do movimento depende da inclinação da superfície de escorregamento, da causa inicial de movimentação e da natureza do terreno. Variam de quase zero a alguns metros por segundo. Os movimentos mais bruscos ocorrem em terrenos relativamente homogêneos, que combinam coesão com atrito interno elevado. Nestes terrenos a superfície de escorregamento é mais inclinada (Guidicini & Nieble, 1984).

Levando em consideração a geometria e a natureza dos materiais instabilizados, os escorregamentos podem ser subdivididos em três tipos: escorregamentos rotacionais ou circulares, escorregamentos translacionais ou planares e escorregamentos em cunha.

### Escorregamentos rotacionais ou circulares

Os escorregamentos rotacionais caracterizam-se por uma superfície de ruptura curva ao longo da qual se dá um movimento rotacional do maciço de solo (Figura 2.1). A ocorrência destes movimentos está associada geralmente à existência de solos espessos e homogêneos, como os decorrentes da alteração de rochas argilosas. O início do movimento muitas vezes é provocado pela execução de cortes na base destes materiais, como na implantação de uma estrada, ou para construção de edificações, ou ainda pela erosão fluvial no sopé da vertente (Fernandes & Amaral, 1996).

O escorregamento rotacional de solo é um fenômeno frequente nas encostas do sudeste brasileiro, mobilizando geralmente o manto de alteração. Podem se tornar processos catastróficos, com o deslocamento súbito do solo residual que recobre a rocha ao longo de uma superfície qualquer de ruptura, ou ao longo da própria superfície da rocha. Como exemplos desse tipo de escorregamento, pode-se citar o grande escorregamento do Monte Serrat, ocorrido em 1928 (Figura 2.2) e muitos dos sessenta escorregamentos simultâneos que ocorreram nos morros de Santos em 1956 (Vargas, 1966).



**Figura 2.1** - (a) Esquema de escorregamento rotacional. Fonte: Lopes (2006). (b) Escorregamento rotacional em Jaraguá do Sul, SC, dez.2008. Fonte: Acervo IG.



**Figura 2.2** - Escorregamento rotacional do grande acidente do Monte Serrat, em Santos (1928), com 80 mortes e destruição de parte da antiga Santa Casa. Fonte: Arquivo e Memória de Santos, P. M. de Santos.

### Escorregamentos translacionais ou planares

Os escorregamentos translacionais são os mais frequentes entre todos os tipos de movimentos de massa. Formam superfícies de ruptura planar associadas às heterogeneidades dos solos e rochas que representam descontinuidades mecânicas e/ou hidrológicas derivadas de processos geológicos, geomorfológicos ou pedológicos.

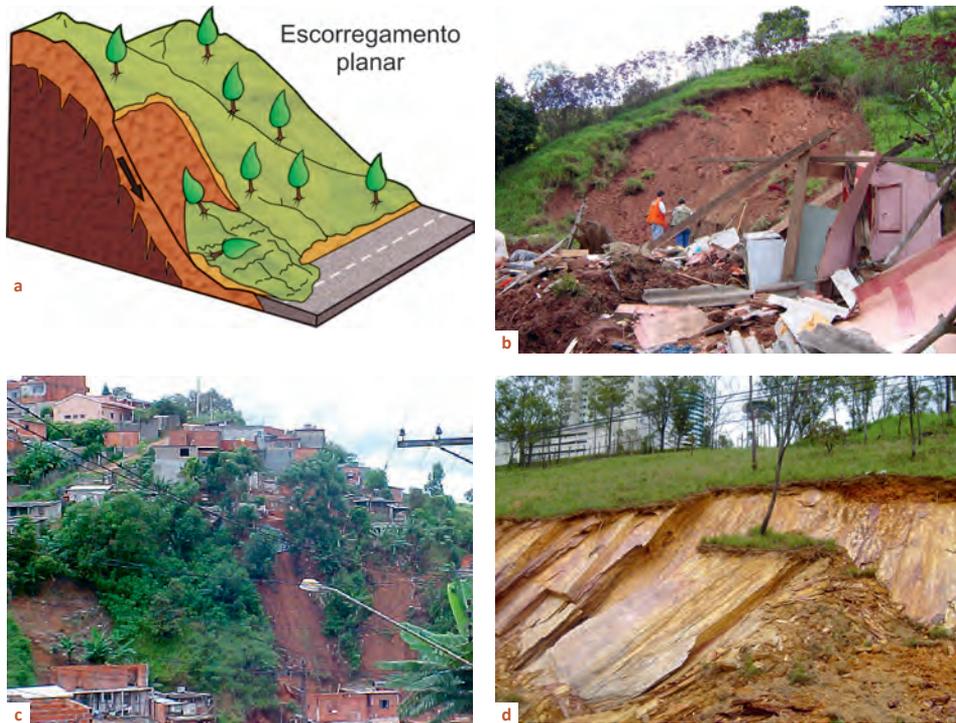
A morfologia dos escorregamentos translacionais caracteriza-se por serem rasos, com o plano de ruptura, na maioria das vezes, a 0,5 a 5,0 m de profundidade e com maiores extensões no comprimento. Ocorrem em encostas tanto de alta como de baixa declividade e podem atingir centenas ou até milhares de metros (Fernandes & Amaral, 1996; Guidicini & Nieble, 1984) (Figura 2.3).

Os materiais transportados pelos escorregamentos translacionais podem ser constituídos de rocha, de solo e de solo e rocha.

Nos **escorregamentos translacionais de rocha**, a movimentação se dá em planos de fraqueza que correspondem às superfícies associadas à estrutura geológica, tais como, estratificação, xistosidade, gnaissificação, acamamento, falhas, juntas de alívio de tensões e outras.

**Escorregamentos translacionais de solo** são movimentos ao longo de uma superfície plana condicionada a alguma feição estrutural do substrato. Ocorrem dentro do manto de alteração, com forma tabular e espessuras que dependem da natureza das rochas, do clima e do relevo. Em geral, o movimento é de curta duração, de velocidade elevada e grande poder de destruição. Os escorregamentos translacionais associados com maior quantidade de água podem passar a corridas, ou podem se converter em rastejo, após a acumulação do material movimentado no pé da vertente.

Nos **escorregamentos translacionais de solo e rocha**, a massa transportada pelo movimento apresenta um volume de rocha significativo. O que melhor representa tais movimentos é a que envolve massas de tálus/colúvio. Os depósitos de tálus/colúvio que, em geral, encontram-se nos sopés das escarpas, são constituídos por blocos rochosos e



**Figura 2.3** - (a) Esquema de escorregamento planar ou translacional de solos. Escorregamentos planares em: (b) Campo Limpo Paulista (2009); (c) Várzea Paulista (2006) e (d) Nova Lima, MG. Fonte: a, b e c: Acervo IG; d: Giovana Parizzi.

fragmentos de tamanhos variados envolvidos em matriz terrosa, provenientes do mesmo processo de acumulação.

Os escorregamentos translacionais, em geral, ocorrem durante ou logo após períodos de chuvas intensas. É comum que a superfície de ruptura coincida com a interface solo-rocha, a qual representa uma importante descontinuidade mecânica e hidrológica. A ação da água nestes movimentos é mais superficial e as rupturas ocorrem em curto espaço de tempo, devido ao rápido aumento da umidade durante eventos pluviométricos de alta intensidade (Fernandes & Amaral, 1996).

No Brasil, são frequentes os casos de escorregamentos translacionais, principalmente na Serra do Mar, como os ocorridos nas Serras de Caraguatuba e das Araras em 1967. Em perfis de alteração como os da Serra do Mar, estes movimentos não transportam apenas materiais terrosos, mas envolvem também blocos rochosos mais ou menos alterados.

### Escorregamentos em cunha

Os escorregamentos em cunha têm ocorrência mais restrita às regiões que apresentam um relevo fortemente controlado por estruturas geológicas. São associados aos maciços rochosos pouco ou muito alterados, nos quais a existência de duas estruturas planares, desfavoráveis à estabilidade, condiciona o deslocamento de um prisma ao longo

do eixo de intersecção destes planos. Ocorrem principalmente em taludes de corte ou em encostas que sofreram algum tipo de desconfinamento, natural ou antrópico (Infanti Jr. & Fornasari Filho, 1998) (Figuras 2.4 e 2.5).

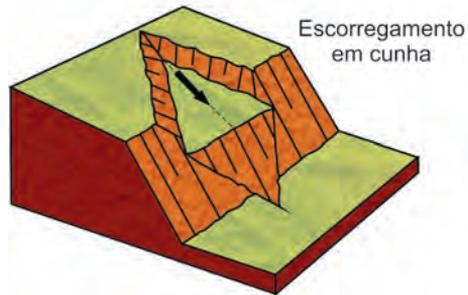


Figura 2.4 - Esquema de escorregamento em cunha



Figura 2.5 - Escorregamento em cunha em: (a) Quartzo em Rio Acima, MG; (b) Talude em filito alternado com quartzo da Formação Cercadinho em Belo Horizonte, MG. Fonte: Parizzi, 2004.

### 2.2.2. Queda de blocos

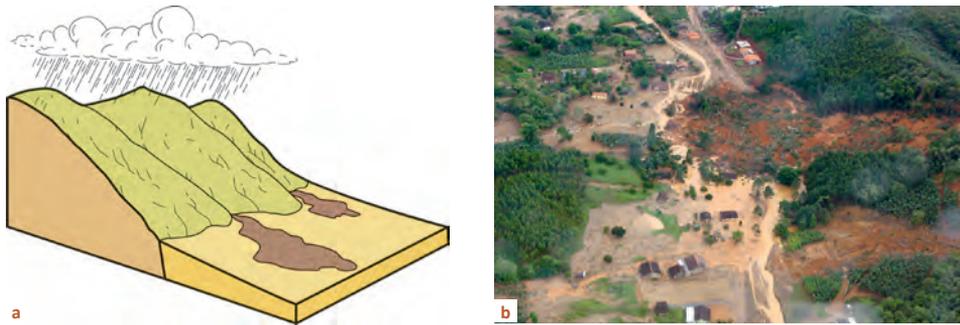
A queda de blocos é um outro tipo de movimento gravitacional de massa comum nas escarpas da Serra do Mar. Define-se uma queda de blocos como uma ação de queda livre a partir de uma elevação, com ausência de superfície de movimentação. Nos penhascos ou taludes íngremes, blocos e/ou lascas dos maciços rochosos deslocados pelo intemperismo, caem pela ação da gravidade (Figura 2.6). A queda pode estar associada a outros movimentos como saltação, rolamento dos blocos e fragmentação no impacto com o substrato. As causas das quedas de blocos são diversas: variação térmica do maciço rochoso, perda de sustentação dos blocos por ação erosiva da água, alívio de tensões de origem tectônica, vibrações e outras (Guidicini & Nieble, 1984).



Figura 2.6 - Queda de blocos rochosos em Santos, 1992 e 2009. Fonte: Acervo IG.

### 2.2.3. Corridas

Corridas são formas de escoamento de caráter essencialmente hidrodinâmico, ocasionadas pela perda de atrito interno das partículas de solo, em virtude da destruição de sua estrutura interna, na presença de excesso de água. Estes movimentos são gerados a partir de grande aporte de materiais como solo, rocha e árvores que, ao atingirem as drenagens, formam uma massa de elevada densidade e viscosidade. A massa deslocada pode atingir grandes distâncias com extrema rapidez, mesmo em áreas pouco inclinadas, com conseqüências destrutivas muito maiores que os escorregamentos (Guidicini & Nieble, 1984; Fernandes & Amaral, 1996; Lopes, 2006) (Figuras 2.7 e 2.8).



**Figura 2.7** - (a) Esquema de corrida detritica (Fonte: Lopes, 2006). (b) Corrida detritica no Morro do Baú, SC, dez. 2008. Fonte: Acervo IG.



**Figura 2.8** - Diversidade de materiais transportados pelos processos de corridas de detritos nos desastres que assolaram o Estado de Santa Catarina em novembro de 2008, no município de Ilhota (Braço do Baú). Fonte: Acervo IG.

#### 2.2.4. Rastejos

Rastejos são movimentos lentos e contínuos de material de encostas com limites indefinidos. Envolvem, muitas vezes, grandes volumes de solos, sem que apresente uma diferenciação visível entre o material em movimento e o estacionário.

A causa da movimentação nos rastejos é a ação da gravidade, associada também aos efeitos das variações de temperatura e umidade. O processo de expansão e contração da massa de material, devido à variação térmica, provoca o movimento, vertente abaixo.

### 2.3. Fatores condicionantes dos escorregamentos

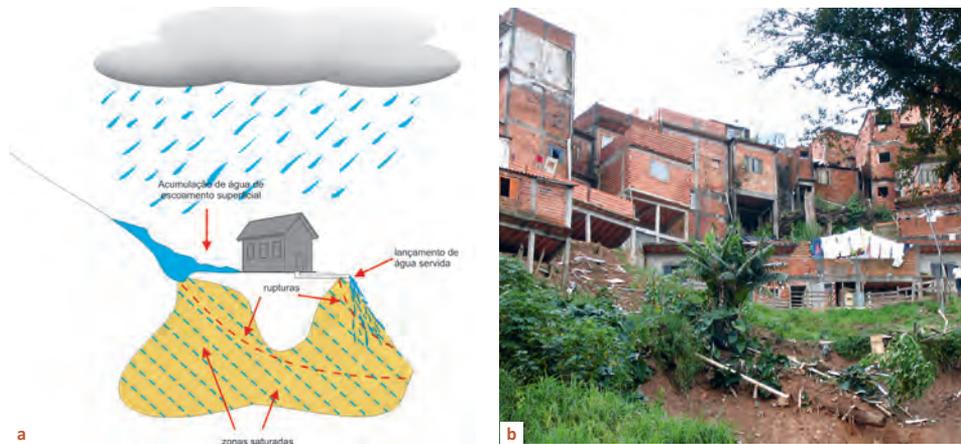
Os fatores condicionantes dos escorregamentos correspondem principalmente aos elementos do meio físico e, secundariamente, do meio biótico, os quais contribuem para o desencadeamento do processo. Estes elementos são parte da própria dinâmica dos processos naturais, aos quais Guidicini & Nieble (1984) denominaram de *agentes predisponentes*. No entanto, a ação humana exerce importante influência favorecendo a ocorrência de processos ou minimizando seus efeitos.

As causas básicas da instabilidade de vertentes, inclusive dos escorregamentos, são bem conhecidas. O que se procura sempre é alcançar, por meio do entendimento dos processos envolvidos, respostas às questões: por que ocorrem os escorregamentos, quando, onde e quais são seus mecanismos, permitindo a predição da suscetibilidade (Varnes, 1978).

Os **agentes predisponentes** correspondem ao conjunto de condições geológicas, topográficas e ambientais da área onde se desenvolve o movimento de massa. São, portanto as condições naturais dadas pelas características intrínsecas dos materiais, sem a ação do homem. Já os **agentes efetivos** referem-se ao conjunto de fatores diretamente responsáveis pelo desencadeamento do movimento de massa, incluindo-se a ação humana. Podem ser agentes efetivos preparatórios como: pluviosidade, erosão pela água ou vento, oscilação de nível dos lagos e marés e do lençol freático, ação de animais e ação humana como desmatamento, entre outros. Podem se tratar também de agentes efetivos imediatos como: chuva intensa, erosão, terremotos, ondas, vento, interferência do homem etc. (Guidicini & Nieble, 1984).

Assim, os principais fatores que contribuem para a ocorrência dos escorregamentos são os relacionados com a geologia, geomorfologia, aspectos climáticos e hidrológicos, vegetação e ação do homem relativa às formas de uso e ocupação do solo (Wolle, 1980; Fernandes & Amaral, 1996; Augusto Filho, 2001; Fernandes *et al.*, 2001; Tominaga, 2007).

A pluviosidade é sem dúvida um importante fator condicionante dos escorregamentos. Na região tropical úmida brasileira, a associação dos escorregamentos à estação das chuvas, notadamente às chuvas intensas, já é de conhecimento generalizado. Durante a estação chuvosa, que em geral corresponde ao verão, as frentes frias originadas no Círculo Polar Antártico encontram as massas de ar quente tropicais ao longo da costa sudeste brasileira, provocando fortes chuvas e tempestades. Estas chuvas, muitas vezes, deflagram escorregamentos que, não raro, podem se tornar catastróficos (Guidicini & Nieble, 1984) (Figuras 2.9).



**Figura 2.9** - (a) Esquema ilustrando rupturas de terreno devido ação da água das chuvas (Modificado de IPT/Min. das Cidades, 2004); (b) Escorregamento de talude de corte causado pela saturação do solo após chuvas, agravado pelo lançamento de águas pluviais (canaletas brancas), Osasco, SP, 2006. Fonte: Acervo IG.

Ao analisarem os escorregamentos ocorridos por um período de 30 anos na Serra do Mar, em Cubatão, Tatizana *et al.* (1987) estabeleceram uma correlação numérica entre a chuva acumulada que ocasiona a saturação do solo e as precipitações horárias que provocam os escorregamentos. Os autores consideraram que as chuvas acumuladas de 4 dias seriam as mais efetivas na preparação do terreno ao processo de escorregamento, devido à progressiva redução da resistência ao cisalhamento e aumento das forças solicitantes.

O comportamento pluvial no Litoral Norte do Estado de São Paulo durante as ocorrências de movimentos de massa no período de 1991 a 2000, foi analisado por Tavares *et al.* (2004) que consideraram os totais acumulados de chuva associados às instabilizações. Estes autores concluíram que a maior parte das ocorrências de movimentos de massa, em torno de 70%, foi registrada com chuva acumulada igual ou superior a 120 mm em 72 horas. Verificaram também que os meses de fevereiro e março, que normalmente correspondem ao período mais chuvoso do ano, registraram o maior número de ocorrências de movimentos de massa.

A ação do homem é vista por diversos autores como importante agente modificador da dinâmica natural do relevo e, por conseguinte, da estabilidade das vertentes. A ocupação desordenada das vertentes nas regiões serranas brasileiras tem provocado inúmeros acidentes. De acordo com Fernandes & Amaral (1996) as metrópoles brasileiras convivem com acentuada incidência de escorregamentos induzidos por cortes para implantação de moradias e vias de acesso, desmatamentos, atividades de mineração, lançamento de águas servidas e de lixo, causando expressivos danos (Figura 2.10).

No grande acidente ocorrido em Petrópolis (RJ) em 1988 que resultou em 171 mortes, Nunes *et al.* (1990) e Nakazawa & Cerri (1990) verificaram que mais de 90% dos escorregamentos foram induzidos pela ocupação desordenada das encostas do município.

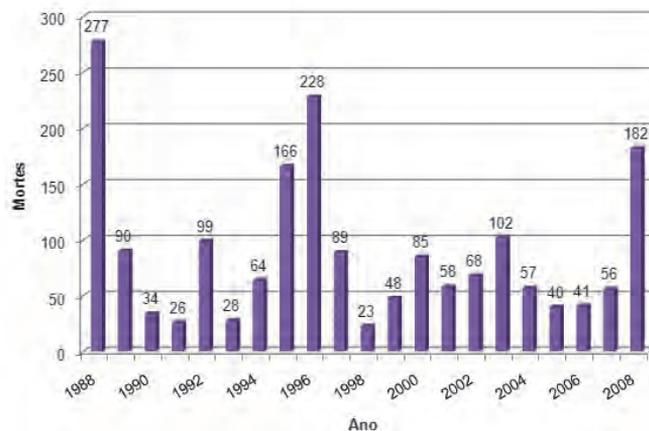
Fernandes *et al.* (1999), analisando o processo de ocupação no Maciço da Tijuca (RJ), verificaram que cerca de 50% dos 242 escorregamentos existentes no maciço



**Figura 2.10** - (a) Esquema ilustrativo de escorregamento induzido em talude de corte; (b) escorregamento em talude de corte, Jandira, SP (2009). Fonte: Acervo IG.

ocorreram em favelas, que cobrem somente 4,6% da área total do maciço. Os autores explicam que esta elevada frequência de escorregamentos está intimamente relacionada ao aumento de intervenções com cortes para a construção de moradias precárias em encostas íngremes situadas no sopé de afloramentos rochosos.

Dentre os fenômenos envolvidos em desastres naturais no Brasil, os escorregamentos têm sido responsáveis por maior número de vítimas fatais e importantes prejuízos materiais, com destaque para os desastres ocorridos em 1967, na Serra das Araras (RJ) e Caraguatatuba (SP), que resultaram em 1.320 mortes e destruição de centenas de edificações (Augusto Filho, 1994). A Figura 2.11 mostra a distribuição anual de mortes por escorregamentos no Brasil no período de 1988 a 2008, cujo total atingiu 1.861 óbitos.



**Figura 2.11** - Distribuição anual do número de mortes por escorregamentos no Brasil no período de 1988 a 2008. Fonte: IPT, 2009.

Os escorregamentos e demais movimentos de massa são processos que dependem de vários fatores ambientais que atuam naturalmente na evolução das formas de relevo de morros e serras.

Entretanto, nos últimos anos, o expressivo aumento do número de acidentes associados a escorregamentos nas encostas urbanas tem como principal causa a ocupação desordenada de áreas com alta suscetibilidade a escorregamentos (Figura 2.12). Os estados brasileiros mais afetados são: Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco e Paraíba (Kobiyama *et al.* 2006).



**Figura 2.12** - Exemplos de situações que devem ser evitadas: (a) construção de moradias muito próximas ao talude de corte em Jaraguá do Sul, SC, 2008; (b) moradias na crista de talude com altura e inclinação excessiva em Osasco, 2006; (c) construção em margens de córregos em Itapeva, 2007; (d) lançamento e acúmulo de lixo no talude ou encosta em São Bernardo, 2005. Fonte: Acervo IG.

#### 2.4. Medidas de prevenção dos escorregamentos

Como visto anteriormente, o crescimento da ocupação desordenada em áreas de encostas tem levado a um progressivo aumento no número de acidentes associados a escorregamentos, muitas vezes com dimensões catastróficas. Evitar que estes processos ocorram, segundo Kobiyama *et al.* (2006), foge da capacidade humana. No entanto, se forem adotadas medidas preventivas adequadas, seus danos podem ser evitados ou minimizados.

Usualmente, as medidas preventivas são agrupadas em dois tipos: estruturais e não estruturais. As **medidas estruturais** envolvem obras de engenharia, em geral de alto

custo, tais como obras de contenção de taludes, implantação de sistemas de drenagem, reurbanização de áreas. Quanto às medidas **não estruturais**, estas se referem às ações de políticas públicas voltadas ao planejamento do uso do solo e ao gerenciamento, como o zoneamento geoambiental, planos preventivos de defesa civil, educação ambiental (Kobiyama *et al*, 2006; Vedovello & Macedo 2007). Estas medidas estão melhor detalhadas nos capítulos 9 e 10 (Análise e Mapeamento de Risco e Gerenciamento de Desastres). Entretanto, além destas há outras medidas que podem ser adotadas tanto pelos moradores quanto pelas equipes de defesa civil municipais (Kobiyama *et al. op.cit*):

#### Como prevenir

- Evitar construir em encostas muito íngremes e próximos de cursos d'água;
- Não realizar cortes em encostas sem licença da Prefeitura, pois isto aumenta a declividade e contribui para a instabilização do talude;
- Buscar informações junto a órgãos municipais, estaduais e federais, sobre ocorrências de escorregamentos na sua região, lembrando que os técnicos locais são os mais indicados para avaliar o perigo potencial;
- Solicitar às prefeituras estudos sobre a região, além de planos de controle e de monitoramento das áreas de risco;
- Promover junto a comunidade, ações preventivas para aumento da segurança em relação a escorregamentos;
- Não desmatar as encostas dos morros;
- Não lançar lixo ou entulho nas encostas e drenagens, pois eles retêm a água das chuvas aumentando o peso e causando instabilizações no terreno;
- Verificar a estrutura de sua casa, muros e terrenos, observando se aparecem rachaduras e fissuras que podem ser indicativos de movimentações do terreno com possibilidade de evoluir para a ruptura e queda da moradia. Neste caso deve-se procurar um técnico competente ou a defesa civil local para fazer uma avaliação urgente;
- Acompanhar os boletins meteorológicos e as notícias de rádio e TV de sua região. Em geral, os escorregamentos são desencadeados por chuvas intensas.

#### Bibliografia recomendada

- CARVALHO, C. S. & GALVÃO, T. (Org) 2006. Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais. Brasília: Ministério das Cidades; Cities Alliance, 2006.
- FERNANDES, N. F. & AMARAL, C. P. 1996. Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (org) Geomorfologia e Meio Ambiente. Bertrand, Rio de Janeiro. p. 123-194.

# Capítulo 3

## Inundações e enchentes

Rosângela do Amaral

Rogério Rodrigues Ribeiro

“Gotas de água da chuva  
Alegre arco-íris sobre a  
plantação

Gotas de água da chuva  
Tão tristes são lágrimas  
na inundação

Águas que movem moi-  
nhos

São as mesmas águas  
Que encharcam o chão  
E sempre voltam humil-  
des”

(Guilherme Arantes)



Inundação em Itajaí, SC, 2008. Fonte: Acervo IG



## CAPÍTULO 3

### INUNDAÇÕES E ENCHENTES

#### 3.1. Introdução

Inundações e enchentes são eventos naturais que ocorrem com periodicidade nos cursos d'água, frequentemente deflagrados por chuvas fortes e rápidas ou chuvas de longa duração.

Segundo UN-ISDR 2002, as inundações e enchentes são problemas geoambientais derivados de fenômenos ou perigos naturais de caráter hidrometeorológico ou hidrológico, ou seja, aqueles de natureza atmosférica, hidrológica ou oceanográfica. Sabe-se hoje que as inundações estão relacionadas com a quantidade e intensidade da precipitação atmosférica (Souza, 1998). A magnitude e frequência das inundações ocorrem em função da intensidade e distribuição da precipitação, da taxa de infiltração de água no solo, do grau de saturação do solo e das características morfométricas e morfológicas da bacia de drenagem. A figura 3.1 ilustra a diferença entre uma situação normal do volume de água no canal de um curso d'água e nos eventos de enchente e inundação.

Em condições naturais, as planícies e fundos de vales estreitos apresentam lento escoamento superficial das águas das chuvas, e nas áreas urbanas estes fenômenos têm sido intensificados por alterações antrópicas, como a impermeabilização do solo, retificação e assoreamento de cursos d'água. Este modelo de urbanização, com a ocupação das planícies de inundação e impermeabilizações ao longo das vertentes, o uso do espaço afronta a natureza, e, mesmo em cidades de topografia relativamente plana, onde, teoricamente, a infiltração seria favorecida, os resultados são catastróficos (Tavares & Silva, 2008).

Além de inundação e enchente, existem também os conceitos de alagamento e enxurrada, usualmente empregados em áreas urbanas.

De acordo com Min. Cidades/IPT (2007), o alagamento pode ser definido como o “acúmulo momentâneo de águas em uma dada área por problemas no sistema de drenagem, podendo ter ou não relação com processos de natureza fluvial”.



Figura 3.1 - Perfil esquemático do processo de enchente e inundação (Fonte: Min. Cidades/IPT, 2007).

A enxurrada é definida como o “escoamento superficial concentrado e com alta energia de transporte, que pode ou não estar associado a áreas de domínio dos processos fluviais. É comum a ocorrência de enxurradas ao longo de vias implantadas sobre antigos cursos d’água com alto gradiente hidráulico e em terrenos com alta declividade natural”.

**Inundação** representa o transbordamento das águas de um curso d’água, atingindo a planície de inundação ou área de várzea.

As **enchentes ou cheias** são definidas pela elevação do nível d’água no canal de drenagem devido ao aumento da vazão, atingindo a cota máxima do canal, porém, sem extravasar.

O **alagamento** é um acúmulo momentâneo de águas em determinados locais por deficiência no sistema de drenagem.

A **enxurrada** é escoamento superficial concentrado e com alta energia de transporte, que pode ou não estar associado a áreas de domínio dos processos fluviais.

Fonte: Min. Cidades/IPT (2007)

O banco de dados Emergency Database - EM-DAT (OFDA/CRED, 2009), é uma compilação de dados e informações sobre a ocorrência de desastres obtidos de diversas fontes, como agências das Nações Unidas, organizações não governamentais, companhias de seguros, institutos de pesquisa e agências de notícias. No EM-DAT, o Brasil é classificado como um dos países do mundo mais afetados por inundações e enchentes (Figura 3.2), com mais de 60 desastres cadastrados no período de 1974 a 2003.

A Tabela 3.1 apresenta as estatísticas históricas de desastres causados por inundações e enchentes cadastrados no Brasil, da década de 1940 até 2014.

**Tabela 3.1.** Registros de Inundações no Brasil no período de 1940 a 2014.

Período	Nº de Eventos	Nº de Mortes	Nº de Afetados (Desabrigados/Desalojados)
2010-2014	20	1505	2.468.600
2000-2009	35	926	4.281.972
1990-1999	20	386	317.793
1980-1989	23	1598	8.789.613
1970-1979	11	1142	2.902.371
1960-1969	13	1818	825.986
1950-1959	2	212	-*
1940-1949	1	200	-*

\* sem registro

Fonte: “Guha-Sapir D, Vos F, Below R, with Ponsérre S. *Annual Disaster Statistical Review 2011: The Numbers and Trends*. Brussels: CRED; 2012.”

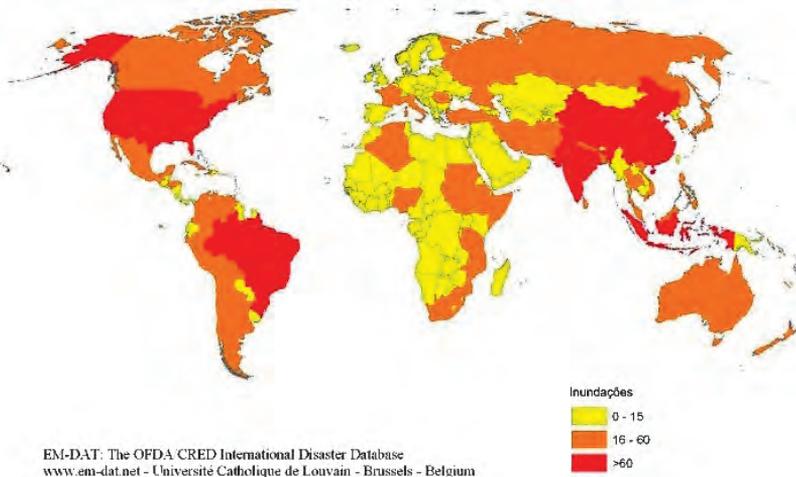


Figura 3.2 - Nº de ocorrências de desastres relacionados às inundações e enchentes registradas no Brasil no período entre 1974 e 2003. Fonte: EM-DAT/OFDA/CRED 2009.

Em 2011, o relatório anual de estatísticas de desastres da OFDA/CRED apontou o Brasil em 9º lugar entre os países do mundo com maior número de vítimas relacionadas aos Desastres Naturais. Foram 3,7 milhões de pessoas, todas afetadas por desastres hidrológicos, que englobam inundações, enchentes e movimentos de massa (OFDA/CRED, 2011).

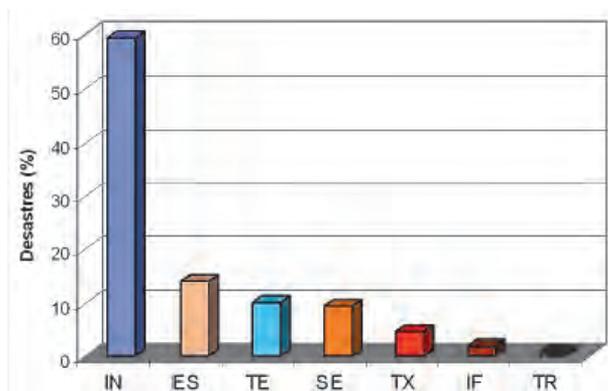
Em relação ao número de mortes causadas pelos desastres, o Brasil ficou em 3º lugar, com 978 falecimentos em 2011 (Figura 3.3).

Country	Disaster distribution	No. of deaths	Country	Disaster distribution	No.victims (millions)
Japan		19 975	China P Rep		159.3
Philippines		1 933	India		12.8
Brazil		978	Philippines		11.7
Thailand		896	Thailand		11.2
India		852	Pakistan		5.4
United States		809	Ethiopia		4.8
China P Rep		746	Kenya		4.4
Turkey		655	Somalia		4.0
Pakistan		511	Brazil		3.7
Colombia		313	Mexico		3.7

\*Guha-Sapir D, Vos F, Below R, with Ponsérre S. Annual Disaster Statistical Review 2011: The Numbers and Trends. Brussels: CRED; 2012.\*

Figura 3.3 - Nº de mortes e de vítimas dos Desastres Naturais em 2011 (listagem dos 10 países mais afetados). Fonte: EM-DAT/OFDA/CRED 2011.

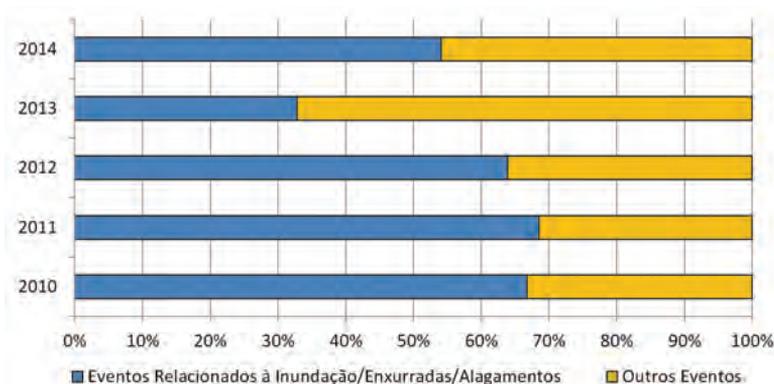
Para Marcelino (2007), as inundações representam cerca de 60% dos desastres naturais ocorridos no Brasil no século XX (Figura 3.4). Deste total de desastres registrados no país, 40% ocorreram na região Sudeste.



Legenda: IN – Inundações; Es – Escorregamentos; TE – Tempestades (Furacões, Tornados e Vendavais); SE – Secas; TX – Temperatura Extrema; IF – Incêndios Florestais; TR – Terremoto.

**Figura 3.4** - Tipos de desastres naturais ocorridos no Brasil entre 1900 e 2006. Fonte: Marcelino (2007)

No Estado de São Paulo, os eventos de inundações, enxurradas e alagamentos representaram cerca de 60% das ocorrências no período entre 2010 e 2014, totalizando 2.263 eventos (Figura 3.5). Este resultado pode ser explicado, em grande parte, pela ocorrência da alta taxa de impermeabilização do solo, além de modificações estruturais nos cursos d'água, como retificações, canalizações, entre outras, nos municípios paulistas.



**Figura 3.5** - Proporção entre os eventos relacionados à inundações, enxurradas e alagamentos nos Municípios do Estado de São Paulo, no período de 2010 a 2014. Fonte dos Dados: Banco de Dados de Acidentes e Desastres do IG/SMA (2015).

### 3.2. Condicionantes dos processos

A probabilidade e a ocorrência de inundação, enchente e de alagamento são analisadas pela combinação entre os condicionantes naturais e antrópicos.

Entre os condicionantes naturais destacam-se:

- a) formas do relevo;
- b) características da rede de drenagem da bacia hidrográfica;
- c) intensidade, quantidade, distribuição e frequência das chuvas;
- d) características do solo e o teor de umidade;
- e) presença ou ausência da cobertura vegetal.

O estudo desses condicionantes naturais permite compreender a dinâmica do escoamento da água nas bacias hidrográficas (vazão), de acordo com o regime de chuvas conhecido.

A planície de inundação, também denominada várzea, é uma área que periodicamente será atingida pelo transbordamento dos cursos d'água, constituindo, portanto, uma área inadequada à ocupação, como é apresentado nas Figuras 3.6 a 3.8.

De acordo com as características do vale é possível prever a velocidade do processo de inundação. Os vales encaixados (em V) e vertentes com altas declividades predispõem as águas a atingirem grandes velocidades em curto tempo, causando inundações bruscas e mais destrutivas. Os vales abertos, com extensas planícies e terraços fluviais predispõem inundações mais lentas (graduais), devido ao menor gradiente de declividade das vertentes do entorno, conforme demonstrado na Figura 3.9.

Chuvas intensas e/ou de longa duração favorecem a saturação dos solos, o que aumenta o escoamento superficial e a concentração de água nessas regiões. A cobertura vegetal também é um fator relevante, visto que a presença de vegetação auxilia na retenção de água no solo e diminui a velocidade do escoamento superficial, minimizando as taxas de erosão.

Entre os condicionantes antrópicos citam-se:

- a) uso e ocupação irregular nas planícies e margens de cursos d'água;
- b) disposição irregular de lixo nas proximidades dos cursos d'água;
- c) alterações nas características da bacia hidrográfica e dos cursos d'água (vazão, retificação e canalização de cursos d'água, impermeabilização do solo, entre outras);
- d) intenso processo de erosão dos solos e de assoreamento dos cursos d'água.



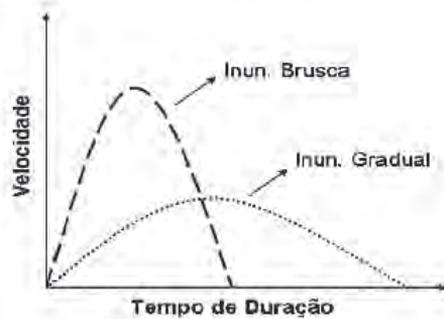
**Figura 3.6** - Águas ocupam a planície de inundação do Rio Itajaí (SC), em 2008. Foto: Acervo IG.



**Figura 3.7** - Residência localizada na planície de inundação do Rio Ribeira de Iguape (SP), atingida pelas águas em 2005 – Foto: Ney Ikeda (DAEE).



**Figura 3.8** - Águas ocupam a planície de inundação do Rio Ribeira de Iguape (SP), em 2005. Foto: Ney Ikeda (DAEE).



**Figura 3.9** - Diferenças entre inundação gradual e brusca (Kobiyama *et al.* 2006).

As grandes cidades, particularmente as Regiões Metropolitanas, apresentam graves problemas com inundações decorrentes da ocupação das margens dos cursos d'água por pessoas de baixa renda, como a perda de vidas e de bens materiais (Figuras 3.10, 3.11 e 3.12). A ocupação dessas áreas marginais pelo homem deve ser orientada pelo disposto na legislação brasileira, em especial nas Leis Federais nº 12.651/2012 (Código Florestal) e nº 6.766/79 (Parcelamento do Solo Urbano).

A disposição inadequada de lixo e entulho nas proximidades dos cursos d'água (Fig. 3.13), acentua esses problemas.

A impermeabilização dos solos pelo asfalto impede a infiltração e é responsável pelo aumento da velocidade do escoamento superficial. As retificações, as canalizações e o assoreamento também alteram a dinâmica da vazão dos cursos d'água. Com a eliminação dos meandros (curvas) existentes em alguns cursos d'água, que reduzem gradualmente a velocidade da água, ocorre a concentração do fluxo em pouco tempo, e gera as chamadas “inundações relâmpagos”.

A ONU (Organização das Nações Unidas) recomenda uma taxa de área verde por habitante da ordem de 12 m<sup>2</sup>/hab. Considerando a área urbanizada do município de São Paulo, essa taxa é de 3,59 m<sup>2</sup>/hab de áreas verdes públicas, e de 5,52 m<sup>2</sup>/hab incluindo as áreas verdes particulares (gramados, arborização de quintais e calçadas) (Ross, 2001).

Dessa forma, a conjugação dos condicionantes acima listados, aliados a alta densidade populacional das planícies, um único evento pode causar danos extensos em relação ao número de pessoas afetadas.

O número de afetados relacionados aos processos de inundação, enchentes e alagamentos geralmente é elevado, pois envolve efeitos diretos e indiretos. Dentre os efeitos diretos destacam-se as mortes por afogamento, destruição de moradias e danos materiais. Entre os efeitos indiretos destacam-se as doenças transmitidas por água contaminada, como a leptospirose, a febre tifóide, a hepatite e a cólera (Min. Cidades/IPT, 2007).



**Figura 3.10** - Construções irregulares em margens de córregos no Município de Poá/SP, em 2006.  
Fotos: Acervo IG



**Figura 3.11** - Construção em palafita sobre curso d'água no Município de Cotia/SP, em 2006.  
Fotos: Acervo do IG.



**Figura 3.12** - Construções irregulares em margens de córregos no Município de Poá/SP, em 2006.  
Fotos: Acervo IG



**Figura 3.13** - Disposição de entulho e lixo em curso d'água no Município de Cotia/SP, em 2006.  
Fotos: Acervo IG.

### 3.3. A gestão dos riscos associados a inundações, enchentes e alagamentos

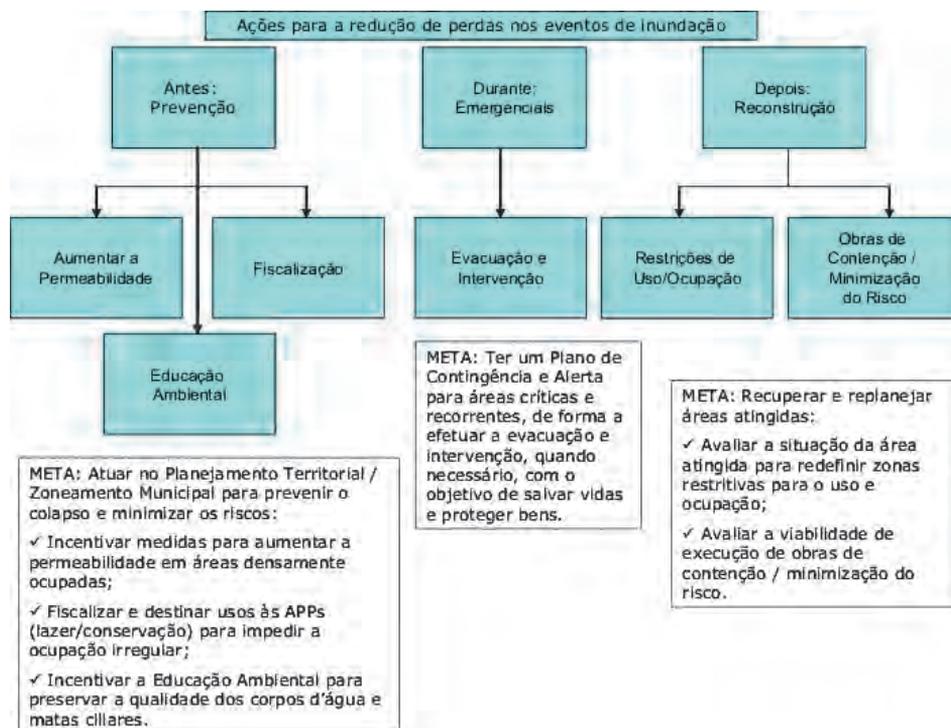
Os desastres naturais relacionados às inundações, enchentes e alagamentos causam grande número de pessoas afetadas, além de impactos econômicos severos.

O fluxograma a seguir propõe uma sequência de ações a ser executada nas diversas etapas da inundação, com a implementação de medidas para a redução de perdas (modificado de Rodrigues et. al. 1997 *apud* Vestena 2008) (Figura 3.14).

### 3.4. Ações e medidas preventivas

As medidas preventivas são essenciais e devem considerar as fases sequenciais, que são pré-evento, evento e pós-evento, bem como as ações que incluem prontidão, ação emergencial e recuperação (Kobiyama *et. al.* 2004).

As medidas preventivas que visam minimizar os danos físicos e riscos de contrair doenças, para todas as etapas da inundação, se dão em três momentos (Kobiyama *et. al.* 2006): antes, durante e depois.



**Figura 3.14** - Sequência lógica na implementação de medidas para a redução de perdas. (Fonte: modificado de Rodrigues et. al. 1997 *apud* Vestena 2008)

### Como prevenir

Antes de comprar um imóvel ou terreno, verificar se o local não se encontra em área de risco.

A educação ambiental é uma das mais importantes formas de evitar os problemas relacionados à inundação e enchentes. Deve-se respeitar a legislação de Áreas de Proteção Permanente (APPs) e não depositar lixo e resíduos sólidos no sistema de drenagem.

A informação é essencial à segurança: em caso de chuvas fortes por muitos dias ou horas seguidas, acompanhar o noticiário e os boletins meteorológicos.

É desaconselhável o deslocamento por locais alagados ou inundados, seja a pé, a nado ou no carro. Há o risco de contrair doenças, afogamento ou de ser atingido por choque elétrico.

Fonte: modificado de Kobiyama *et. al.* (2006)

#### 3.4.1. Antes da inundação

A primeira providência é verificar os locais que são considerados como área de risco. Esta informação pode ser obtida junto à COMDEC – Comissão Municipal de

Defesa Civil, à Prefeitura Municipal ou aos moradores antigos da área. Da mesma forma, a ocupação em áreas de risco deve ser denunciada aos órgãos competentes pela fiscalização. Deve-se verificar a existência de abrigos em áreas elevadas para o caso de ocorrer uma emergência com necessidade de alojamento de desabrigados.

De acordo com a legislação não é permitido construir nas faixas marginais dos cursos d'água, que são Áreas de Proteção Permanente – APPs. Estas áreas são sujeitas a inundações periódicas, devido à dinâmica natural dos cursos d'água. É importante que o Município fiscalize estas áreas de forma a não permitir a ocupação, bem como manter a função de permeabilidade e retenção de sedimentos em direção ao curso d'água. Os planos diretores municipais também constituem um instrumento restritivo à ocupação destas áreas. Quando incorporados por um mapeamento de áreas de risco (escorregamento, inundação e erosão), estes planos permitem melhor gestão de ações estruturais e não estruturais na prevenção e de desastres, como exemplificado na Figura 3.15.

A educação ambiental é outro instrumento muito importante. A população deve ter consciência de que a disposição inadequada de lixo e entulho causa problemas no sistema de drenagem e na vazão dos rios, causando alagamentos, enchentes e inundações.

Em casos de chuva forte por muitos dias ou horas seguidas, a população deve ficar alerta ao nível da água nos rios, acompanhando boletins meteorológicos e noticiários de sua região.



**Figura 3.15** - Exemplo de delimitação de área de risco à inundação no Município de Poá (A8/S2/R4: Área 8, Setor 2 e Risco 4 – Muito Alto) (Fonte: IG, 2006).

Se as águas começarem a invadir as moradias e não for possível sair, deve-se permanecer na parte mais alta e segura da casa. Da mesma forma deve-se colocar alimentos e objetos de valor em locais elevados para que não tenham contato com a água. É importante desligar a energia elétrica.

### 3.4.2. Durante a inundação

É desaconselhável o deslocamento por locais alagados ou inundados, seja a pé, a nado ou no carro. Além do risco de afogamento, há o perigo dos choques elétricos, relacionados à queda de fios, postes e linhas de transmissão.

O contato corporal, o consumo da água de inundação ou o consumo de alimentos que tiveram contato com a água, podem causar a leptospirose, a febre tifóide, a hepatite e a cólera.

Os Planos de Contingência a inundação, enchentes e alagamentos, elaborados principalmente pelas prefeituras e com a participação da comunidade, são importantes instrumentos empregados como medida preventiva e também como medida emergencial durante a ocorrência de um determinado evento.

Da mesma forma, os sistemas de alerta têm como objetivo informar a população sobre a ocorrência de cheias em tempo hábil. São instrumentos muito importantes para regiões críticas e com inundações e enchentes recorrentes, como é o caso do Vale do Ribeira de Iguape (SP), cujas condições climáticas e as características morfológicas da bacia hidrográfica favorecem as grandes cheias.

Entretanto, são situações em que se deve acionar a Defesa Civil (Telefone 199) e o Corpo de Bombeiros (Telefone 193).

### 3.4.3. Depois da inundação

Os moradores que tiverem sido retirados de suas casas não devem retornar até que tenham autorização das autoridades competentes (Defesa Civil ou Corpo de Bombeiros). É necessário averiguar se as estruturas do imóvel não foram comprometidas.

Devem ser lavados e desinfetados todos os objetos que tiveram contato com as águas da inundação, assim como as caixas d'água. As casas devem ser abertas e ventiladas.

É totalmente desaconselhado o uso de fontes naturais e poços depois da inundação. Para beber e preparar alimentos, a água deve ser fervida por no mínimo cinco minutos.

É importante limpar os disjuntores antes de ligar a energia elétrica.

Deve ser removido todo o lixo da casa e do quintal e depositado em local apropriado para ser recolhido pelo órgão de limpeza pública.

## 3.5. Outras medidas para minimizar os problemas

“As várzeas, cabeceiras de drenagem ou áreas próximas aos cursos d'água, indubitavelmente, não podem ser cobertas pelo asfalto das ruas ou pelo concreto das construções, pois, à medida que a cidade cresce, elas se tornam imprescindíveis na defesa da área urbana contra situações chuvosas extremas” (Tavares & Silva, 2008). No

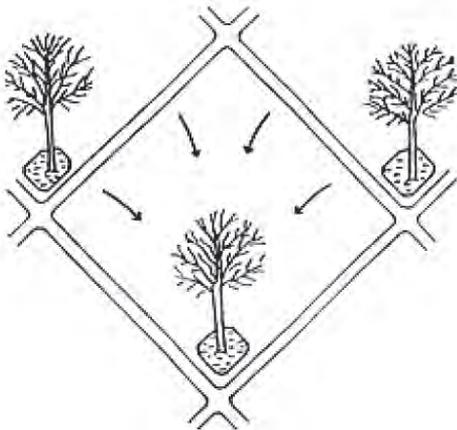
entanto, na maioria das grandes cidades, essa impermeabilização já ocorreu. Desta forma, é necessário que os órgãos gestores empreguem medidas alternativas para dissipar os problemas anunciados.

Na Região Metropolitana de São Paulo uma das soluções mais adotadas tem sido a construção de piscinões, que funcionam como reservatórios temporários em períodos de inundações. No entanto, tem como desvantagem o custo de construção e manutenção.

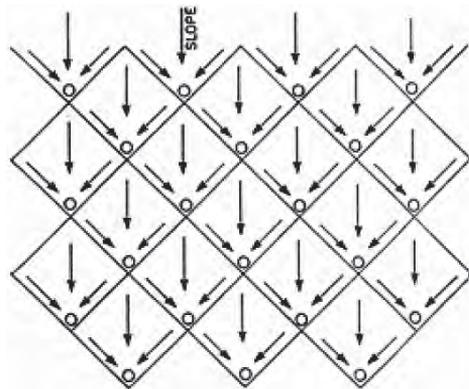
A realização de estudos climáticos auxilia no processo decisório sobre medidas estruturais a serem implantadas, na determinação de cotas de risco e no tempo de retorno, que é essencial e deve ser executada de forma sistemática nos municípios com problemas de inundação (Pinheiro, 2007).

De qualquer forma, as ações governamentais e as pesquisas de novas soluções para os problemas devem ser integradas e incluem o planejamento de novas áreas de expansão urbana, a preservação e recuperação de áreas de proteção permanente, a retenção e conservação da água ao longo das vertentes (aumento da permeabilidade do solo) e a educação ambiental.

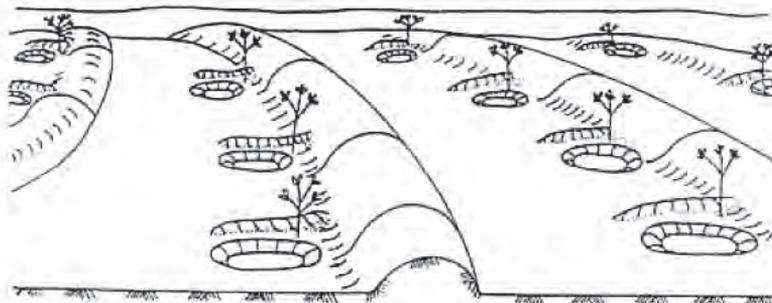
Gonçalves e Borges (2007) fizeram uma coletânea de propostas alternativas para os problemas de hidrologia urbana de forma a minimizar os efeitos das inundações em



**Figura 3.16** - Coleta "in situ": sistema de losangos. (Agostinho, 2001 *apud* Gonçalves e Borges, 2007)



**Figura 3.17** - Pequenas bacias de retenção de água. (Agostinho, 2001 *apud* Gonçalves e Borges, 2007)



**Figura 3.18** - Exemplos de aplicação de microdrenagem. (Agostinho, 2001 *apud* Gonçalves e Borges, 2007)

áreas densamente ocupadas. No entanto, como o espaço nas áreas urbanas metropolitanas está amplamente impermeabilizado, as soluções passam por pequenas contribuições para a infiltração, em cada terreno, praça e área verde, conforme as Figuras 3.16 a 3.18.

### 3.6. Considerações finais

As ações voltadas à gestão dos problemas geoambientais requerem intenso planejamento territorial, organização institucional e participação da comunidade. Essas ações devem contemplar metas que respondam à diversas situações: antes, durante e depois dos eventos de inundações, enchentes e alagamentos.

Para alcançarem maior eficiência e eficácia, as sugestões e alternativas apresentadas neste texto devem estar intrinsecamente ligadas à legislação e às Políticas Públicas.

Ressalta-se, finalmente, que as ações para a redução de perdas e danos nos eventos de inundação, enchente e alagamento, bem como em outros problemas geoambientais, não são de responsabilidade apenas do poder público, mas também da sociedade como um todo. E isso já está devidamente definido em nossa Carta Magna (Constituição), conforme o art. 5º:

“Art. 5º - Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”.

### Bibliografia recomendada

- CANHOLI, A.P. – Drenagem urbana e controle de enchentes. São Paulo: Oficina de Textos, 2005, 302 p.
- TUCCI, C.E.M. – Controle de enchentes. In: Hidrologia Ciência e Aplicação. Porto Alegre: ABRH- Editora UFRGS, 3ª ed., 2002, p. 621-58.

# Capítulo 4

## Erosão continental

Jair Santoro

“Eu penso sobre a exaustão de nossos recursos naturais, em especial da erosão do solo; e essa, talvez seja a mais perigosa delas, porque quando nós começarmos a sentir suas consequências, terá sido muito tarde”  
(Dalai Lama)



Processo erosivo na forma de boçoroca em Monte Alto, SP, 2007. Fonte: Acervo IG.



## CAPÍTULO 4

### EROSÃO CONTINENTAL

#### 4.1. Introdução

O processo erosivo causado pela água das chuvas ocorre na maior parte da superfície da terra, principalmente nas regiões de clima tropical, onde as chuvas atingem índices pluviométricos elevados. A erosão é agravada pela concentração das chuvas num determinado período do ano que, normalmente na Região Sudeste do Brasil, corresponde à primavera e ao verão.

Enquanto a dinâmica da erosão segue uma evolução natural, o sistema ambiental mantém-se em equilíbrio dinâmico. Porém, a partir das intervenções antrópicas, à medida que mais áreas são desmatadas para a produção agrícola, o processo de erosão tende a se acelerar. Os solos que ficam desprotegidos da cobertura vegetal são submetidos à ação das chuvas que passam a incidir diretamente sobre a superfície do terreno (Santoro, 1991 e 2000). A partir deste quadro de desequilíbrio, grande quantidade de solo é perdida pela aceleração da evolução dos processos erosivos. A erosão acelerada pelas atividades humanas é conhecida por erosão antrópica.

#### 4.2. Conceituação do fenômeno de erosão

Entende-se por erosão o processo de “desagregação e remoção de partículas do solo ou de fragmentos e partículas de rochas pela ação combinada da gravidade com a água, vento, gelo e/ou organismos (plantas e animais)” (IPT, 1986).

Com relação aos processos erosivos decorrentes da ação da água destacam-se dois tipos principais, de acordo com a forma como ocorre o escoamento das águas superficiais: a erosão laminar ou em lençol é produzida por escoamento difuso das águas de chuva, e a erosão linear, quando devido à concentração do escoamento superficial, resulta em incisões na superfície do terreno, em forma de sulcos que podem evoluir por aprofundamento, formando as ravinas. No entanto, se a erosão se desenvolve não somente pela contribuição das águas superficiais, mas também por meio das águas subsuperficiais, incluindo o lençol freático, ocorre a presença do processo conhecido por boçoroca ou vossoroca<sup>1</sup>, incluindo fenômenos de “piping” (erosão interna ou tubular) (Figuras 4.1 e 4.2).

O “piping” se dá pela remoção de partículas do interior do solo, formando canais que aumentam em sentido contrário ao do fluxo d’água, provocando colapsos do terreno, com desabamentos que alargam a boçoroca ou criam novos ramos. Devido a essa ação do fluxo de água subsuperficial, a boçoroca é um processo erosivo com alto poder destrutivo no qual atuam diversos fenômenos: erosão superficial, erosão interna, solapamentos, desabamentos e escorregamentos (Salomão & Iwasa, 1995). A contenção destes processos é bastante difícil, em geral, necessitam de obras de grande porte.

---

<sup>1</sup> etimologicamente, a palavra boçoroca provém do tupi-guarani ibi-çoroc, e tem o significado de terra rasgada, ou então de mbaê-çorogca, traduzível por coisa rasgada, Santoro, 1991.

**Erosão laminar** acontece quando a água escoar uniformemente pela superfície do terreno, transportando as partículas de solo, sem formar canais definidos (Figura 4.3). Apesar de ser uma forma mais amena de erosão, é responsável por grandes prejuízos às terras agrícolas e pelo fornecimento de grande quantidade de sedimentos que assoreiam rios, lagos e represas.

A **erosão linear** é aquela causada pela concentração do escoamento superficial e de fluxos d'água em forma de filetes. Sua evolução dá origem a três tipos diferentes de erosão:

**Sulco** - é um tipo de erosão no qual o fluxo d'água ao atingir maior volume transporta maior quantidade de partículas, formando incisões na superfície de até 0,5 m de profundidade e perpendiculares às curvas de nível;

**Ravinas** - são formas erosivas lineares com profundidade maior que 0,5 m, neste caso as águas do escoamento superficial escavam o solo até seus horizontes inferiores; possuem forma retilínea, alongada e estreita;

**Boçoroca** - é a forma mais complexa de erosão linear, neste caso ocorre o aprofundamento da erosão até atingir o nível freático que aflora no fundo do canal. Há, então, ação combinada das águas do escoamento superficial e subterrâneo, o que condiciona uma evolução da erosão lateral e longitudinalmente

(Proin/CAPES e UNESP/IGCE, 1999).

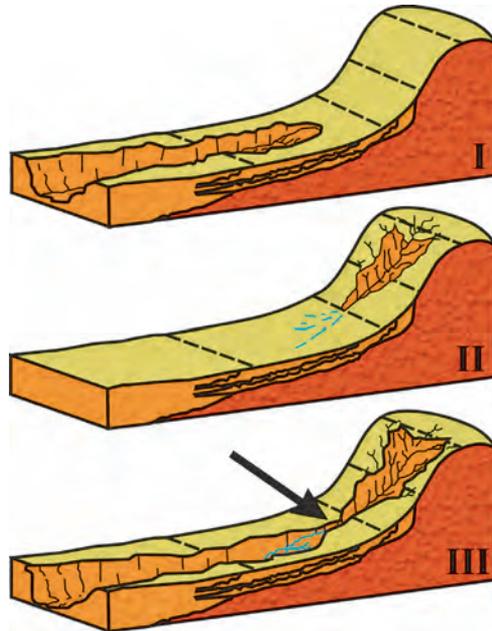
### 4.3. Fatores naturais que influenciam a erosão

De uma maneira geral, em quase todo solo removido pela erosão, há necessidade da presença da água sobre o terreno. Esta água que cai sob forma de chuva exerce ação erosiva sobre o solo. Estando desprotegido de vegetação ou mesmo das práticas conservacionistas, o solo sofre uma ação de desagregação com o impacto da gota de chuva, que depois o arrasta, principalmente nos primeiros minutos da chuva. A quantidade de solo removido depende muito das características do solo, da declividade do terreno e da intensidade da chuva.

Os diferentes fatores intervenientes no fenômeno da erosão podem ser analisados dentro dos seguintes itens: clima, cobertura vegetal, relevo e tipo de solo.

#### Clima

Dos fatores climáticos, o mais importante é, sem dúvida, a precipitação. A principal influência da precipitação no processo erosivo não é considerada apenas pela quantidade anual de chuva, mas principalmente pela distribuição das chuvas durante o ano, mais ou menos regular, no tempo e no espaço, e sua intensidade (Santoro, 1991).



**Figura 4.1** - Modelo de evolução de boçorocas: (I) boçoroca conectada à rede hidrográfica; (II) boçoroca desconectada da rede hidrográfica; (III) integração entre os dois tipos anteriores. A seta na figura III aponta para o degrau formado no momento da integração. (Fonte: Oliveira, 1989, modificado).



**Figura 4.2** - Processo erosivo na forma de boçoroca, na cidade de Rancharia - SP. (Fonte: Arquivo IG, 2001)



**Figura 4.3** - Erosão laminar em solo arenoso. (Fonte: Weill & Pires Neto, 2007).

Assim, nas regiões de precipitação abundante e regularmente distribuída, há geralmente a formação de solos profundos e permeáveis que resistem bem à erosão. Nestes solos desenvolvem-se florestas mais densas que os protegem totalmente do impacto das chuvas e retêm facilmente os materiais removidos pelo escoamento superficial.

Nas regiões em que as chuvas são mal distribuídas, havendo um período seco, como acontece nas regiões subtropicais, onde se encontra a maior parte da área cultivada

do Brasil, é bastante desastrosa a ação das chuvas da primavera e do verão, que encontram o solo desprotegido pelos cultivos, provocando bastante erosão. No Estado de São Paulo, as chuvas mais intensas acontecem no verão. Neste período do ano, em que são frequentes os temporais e pancadas de chuvas fortes, ocorre uma aceleração dos processos erosivos. Áreas desprotegidas desenvolvem erosão laminar e em sulcos. Ravinas e boçorocas avançam rapidamente, podendo gerar situações de risco ao atingirem áreas urbanas, com danos a moradias e vias de acesso.

### Cobertura vegetal

A cobertura vegetal é a defesa natural de um terreno contra os processos erosivos. Entre os principais efeitos da cobertura vegetal na proteção do solo, Bertoni & Lombardi Neto (1990), destacam os seguintes:

- proteção do solo contra o impacto das gotas de chuva;
- dispersão e interceptação das gotas d'água antes que esta atinja o solo;
- ação das raízes das plantas, formando poros e canais que aumentam a infiltração da água;
- ação da matéria orgânica que incorporada ao solo melhora sua estrutura e aumenta sua capacidade de retenção de água;
- diminuição da energia do escoamento superficial devido ao atrito na superfície.

As gotas de chuva ao caírem sobre a cobertura vegetal, são interceptadas pelas folhas, dividindo-se em diversas gotas menores, diminuindo, assim, seu impacto ao cair no solo. A vegetação também facilita a evaporação das gotas, antes destas chegarem ao solo. Na situação de um terreno descoberto, o impacto das gotas faz as partículas dos solos se desprenderem e serem facilmente transportadas pelo escoamento superficial, que por sua vez é facilitado devido à falta do atrito da vegetação no terreno, agravando a erosão. Além disso, a vegetação, ao se decompor, adiciona matéria orgânica e húmus, melhorando a porosidade e a capacidade de retenção de água no solo (Bertoni & Lombardi Neto, 1990).

### Relevo

Os fatores associados ao relevo que interferem nos processos erosivos são principalmente os relativos à declividade dos terrenos, às formas das vertentes (encostas) e à extensão da vertente.

A declividade tem influência decisiva na intensidade da erosão. A relação entre o aumento da declividade e o incremento da erosão, de acordo com as normas de conservação do solo, constitui, para certos terrenos, fator limitante da agricultura. Duley & Hays (*apud* Ayres, 1976), em experiências feitas em estufas e no campo, observaram que o escoamento aumenta rapidamente entre 0 e 3% de declive e, daí em diante, o seu aumento é relativamente menor para cada 1% de acréscimo na declividade.

O aumento da declividade de uma vertente provoca o aumento da velocidade do escoamento superficial e, como consequência, cresce também a sua capacidade erosiva,

passando a retirar do solo, partículas e materiais mais grosseiros que a argila e o silte. De acordo com Bertoni & Lombardi Neto (1990), o volume e a velocidade das enxurradas dependem diretamente do grau de declive da vertente. Por exemplo, se o declive do terreno aumenta quatro vezes, a velocidade do fluxo do escoamento superficial aumenta duas vezes e a capacidade erosiva quadruplica.

A extensão da vertente ou comprimento da rampa também é um fator importante, pois à medida que aumenta a distância percorrida pelo fluxo, há um acréscimo no volume de água, bem como um aumento progressivo da velocidade de escoamento. Assim, quanto maior o comprimento de rampa, maior o volume da enxurrada, que, por sua vez, provoca aumento da energia cinética, resultando em maior erosão (Bertoni & Lombardi Neto, 1990).

Quando se considera a forma da encosta, observa-se que as vertentes com formas côncavas, por serem concentradoras do escoamento superficial, são as mais estreitamente relacionadas à formação de boçorocas. Em estudo na Depressão Periférica Paulista, abrangendo a região de Casa Branca, Piracicaba, Rio Claro, São Pedro e Itirapina, Oka-Fiori & Soares (1976), verificaram que 95% das boçorocas se desenvolviam em encostas côncavas (Santoro, 1991).

### Tipos de solos

As variáveis físicas do solo, principalmente textura, estrutura, permeabilidade, profundidade e densidade, e as características químicas, biológicas e mineralógicas, exercem diferentes influências na erosão, ao conferir maior ou menor resistência à ação das águas.

A profundidade do solo tem grande influência na evolução da infiltração da água. Nos solos pouco profundos, de acordo com sua permeabilidade, a água encontra uma barreira intransponível na rocha matriz que ocorre a pequena profundidade, a qual sendo impermeável fará com que a água se acumule no perfil, saturando-o rapidamente. Isto permitirá o rápido aumento do escoamento superficial tendo, como consequência, o incremento da ação erosiva da chuva.

Os solos profundos, com textura mais ou menos homogênea em todo o seu perfil e com alta permeabilidade, não são facilmente saturados, mesmo em face de precipitações intensas. Estes solos são, portanto, menos sujeitos à erosão.

Há solos, entretanto, que apresentam uma variação muito intensa de textura nas diferentes camadas de seus perfis. Isto acarreta diferenças nas velocidades de infiltração a diversas profundidades, o que poderá torná-los facilmente erodíveis.

A permeabilidade, segundo Rubia & Blasco (*apud* Braun, 1961), é um fator importante no processo erosivo. Baixas permeabilidades acarretam aumento do escoamento superficial. No entanto, uma permeabilidade muito elevada pode ter também um efeito prejudicial, pois causa percolação excessiva provocando a erosão vertical, que é a lixiviação (transporte) das partículas menores do solo para as camadas inferiores.

A estrutura do solo de acordo com o grau de estabilidade que possui, isto é, a maior ou menor facilidade de formar agregados estáveis, tem importante influência na erodibilidade de um determinado solo. Isto depende da quantidade de argila, húmus e outros elementos coloidais presentes no solo.

A erodibilidade indica o potencial ou o grau de facilidade com que um determinado solo pode ser erodido, é uma característica intrínseca do solo. Solos mais arenosos, em geral, são mais facilmente erodidos que os solos argilosos. Assim, o conjunto das características dos solos, que, em grande parte, depende da rocha de origem (substrato rochoso) e de sua evolução ao longo do tempo, sob ação do clima e das formações vegetais, determinam a suscetibilidade dos terrenos à erosão.

#### 4.4. Condicionantes antrópicos

A ação humana interfere na dinâmica natural do sistema ambiental, normalmente acelerando a velocidade de mudança da condição natural. A degradação acelerada das terras é indicativa de uso e manejo mal conduzido que comprometem a sua manutenção, bem como o seu potencial para usos futuros. A erosão acelerada do solo provoca a perda de materiais, em especial de nutrientes e de matéria orgânica, desorganizando sua estrutura e levando a degradação deste importante recurso natural. Além disso, a erosão acelerada é considerada por diversos pesquisadores como sendo o processo que mais contribui para a degradação das terras produtivas em todo o mundo (Weill & Pires Neto, 2007).

De acordo com estes autores, os principais fatores que atuam na aceleração do processo erosivo em áreas agrícolas são, entre outros, a retirada da vegetação natural para uso agropecuário, o manejo inadequado de solos produtivos, o uso intensivo das terras com alta suscetibilidade à erosão e, sobretudo, a falta de planejamento do uso e ocupação do solo.

Nas áreas urbanas, a erosão avança agressivamente nos setores de expansão das cidades, por meio da abertura de novos loteamentos, os quais exigem para a sua implantação, grande movimentação e exposição de solos. Estes terrenos, sem a proteção da cobertura vegetal e das camadas superficiais do solo, tornam-se vulneráveis à ação das chuvas e do escoamento superficial das águas pluviais, propiciando a instalação da erosão acelerada. Associados aos aspectos da implantação destes empreendimentos, a escolha de locais geotecnicaamente inadequados, falta de infra-estrutura urbana, traçado inadequado do sistema viário e sistemas de drenagem mal concebidos e mal executados aceleram a ocorrência dos processos erosivos (Santoro, 2000).

Assim, as formas de intervenção humana que propiciam a erosão acelerada e que são denominadas de **condicionantes antrópicos**, incluem:

- desmatamento;
- movimento de terra;
- concentração do escoamento superficial das águas;
- uso inadequado dos solos agrícolas e urbanos.

#### 4.5. Danos provocados pela erosão

A evolução dos processos erosivos atinge o ponto de maior gravidade quando surgem sulcos, ravinas e boçorocas, que são capazes de mobilizar grandes quantidades de solo e destruir áreas urbanas e obras civis. A erosão hídrica, conforme El-Swaify (citado



**Figura 4.4** - Processo de assoreamento em drenagem em Americana, SP. (Fonte: Acervo IG, 1995).

por Weill & Pires Neto, 2007) é responsável por aproximadamente 55% dos quase dois bilhões de hectares de solos degradados no mundo.

Além da perda de solos, os processos erosivos causam outras consequências, como por exemplo: limitação da expansão urbana, interrupção do tráfego, transporte de substâncias poluentes agregadas aos sedimentos, desenvolvimento de focos de doenças, e assoreamento das drenagens. A erosão laminar carrega os sedimentos mais finos e, apesar de ser uma forma mais amena de erosão, é responsável por graves prejuízos às terras agrícolas e por provocar grandes assoreamentos pelo transporte de sedimentos para rios, lagos e represas.

Um dos mais graves impactos da erosão no meio ambiente, o assoreamento (Figura 4.4) altera as condições hidráulicas dos corpos d'água, provocando enchentes, diminuição da capacidade de armazenamento, destruição de ecossistemas devido ao carregamento de poluentes químicos e prejuízos para o abastecimento e produção de energia (Salomão & Iwasa, 1995).

Conforme visto anteriormente, a erosão pluvial linear é provocada pela retirada de material da parte superficial do solo pelas águas de chuva. Esta ação é acelerada quando a água da chuva encontra o solo desprotegido de vegetação. O impacto das gotas d'água sobre o solo provoca a desagregação de seus torrões, permitindo que o fluxo superficial transporte as partículas de solo (sedimentos) e os sais dissolvidos. As principais formas de erosão pluvial são: erosão laminar, sulcos, ravinas, e boçorocas.

As ravinas, que resultam da evolução de sulcos erosivos, podem atingir rapidamente alguns metros de profundidade. Como seu avanço é muito rápido, acarreta graves prejuízos podendo levar a total destruição de grandes superfícies de terras agrícolas, se não for combatida a tempo (Figuras 4.5 e 4.6). São responsáveis também pelo rápido assoreamento das várzeas, dos leitos fluviais, lagos e represas, facilitando o transbordamento das águas de seus cursos e provocando inundações.

Com o aprofundamento do processo erosivo linear, as ravinas podem atingir o lençol freático. Quando isto acontece, o fluxo natural da água subterrânea passa a atuar como transportador das partículas, do fundo da ravina, solapando sua base e provocando o



**Figura 4.5** - Processo erosivo na forma de sulcos. (Fonte: Arte de Produzir Água, 2009)



**Figura 4.6** - Processo erosivo na forma de ravina em Sumaré, SP. (Fonte: Acervo IG, 1995)

desmoronamento da cabeceira, no processo conhecido como erosão remontante. A feição daí resultante é conhecida como boçoroca ou vossoroca (Figuras 4.7 e 4.8). O fenômeno de “piping” (erosão interna que provoca a remoção de partículas do interior do solo, formando “tubos” vazios), que provoca colapsos e escorregamentos laterais do terreno, alargando a boçoroca ou criando novos ramos, ocorre quando a boçoroca atinge o seu limite de profundidade e passa a interceptar o lençol freático. Além deste mecanismo, as surgências d’água nos pés dos taludes da boçoroca provocam sua instabilização e descalçamento (Cunha & Guerra, 2000).



**Figura 4.7** - Processo erosivo na forma de boçoroca na cidade de São Pedro, SP. (Fonte: Santoro, 2000).



**Figura 4.8** - Moradias destruídas por processo erosivo, na forma de boçoroca, na cidade de Monte Alto-SP. (Fonte: Acervo IG, 2007).

A boçoroca resulta desta complexa interação de fenômenos que se manifesta nas grandes dimensões deste tipo de erosão (até dezenas de metros de largura e profundidade, com várias centenas de metros de comprimento) e na grande velocidade de avanço. A rápida evolução dos ramos ativos confere a esta forma de erosão, um alto potencial de destruição que pode atingir edificações, estradas e obras públicas (DAEE – IPT, 1989).

Estimativas recentes indicam que as perdas de solo, em áreas ocupadas por lavouras e pastagens no Brasil, provocadas por processos erosivos, são da ordem de 822,7 milhões de toneladas anuais (Pruski, 2006). Os prejuízos com as perdas de nutrientes associadas são aproximadamente de 1,5 bilhões de dólares, além de quase 3 bilhões de dólares em perdas na safra (reposição de nutrientes e queda de produtividade). Os custos dos impactos indiretos (tratamento da água, recuperação da capacidade de reservatórios, manutenção de estradas, recarga de aquíferos, irrigação, etc.) somam mais 1,31 bilhões de dólares anuais. Assim, estima-se que os prejuízos causados pela erosão no país sejam de mais de 5 bilhões de dólares/ano (Pruski, 2006; Cooper, 2009).

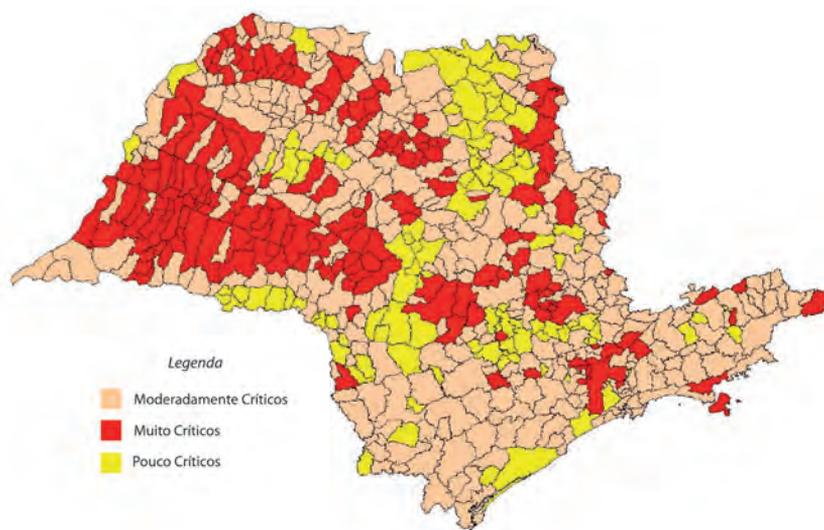
As áreas localizadas no noroeste do Paraná, Planalto Central, Oeste Paulista, Campanha Gaúcha, Triângulo Mineiro e médio Vale do Paraíba do Sul, são as mais críticas quanto à incidência de processos erosivos, e correspondem também, às áreas que têm sido mais estudadas devido à grande relevância da perda de solo e redução da produtividade (Botelho & Guerra, 2003).

Como exemplo, em relação ao médio Vale do Paraíba do Sul, estima-se que mais de um milhão de hectares estão com níveis de vulnerabilidade à erosão alta a muito alta. Esses processos erosivos vêm causando o assoreamento de forma acelerada do rio Paraíba do Sul e reservatórios do sistema Light-Cedae. Destaca-se nesta região, o município de Pinheiral (RJ), com aproximadamente 88% de suas terras classificadas de alta a muito alta vulnerabilidade. Neste trecho da Bacia do Paraíba do Sul, registra-se a segunda maior produção de sedimentos, cerca de cinco toneladas/hectare/ano. Parte destes sedimentos (680.800 toneladas por ano) está sendo transportada para o sistema Light-Guandu, que recebe dois terços da água do rio Paraíba do Sul para geração de energia e fornecimento de água potável. O rio Paraíba do Sul, juntamente com o rio Guandu, são os principais responsáveis pelo abastecimento de água para mais de 9 milhões de pessoas no Grande Rio (CEIVAP, 2002).

Para se ter uma idéia da dimensão do problema, essa boçoroca de tamanho médio que ocorre em Pinheiral (RJ), com cerca de 1000 m<sup>2</sup> de área, e profundidade média de 10 metros, resulta em 10.000 m<sup>3</sup> de volume. Isso equivale ao longo do desenvolvimento da boçoroca a 2.000 caminhões de terra, e que tem os rios e riachos como destino (CEIVAP, *Op. Cit.*).

Estudos de Castro (1991, citado por Weill & Pires Neto, 2007), estimaram as perdas de solo por erosão no Estado de São Paulo em aproximadamente 200 milhões de toneladas anuais.

No mapeamento realizado pelo IPT (1997) foram registradas cerca de 750 erosões de grande porte em áreas urbanas e 7000 distribuídas em todo o Estado. As principais causas



**Figura 4.9** - Mapa de criticidade dos municípios do Estado de São Paulo quanto a processos erosivos (SMA, 2007)

para o desencadeamento desses processos erosivos estão relacionadas a solos com problemas geotécnicos, desmatamento e a falta de Planos Diretores de Drenagem Urbana que orientam a urbanização. Esse diagnóstico, ainda aponta que 183 municípios foram considerados de alta criticidade. As cidades de Bauru, Franca, Presidente Prudente, Marília e São José do Rio Preto se destacaram por apresentar erosões de grande porte (Modaelli, *et al*, 2009).

Os dados do Relatório de Qualidade Ambiental do Estado de São Paulo de 2006 (SMA, 2007) apontaram que, cerca de 28% dos municípios do Oeste Paulista apresentou alta gravidade quanto à ocorrência de processos erosivos. A maioria dos municípios do Estado (55% do total) teve média gravidade e apenas 17% dos municípios paulistas (cerca de 110) foram considerados de baixa gravidade (Figura 4.9).

Com base nas Unidades de Gerenciamento dos Recursos Hídricos, este Relatório de Qualidade Ambiental forneceu dados relativos à avaliação do impacto da erosão nos recursos hídricos. Foram consideradas de alta criticidade, as bacias situadas na região Oeste do Estado de São Paulo, as quais correspondem às áreas que apresentam a maior parte das terras com alta suscetibilidade à erosão e onde se concentram também o maior número de feições erosivas lineares. Destacam-se como áreas críticas, as UGRHIs Tietê-Jacaré, Tietê-Batalha, Turvo-Grande, São José dos Dourados, Aguapeí, Peixe, Pontal do Paranapanema e Piracicaba, Capivari/Jundiaí. (SMA, 2007).

#### 4.5. Controle da erosão do solo

Como abordado anteriormente, o impacto da erosão acelerada provoca a degradação dos solos e comprometimento da qualidade ambiental. Entretanto, quando atinge áreas urbanas torna-se um grave perigo, podendo colocar a população em risco, como nos desabamentos de diversas moradias ocorridos em Monte Alto em março de 2007.

A intensificação dos processos erosivos é particularmente danosa para os recursos hídricos devido ao assoreamento de cursos d'água e de reservatórios. Um dos efeitos diretos do assoreamento é a maior frequência e intensidade de enchentes e inundações causando grandes transtornos e prejuízos às populações urbanas, principalmente aos moradores de áreas próximas aos cursos d'água.

A insuficiência das políticas públicas voltadas para o atendimento das necessidades habitacionais e de saneamento ambiental, conduz a um aumento de moradias precárias, de desmatamento e de movimento de terras sem qualquer controle. A implantação das cidades paulistas, em sua maioria e especialmente na Região do Oeste Paulista, nas áreas mais altas das colinas ou próximas a divisores de água, aceleram os processos erosivos. A instalação de conjuntos habitacionais e loteamentos em áreas geotecnicamente inapropriadas, em encostas com altas declividades ou fundos de vales, também contribuem para o incremento dos processos erosivos.

Assim, o controle da erosão em áreas urbanas, tem sido realizado de diversas formas pelos poderes públicos municipais e estadual, tanto de modo preventivo como corretivo, conforme descrito a seguir.

### Ações preventivas

São aquelas de caráter extensivo, contemplando grandes áreas. Podem ser de natureza institucional, administrativa ou financeira, sendo adotadas espontaneamente ou por força de legislação. Objetivam a convivência com os riscos, reduzindo a magnitude dos processos e orientando a população afetada. No geral não exigem a aplicação de vultosos recursos financeiros (PROIN/CAPES e UNESP/IGCE, 1999).

As principais práticas de conservação para o controle de erosão baseiam-se nos princípios básicos da manutenção de cobertura protetora à superfície do solo, aumento da infiltração da água no solo e o controle do escoamento superficial. Entre as principais medidas de controle de erosão destacam-se as coberturas vegetativas, como meio de proteger o solo do impacto das gotas de chuva e diminuir a ação da enxurrada. Outra prática é a que tem por finalidade melhorar ou corrigir aspectos de qualidade do solo, tais como calagem e adubação verde, refletindo na densidade da cobertura vegetal do solo. Empregam-se também as práticas mecânicas, que são aquelas que recorrem a estruturas artificiais baseadas na disposição adequada de porções de terra no terreno que diminuem a velocidade de enxurrada e favorecem a infiltração da água no solo. A prática mecânica mais conhecida e utilizada é o terraceamento agrícola (Weill & Pires Neto, 2007).

Dentre os instrumentos técnicos mais indicados à prevenção de erosão acelerada destacam-se os mapas geotécnicos ou geoambientais, os quais por meio da caracterização e análise dos fatores naturais que influenciam a ocorrência de processos erosivos indicam a suscetibilidade ou potencial do terreno em desenvolver estes processos. Estas informações são importantes para orientar o uso e ocupação do solo, podendo ter aplicação em instrumentos legais de disciplinamento do uso do espaço territorial, como nos planos diretores municipais.

Como exemplo destes estudos, pode-se citar o trabalho de Ferreira e Pejon (2004) que realizaram um mapeamento da distribuição de materiais inconsolidados (solos) em

área degradada, com elevado número de feições erosivas, na cabeceira da bacia do Córrego do Tuncum, no município de São Pedro (SP).

Outro exemplo é o estudo de Lorandi *et al* (2001), que elaborou a carta de potencial à erosão laminar da parte superior da Bacia do Córrego do Monjolinho, no município de São Carlos, SP. Este trabalho de caráter preventivo mostra que mesmo áreas com potencial moderado à ocorrência de processos erosivos (47% da área total) requerem a adoção de medidas para se evitar o desenvolvimento e intensificação de processos erosivos dos tipos ravinas e boçorocas.

Santoro (2000) também realizou no município de Campinas estudo em que elaborou Carta de Suscetibilidade Natural à erosão hídrica e apresentou propostas de medidas de controle.

Outro instrumento técnico que vem sendo utilizado em áreas urbanas é o mapeamento de áreas de risco à erosão, como o realizado pelo Instituto Geológico em 2008 (Figura 4.10), no município de Monte Alto (SP), por meio de Termo de Cooperação Técnica firmado entre o IG e a CEDEC (Coordenadoria Estadual de Defesa Civil). Neste mapeamento, foram identificados 8 setores de risco nas áreas urbanas mais críticas a processos erosivos, sendo 5 setores de risco alto e muito alto e 3 setores de risco médio, compreendendo ao todo 35 moradias em risco. Para a minimização e o controle do risco, recomendou-se que os setores com classes de risco mais altas devem ser priorizados quanto à implantação de medidas preventivas e numa segunda etapa, os demais setores, de risco médio, devem ser contemplados.

O mapa de risco à erosão é um documento que fornece subsídios aos poderes públicos estaduais e municipais, para a identificação e o gerenciamento das situações de risco relacionadas à erosão em áreas urbanas e residenciais.



**Figura 4.10** - Mapa da distribuição das áreas de risco a erosão no município de Monte Alto – SP. (Fonte: Instituto Geológico, 2008)

### Ações corretivas

São ações voltadas para evitar a ocorrência ou reduzir a magnitude dos processos geológicos e hidrológicos, através da implantação de obras de engenharia. Normalmente estas obras são de custo elevado e contemplam soluções para áreas restritas (PROIN/CAPES e UNESP/IGCE, 1999).

Ações corretivas de controle da erosão urbana necessitam de estudos detalhados de caracterização dos fatores e mecanismos relacionados às causas do desenvolvimento dos processos erosivos.

“As soluções para a correção dos problemas erosivos, passam pela necessidade de desenvolvimento de soluções normativas de projetos e obras adequadas para cada situação do meio físico encontrado” (DAEE – IPT, 1989).

Destaca-se, assim, que não existe um tipo de obra adequada para toda e qualquer situação. E as soluções econômicas e simples podem ter eficácia se forem aplicadas no início do desenvolvimento dos processos. Entretanto, de um modo geral, as ações de contenção dos processos erosivos, segundo DAEE – IPT (1989) devem contemplar as seguintes medidas:

- Implantação de microdrenagem - visam evitar o escoamento das águas pluviais diretamente sobre o solo, por meio de estruturas de captação e condução das águas superficiais.
- Implantação de macrodrenagem - são obras responsáveis pelo escoamento final das águas pluviais drenadas do sistema de micro drenagem urbana.
- Obras de extremidades - são estruturas de controle e dissipação da energia das águas nos pontos de lançamento.
- Pavimentação - implantação de guias, sarjetas, bocas de lobo e asfaltamento em pontos com movimentação de terra, vias de acesso e deslocamentos.
- Disciplinamento das águas subterrâneas - execução de drenos profundos (dreno cego, dreno com material sintético, dreno de bambu).
- Estabilização dos taludes resultantes do movimento de terra - obras de aterro e de retaludamento.
- Conservação das obras implantadas - realização de reparos periódicos em obras já executadas e que apresentem sinais de desgaste.

### Políticas públicas de controle de erosão no estado de São Paulo

No âmbito do Estado de São Paulo, destacam-se algumas iniciativas de órgãos estaduais que visam o controle de processos erosivos, tanto em áreas rurais como urbanas.

O “Programa Estadual de Microbacias Hidrográficas”, implementado em 2000 pela Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo (SAA) e desenvolvido pela Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI) com apoio do Banco Mundial. O programa, que inclui serviços de motomecanização para o controle de ravinas e boçorocas, orienta os agricultores a adotarem práticas conservacionistas, como a utilização do sistema de plantio direto na palha residual da colheita anterior, a recuperação

das matas ciliares e o controle da erosão. Este Programa, já foi implantado em cerca de 72 mil hectares em todo o Estado, tendo controlado mais de 2.500 boçorocas.

A Coordenadoria de Defesa Agropecuária (CDA/SAA) também capacita produtores e técnicos agrícolas quanto à Lei de Conservação do Solo e atua na fiscalização em áreas críticas. O Programa “Melhor Caminho” desenvolvido pela Companhia de Desenvolvimento Agrícola de São Paulo (CODASP), desde 1997, consiste na conservação e recuperação de estradas rurais, preservando os recursos naturais, em especial a água e o solo, prevenindo e controlando os processos erosivos decorrentes do escoamento das águas pluviais (SAA, 2009).

No Plano Estadual de Recursos Hídricos (DAEE, 1990), implantado desde 1985, realiza-se o levantamento de áreas vulneráveis à erosão e o estudo de medidas preventivas com uso de tecnologias apropriadas e de baixo custo e da aplicação de medidas corretivas, para a recuperação de áreas degradadas. Os trabalhos de levantamentos já foram concluídas nas bacias do Alto e Baixo Paranapanema, Peixe-Santo Anastácio e Aguapeí; Tietê-Batalha, Tietê-Jacaré, Baixo Tietê e São José dos Dourados e Alto Pardo-Mogi, Baixo Pardo-Mogi, Pardo-Grande, Sapucaí-Grande e Turvo-Grande. Encontra-se em execução nas Bacias do Piracicaba e Tietê-Sorocaba.

Os levantamentos já realizados abrangem cerca de 180 mil km<sup>2</sup> (75% da área do Estado) compreendendo 404 municípios. Dentre estes, 48 municípios foram considerados críticos quanto à degradação dos recursos hídricos por erosão. Destaca-se que as regiões das bacias do Alto e Baixo Paranapanema e Peixe-Santo Anastácio, foram consideradas as mais críticas, onde verificou-se a ocorrência de boçorocas em 80% dos municípios, dos quais 31 municípios encontram-se em situação mais grave.

O Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO) que tem financiado obras de controle de erosão, de 1995 até 2008, investiu mais de 370 milhões de reais, nas bacias hidrográficas, sendo aproximadamente 12%, voltado para obras de controle da erosão urbana, como a implantação de galerias de águas pluviais (Modaelli *et al.* 2009).

A Defesa Civil Estadual também tem apoiado os municípios, financiando obras preventivas e de recuperação, como a construção de galerias de águas pluviais para controle de erosão em caráter emergencial.

A Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, por meio da Coordenadoria de Planejamento Ambiental (CPLA), estruturou com a CATI/SAA, uma linha de ação para promover a agricultura sustentável apoiada nas diretrizes do Programa Estadual de Microbacias Hidrográficas (PEMB). Esta linha de ação, que conta com apoio do programa Nacional do Meio Ambiente (PNMA II), visa principalmente à proteção e conservação dos mananciais de abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo por meio das seguintes metas (SMA, 2009):

- Redução do uso de agrotóxicos e fertilizantes nas microbacias;
- Redução da carga orgânica rural lançada nos corpos d'água;
- Recomposição das matas ciliares e proteção das nascentes;
- Redução do consumo de água na irrigação e
- Apoio à adoção de práticas conservacionistas.

Além desta ação a Secretaria do Meio Ambiente também desenvolve outros programas que contribuem à conservação do solo, tais como: educação ambiental, gestão e controle da qualidade ambiental, gestão e planejamento ambiental, gestão dos recursos hídricos e proteção e recuperação da biodiversidade e dos recursos naturais.

#### 4.6. Considerações finais

Alguns programas de controle de erosão urbana, no Estado de São Paulo, têm sido desenvolvidos com o enfoque de que a prevenção é a melhor estratégia para se evitar a ocorrência destes processos. Estes programas têm sido executados por meio de convênios firmados entre municípios e órgãos estaduais.

Outras ações do Governo Estadual também contribuem para a conservação do solo, como o protocolo agroambiental para o fim das queimadas que, com a adesão de usinas e produtores de cana, definiu para 2014 o prazo de término da queima da palha antes da colheita, em áreas mecanizáveis e para áreas não mecanizáveis até 2017.

Como discutido ao longo deste capítulo, os processos erosivos acelerados provocam graves prejuízos ambientais e sócio-econômicos, necessitando para prevenir ou corrigir seu avanço de adequado planejamento do uso e ocupação do solo, como os Planos Diretores Municipais para as áreas urbanas, que considerem as características do meio físico e contemplem o planejamento da drenagem urbana. Nas áreas rurais, deve ser combatida a retirada da vegetação nativa, as queimadas, o manejo inadequado do solo e o uso de áreas suscetíveis à erosão.

Desta forma, o diagnóstico de campo juntamente com a análise da legislação atual, mostra que uma política de prevenção e controle da erosão urbana deve abranger medidas e ações de planejamento urbano, de disciplinamento legal do uso e ocupação do solo, e de desenvolvimento de um código de obras específico.

#### Bibliografia recomendada

- CHRISTOFOLETTI, A. 1980. Geomorfologia. São Paulo, Edgard Blücher. 2ª Ed.
- EMBRAPA. 1999. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 412p.
- GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. (Eds.). 1998. Geomorfologia, uma atualização de bases e conceitos. 3a Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.
- GUERRA, J. T.; SILVA, A. S. DA & BOTELHO, R. G. M. (Org.). 1999. Erosão e Conservação dos Solos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.
- LEPSCH, I.F. 1976. Solos: formação e conservação. São Paulo, Melhoramentos, Instituto Nacional do Livro. Editora da Universidade de São Paulo.
- MMA. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. 2004. Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca. Brasília: MMA/SRH, 2004. Disponível em: <http://desertificacao.cnrh-shr.gov.br>.
- PRUSKI, F.F. 2006. Conservação do solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica. Viçosa: UFV, 240p.

ROCHA, J.V., WEILL, M. DE A. M.; LAMPARELLI, R. A. C. 2000. Diagnóstico do Meio Físico e Estabelecimento de Diretrizes para o Controle de Erosão na Bacia do Rio Mogi-Guaçu (SP): Relatório Final. Campinas, SP, UNICAMP/FEAGRI, 2000. 80p.

SANTOS, R. F. (org.). 2007. Vulnerabilidade Ambiental. Brasília, MMA, 192 p.

# Capítulo 5

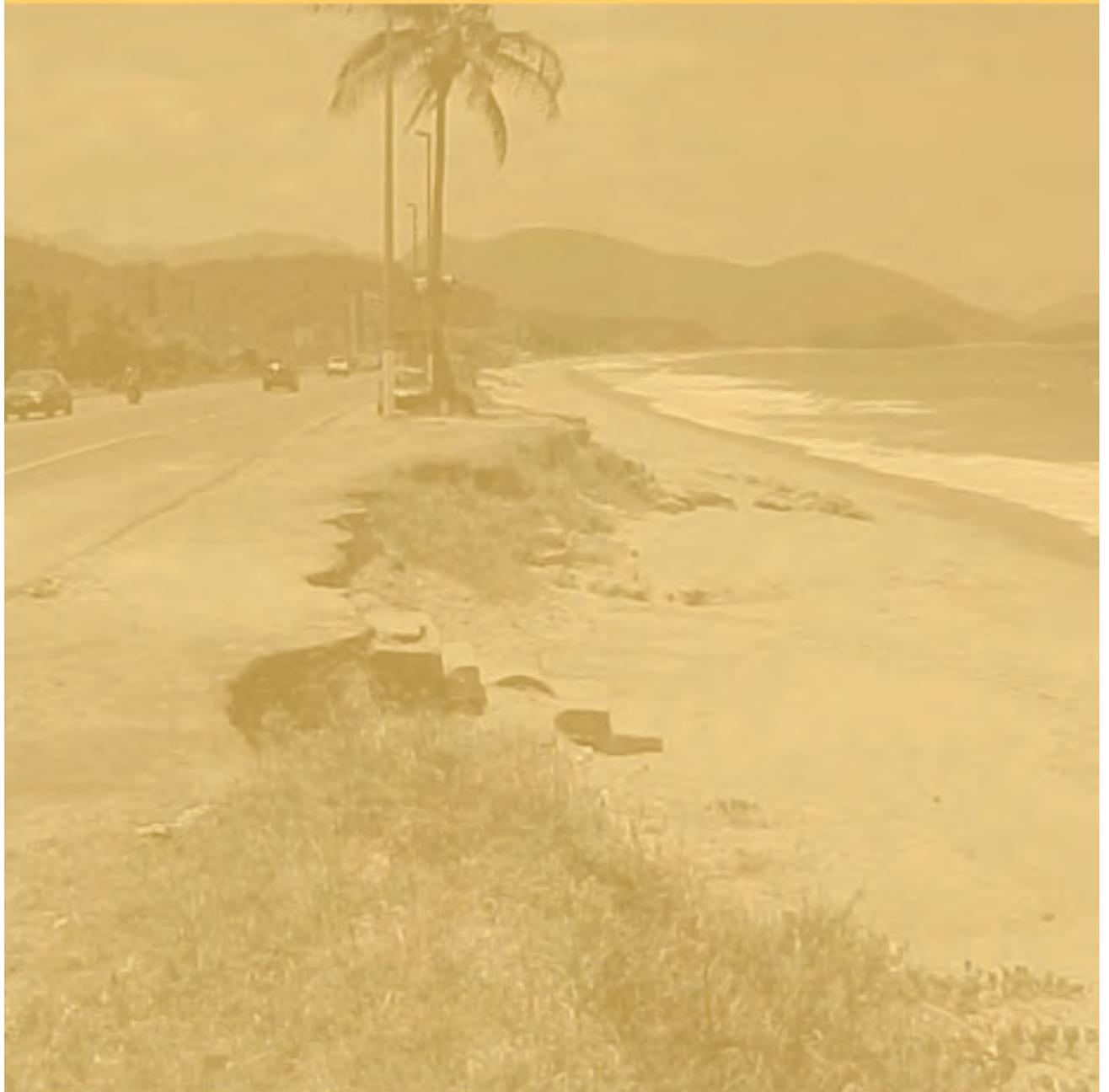
## Erosão costeira

Celia Regina de Gouveia Souza

“Eu não posso pensar em algo mais importante do que a preservação da diversidade em nossos oceanos. Talvez possamos nos adaptar ao aquecimento global, e talvez podemos sobreviver a uma extinção maciça de espécies, mesmo em terra. Mas eu sei que se matarmos os oceanos vamos nos matar. A diversidade é a preservação da vida.”  
(Instituto Sea Shepherd do Brasil)



Erosão Costeira em Ubatuba (Praia Barra Seca), SP, 2001. Fonte: Acervo IG



## CAPÍTULO 5

### EROSÃO COSTEIRA

#### 5.1. Introdução

Dentre todos os ecossistemas costeiros, as praias oceânicas são os mais dinâmicos e sensíveis, pois resultam da interação entre diversos processos marinhos e continentais, que atuam em ampla variação de escala temporal, entre curtas flutuações (diárias, semanais e mensais) até flutuações de longo período (até milhares de anos) (Souza, 2001).

Desde a pré-história, as praias oceânicas vêm desempenhando múltiplas funções sócio-ecológicas, destacando-se: proteção costeira natural para os ecossistemas adjacentes ou mesmo os equipamentos urbanos, contra o ataque de ondas e marés de tempestade; habitat para várias espécies animais e vegetais; recreação e lazer; esportes; turismo; e atividades econômicas diretas e indiretas (Souza *et al.*, 2005; Souza, 2009a).

Um dos principais problemas ambientais da zona costeira mundial, na atualidade, é a erosão costeira ou praial. Dados relativos à década de 1990 mostravam que, já naquela época, 70% das praias arenosas do planeta estavam em erosão, 20% em deposição e apenas 10% se encontravam em relativa estabilidade (Bird, 1999). As razões para essa predominância de erosão ou retrogradação da linha de costa no mundo foram atribuídas a causas naturais e antrópicas. Entretanto, a maioria dos autores acreditava e ainda acredita que a principal causa esteja relacionada à elevação do nível relativo do mar (NM) durante o último século. Bruun & Schwartz (1985), por exemplo, concluíram que entre 10 e até 100% das causas da erosão observada nas praias arenosas do planeta podem ser atribuídas à elevação atual do NM. Para os próximos 90 a 100 anos, as previsões do Painel Intergovernamental para as Mudanças Climáticas (IPPC, 2007) prevêem uma elevação do NM entre 0,18 e 0,59 m, para um aumento da temperatura do planeta da ordem de 1,8 a 4,0° C. Entretanto, outros grupos de cientistas, a exemplo de Rohling *et al.* (2007), afirmam que essa elevação do NM será bem maior, de até 1,6 m. De qualquer forma, os estudos indicam que, mesmo que as emissões de CO<sub>2</sub> sejam reduzidas e estabilizadas, a temperatura da superfície do planeta continuará se elevando (embora mais lentamente) durante um século ou mais, da mesma forma que o NM também continuará a subir por muito mais tempo, devido aos efeitos inerciais que envolvem esses processos.

Portanto, é certo de que nas próximas décadas a erosão costeira deverá se intensificar em todo o mundo, e poderá provocar o desaparecimento de vastas áreas costeiras e até de países inteiros (os chamados países-ilha).

No Brasil e mesmo no Estado de São Paulo, a situação não é e nem será diferente da maioria dos outros países. Inúmeras praias já apresentam processo erosivo bastante severo, requerendo medidas emergenciais de contenção e/ou recuperação (Souza, 2009b).

O agravante é que, tanto em relação às praias quanto à erosão costeira, em nosso país são ainda embrionárias as diretrizes para atuação do poder público e, mais especificamente, as ações de gerenciamento costeiro no que tange ao estabelecimento de regras claras sobre certos usos das praias e restrições às intervenções antrópicas na linha de

costa. Da mesma forma, as políticas de planejamento e ordenamento territorial pouco têm incorporado os conhecimentos científicos disponíveis sobre o tema, resultando, muitas vezes, no desperdício de recursos públicos com obras de engenharia costeira que acabam não cumprindo seu papel, mas acelerando a erosão e aumentando as situações de risco e a vulnerabilidade de pessoas e bens ao processo (Souza, 2009b).

Este capítulo apresenta alguns conceitos importantes sobre o ambiente físico das praias, o fenômeno da erosão costeira e suas consequências, suas causas naturais e antrópicas no Brasil, os riscos associados, e a proposição de recomendações e idéias para ações preventivas futuras para minimizar a erosão costeira e seus impactos.

**Erosão Costeira** é o processo de erosão ou retrogradação da linha de costa, devido a causas naturais e antrópicas.

## 5.2. Conceitos importantes

O tema abordado envolve o conhecimento prévio de alguns conceitos importantes sobre: o ambiente praial, os processos naturais que nele atuam e a sua dinâmica, bem como o estado da arte da erosão costeira no Brasil e em São Paulo. Por último, são apresentados alguns aspectos da legislação ambiental brasileira envolvendo o ambiente praial.

### 5.2.1. Praias oceânicas

As praias oceânicas constituem um conjunto de zonas denominado de sistema praial (Figura 5.1). Este perfil apresenta como limite superior ou interno (no sentido do continente) a linha de vegetação permanente, ou qualquer alteração fisiográfica brusca (falésia, duna ou mesmo estruturas construídas pelo homem como muretas, muros, anteparos etc.); e como limite inferior ou externo (no mar) o nível base de ação das ondas normais, ou profundidade de fechamento da praia. Abaixo desta área está a zona de transição para a plataforma continental interna (zona de costa-afora), sendo o limite entre ambas o nível base das ondas de tempestade.

As praias oceânicas variam suas características físicas (granulométricas e morfológicas), e até certo ponto também as bióticas, em função de condicionantes geológicos, geomorfológicos e oceanográficos locais (Souza, 2009a). Dentre os principais condicionantes geológicos-geomorfológicos estão as características fisiográficas da planície costeira e da plataforma continental adjacentes à praia. Os condicionantes oceanográficos, que de certa forma também dependem da fisiografia costeira, determinam o clima de ondas (ex. altura e período das ondas) e as condições de maré e vento, sendo fortemente influenciados pela dinâmica climática regional.

Essas características físicas da praia correspondem ao estado morfodinâmico da praia. De maneira genérica, os estados morfodinâmicos podem ser atribuídos a três tipos principais: dissipativo (praias amplas, de areias finas, perfil plano e suave, larga zona de surf e várias quebras de ondas), reflexivo (praias de menor extensão, de perfil íngreme

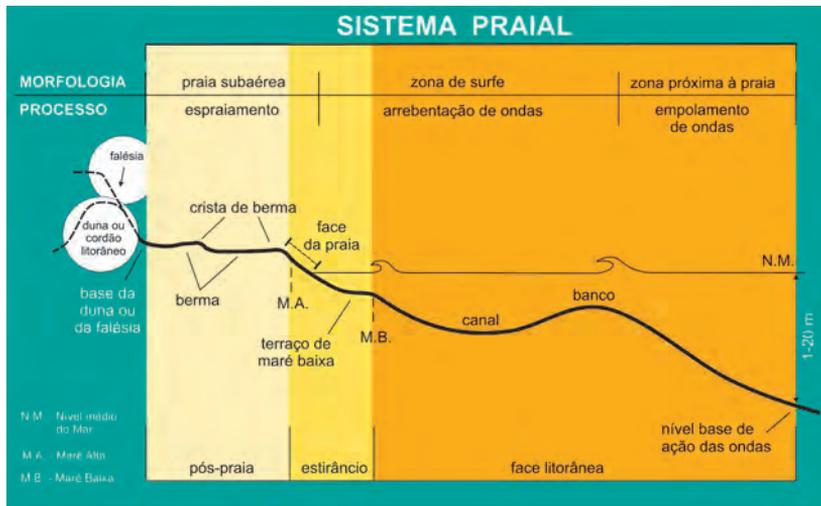


Figura 5.1 - O sistema praial (Fonte: Souza *et al.*, 2005).

com bermas, em geral formadas de areias muito grossas a grossas, com zona de surfe muito estreita e uma quebra de ondas na face praial), e intermediário (Souza, 2009a). Este último, segundo Short (1999), é formado por quatro sub-tipos. Masselink & Short (1993) definiram ainda um tipo denominado ultradissipativo, no qual predomina a ação das marés.

A classificação morfodinâmica das praias do Estado de São Paulo é encontrada nos trabalhos de Souza & Suguio (1996), Souza (1997, 2001).

### 5.2.2. Erosão costeira e praial

Os processos sedimentares (erosão, deposição e transporte) que ocorrem em uma praia são produto de fatores meteorológicos/climáticos, oceanográficos/hidrológicos, geológicos e antrópicos (Souza, 1997). Os fatores meteorológicos/climáticos têm maior influência nas variações do NM (de curto e longo períodos) e na atuação dos ventos, agindo no comportamento do clima de ondas e, conseqüentemente, interferindo nas características das correntes costeiras. Os fatores oceanográficos/hidrológicos envolvem a ação de ondas e marés, e as correntes geradas por esses agentes. Dentre os diversos fatores geológicos atuantes no litoral, os de maior importância para as praias são os processos sedimentares que determinam o seu balanço sedimentar (Figura 5.2). Os fatores antrópicos compreendem as interferências do homem nos ecossistemas costeiros, modificando os fatores naturais.

O balanço sedimentar de uma praia é a relação entre perdas/saídas e ganhos/entradas de sedimentos nessa praia. Essas trocas podem ocorrer entre a praia e o continente, a plataforma continental e a própria praia. O homem pode também tornar-se um agente direto dessas trocas, através da retirada/mineração de areia das praias e da realização de projetos de alimentação ou engordamento artificial de praias.

Assim, quando o balanço sedimentar na praia for negativo, ou seja, quando a saída/perda de sedimentos é maior do que a entrada/ganho de sedimentos, haverá um déficit sedimentar, predominando a erosão da praia, com diminuição paulatina de sua largura e a retração da linha de costa. Se o saldo for positivo, a praia tenderá a crescer em largura pela deposição predominante de sedimentos, e a linha de costa progradará. No balanço igual a zero haverá o equilíbrio do sistema praial.

A erosão em uma praia se torna problemática quando passa a ser um processo severo e permanente ao longo de toda essa praia ou em trechos dela, ameaçando áreas de interesse ecológico e socioeconômico (Souza *et al.*, 2005). Nessas condições passa a ser denominada de erosão praial, quando se refere somente às praias, ou erosão costeira, quando além delas, também atinge toda a linha de costa, incluindo promontórios, costões rochosos, falésias e depósitos sedimentares antigos, bem como estruturas construídas pelo homem. O fenômeno deve merecer atenção, pois a costa está com balanço sedimentar negativo e, portanto, em risco.

Segundo Clark (1993) e Souza *et al.* (2005), as áreas com problemas de erosão costeira/praias são aquelas que apresentam pelo menos uma das seguintes características:

- altas taxas de erosão ou erosão recente significativa;
- taxas de erosão baixa ou moderada em praias com estreita faixa de areia e localizadas em áreas altamente urbanizadas;
- praias que necessitam ou que já possuam obras de proteção ou contenção de erosão;
- praias reconstruídas artificialmente e que seguem um cronograma de manutenção.

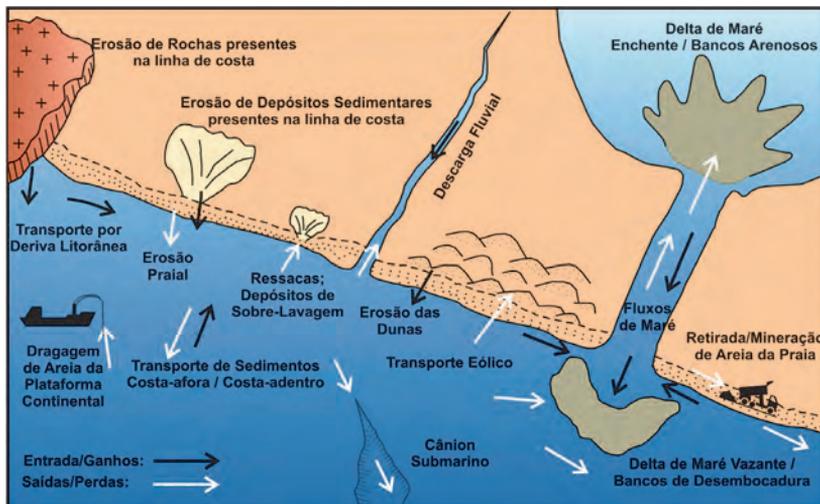


Figura 5.2 - Balanço sedimentar de uma praia.  
(Fonte: Souza, 2009a).

### 5.2.3. Erosão costeira no Brasil e em São Paulo

No Brasil, os estudos sobre erosão costeira ganharam grande expressão a partir da década de 1990 (Souza *et al.*, 2005). Também a partir dessa década começaram os principais trabalhos sobre cálculos das variações seculares do NM por meio da análise de séries históricas de registros maregráficos (Mesquita, 2003).

Souza *et al.* (2005), no capítulo sobre “Praias e Erosão Costeira” do livro “Quaternário do Brasil”, elaboraram uma compilação dos vários trabalhos até então publicados sobre o tema no Brasil. Em 2006, a partir de uma iniciativa do Ministério do Meio Ambiente, foi editado o livro “Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro” (Muehe, 2006), que pretendeu mostrar o estado da arte do tema no Brasil, além de reunir alguns levantamentos realizados especialmente para o livro. Os resultados mostraram que ao longo de todo o litoral brasileiro há predomínio de processos erosivos sobre os de acreção e equilíbrio.

Em São Paulo, os estudos realizados sobre o tema começaram no início da década de 1990, com a identificação do fenômeno em inúmeras praias e o início do monitoramento de indicadores de erosão costeira (Souza & Suguio, 1996; Souza, 1997, 2009a, 2009b; Souza *et al.*, 2005). Esses indicadores representam cicatrizes e assinaturas dos processos erosivos nas praias. Após 1997, o monitoramento desses indicadores prosseguiu, levando à proposição de uma classificação de risco à erosão costeira em função do número desses indicadores e de sua distribuição espacial ao longo da linha de costa (Souza, 2001, 2007, 2009a; SMA, 2002; Souza & Suguio, 2003).

A Figura 5.3 mostra o Mapa de Risco à Erosão Costeira atualizado para as praias paulistas. De acordo com esse mapa, 33,3% dessas praias encontram-se sob risco Muito Alto (MA), 20,7% em risco Alto (A), 25,3% sob risco Médio (M), 18,4% em risco Baixo (B) e apenas 2,3% (correspondem a apenas 2 praias) estão sob risco Muito Baixo (MB). Em relação a cada um dos três setores costeiros paulistas, tem-se o seguinte panorama: Litoral Norte - MA = 22,4%; A = 24,3%; M = 27,5%; B = 22,4%; MB = 3,4%; Baixada Santista - MA = 52,3%; A = 13%; M = 21,7%; B = 13%; MB = 0%; e Litoral Sul - MA = 50%; A = 12,5%; M = 25%; B = 12,5%; MB = 0% (Souza, 2009a).

A Figura 5.4 mostra exemplos de praias paulistas sob risco muito alto de erosão costeira.

### 5.2.4. As Praias e os dispositivos legais vigentes

No Brasil, são escassos os instrumentos legais ambientais que tratam especificamente das praias, o que favorece em muito os usos irregulares e inadequados desses ambientes (Souza, 2009b).

Em nível federal, destacam-se apenas três instrumentos que se referem ao ambiente praiial e sua importância: Decreto-Lei nº 9.760/1946 (Terrenos de Marinha), Lei Federal nº 7.661/1988 (Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro) e Decreto Federal nº 5.300/2004 (Gerenciamento Costeiro).

Em todos esses ditames, embora haja uma preocupação ambiental, não há quaisquer normas ou menções sobre atividades e usos antrópicos diretos nas praias, ou restrições à construção de obras de engenharia na orla e sobre as praias (incluindo

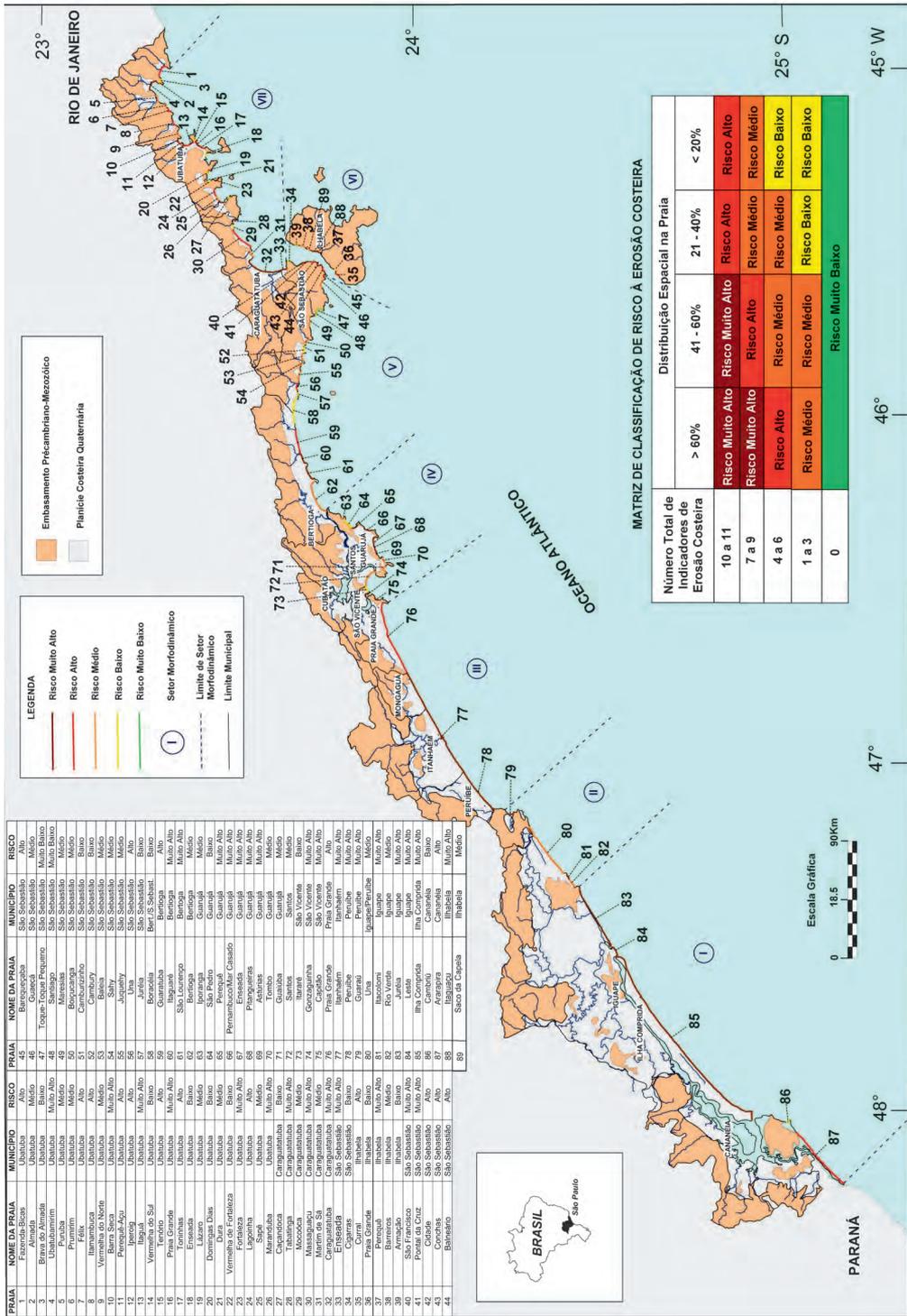


Figura 5.3 – Mapa de Risco à Erosão Costeira para o Estado de São Paulo (Fonte: SMA, 2002; Souza, 2007, 2009a, 2009b).

construções privadas, equipamentos urbanos públicos e privados, obras de proteção costeira, estruturas de apoio náutico, quiosques etc.) e a retirada de areia das praias, prática tão comum em nossos municípios costeiros, a qual não é caracterizada como mineração (Souza, 2009b). Sabe-se que parte dos processos de erosão costeira são causados por essas intervenções antrópicas.

Nos próprios instrumentos de apoio ao gerenciamento costeiro não são estabelecidos princípios de ordenamento territorial, nem parâmetros de cunho urbanístico na orla, nem há disciplinamento de aproveitamento dos recursos naturais, tampouco regras ou diretrizes de proteção às praias.

Da mesma forma, os instrumentos legais federais que determinam áreas de preservação permanente na orla marítima, como o Código Florestal (Lei Federal nº 4771/1965) e a Resolução Conama nº 303/2002, somente se referem aos ambientes de planície costeira contíguos à praia.

Uma única referência encontrada sobre restrições de algum tipo de atividade nas praias está no Decreto Federal nº 87.648/1992 (Regulamenta o Tráfego Marítimo), que diz que a fiscalização das praias compete à Capitania dos Portos, através da Polícia Naval (na prática isso não acontece). O Artigo 321 desse Decreto cita que é vedada a extração de areias e pedras das praias e, em geral, qualquer escavação no litoral praiano e suas enseadas. Entretanto, na prática, essa referência não é obedecida e na maioria das vezes sequer (re)conhecida.

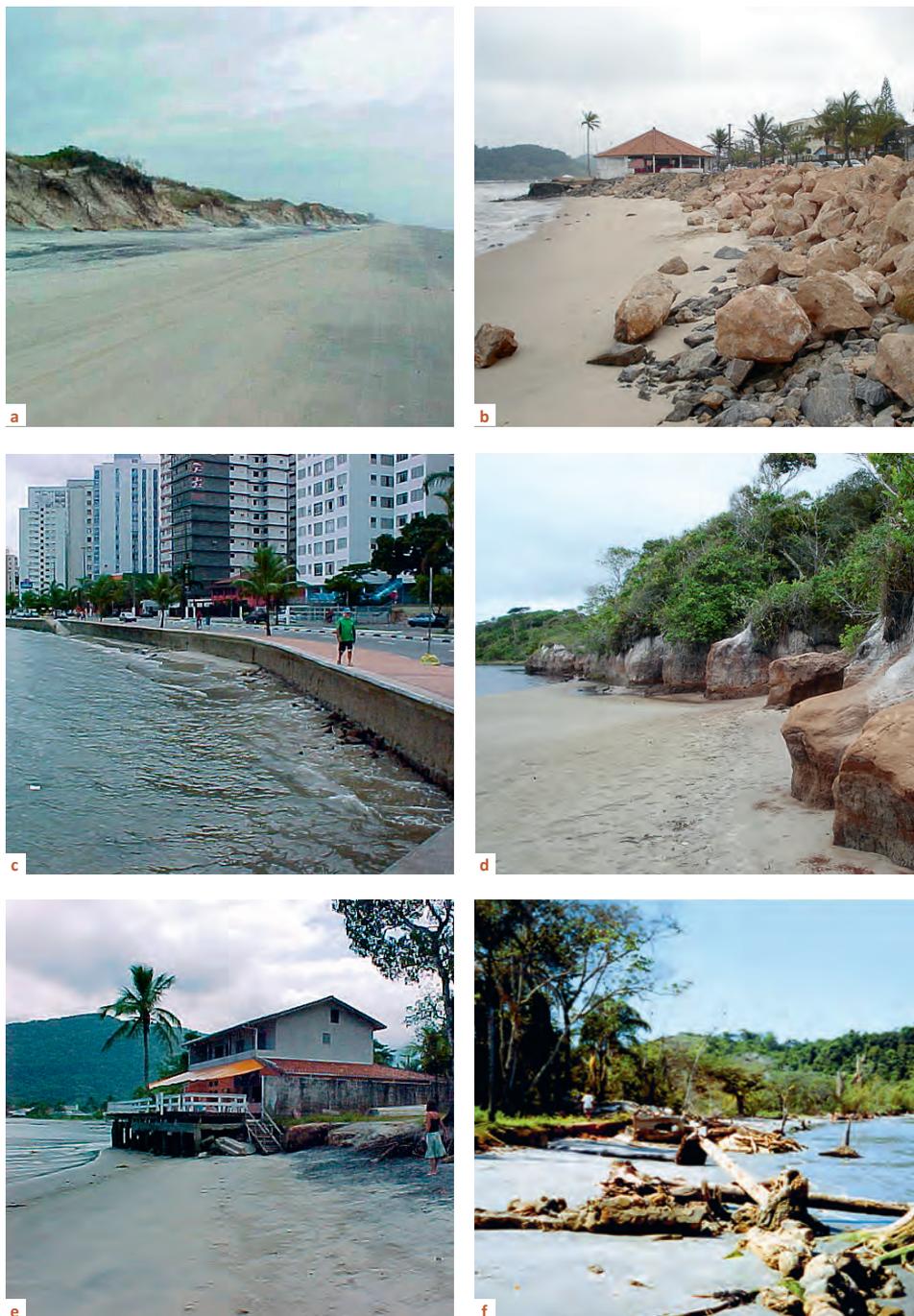
Para o Estado de São Paulo, os principais instrumentos de gestão dos ambientes costeiros são a Lei nº 10.019/1998, que regulamenta o Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro, e o Decreto nº 49.215/2004, que institui o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) para o Litoral Norte (este instrumento ainda não foi regulamentado para os outros três setores costeiros). Entretanto, em ambos não há qualquer referência de proteção ou normas de uso e disciplinamento de atividades ou de intervenções ambientais nas praias.

### 5.3. Causas e consequências da erosão costeira

Embora a erosão costeira seja essencialmente produto de um balanço sedimentar negativo no sistema praial, essa situação é decorrente de diversos processos e fenômenos que podem ser atribuídos a fatores naturais e fatores antrópicos. Em geral, ambos interagem entre si o tempo todo no condicionamento da erosão costeira, sendo frequentemente difícil identificar quais são aqueles mais ativos, ou mesmo individualizar a atuação de cada um.

Uma síntese das causas naturais e antrópicas de erosão costeira no Brasil é apresentada na Tabela 5.1.

A erosão costeira ou praial pode trazer várias consequências não somente à praia, mas também a vários ambientes naturais e aos usos e atividades antrópicas na zona costeira (Souza *et al.*, 2005; Souza, 2009a, 2009b). Em geral, essas consequências são percebidas como problema quando ameaçam os usos e as atividades humanas de forma a causar prejuízos econômicos. Entretanto, mesmo quando ela ocorre em locais não habitados pelo homem, deve ser motivo de preocupação, porque terrenos naturais serão perdidos, podendo levar ao colapso de importantes ecossistemas costeiros que já foram comprometidos em áreas urbanizadas (Souza, 2009b).



**Figura 5.4** - Praias sob risco muito alto de erosão em São Paulo. a – Praia da Ilha Comprida; b –Praia de Itanhaém; c – Praia do Gonzaguinha (São Vicente); d – Praia do Itaguapé (Bertioga); e – Praia da Tabatinga (Caraguatatuba); f – Praia da Barra Seca (Ubatuba).

Dentre as principais consequências da erosão costeira destacam-se (Souza, 2009a, 2009b):

- redução na largura da praia e retrogradação ou recuo da linha de costa (se a área adjacente da planície costeira não for urbanizada a tendência de longo período será de migração transversal do perfil praial rumo ao continente; se for urbanizada, pode não haver “espaço” físico para essa migração);
- desaparecimento da zona de pós-praia e, com o passar do tempo, da própria praia;
- aumento da erosão na porção a jusante dos sistemas fluviais estuarinos e, conseqüentemente, erosão em planícies de maré e manguezais, com possível alteração da circulação estuarina;
- perda de propriedades e bens públicos e privados ao longo da linha de costa;
- destruição de estruturas artificiais paralelas e transversais à linha de costa construídas pelo homem;
- problemas e até colapso de sistemas de esgotamento sanitário (obras soterradas e emissários submarinos);
- diminuição da balneabilidade das águas costeiras por incremento da poluição e contaminação de águas e sedimentos;
- perda de recursos pesqueiros;
- perda do valor paisagístico da praia e/ou da região costeira;
- perda do valor imobiliário de habitações costeiras;
- comprometimento do potencial turístico da região costeira;
- prejuízos nas atividades sócio-econômicas da região, ligadas ao turismo e ao lazer na praia;
- artificialização da linha de costa devido à construção de obras costeiras (para proteção e/ou recuperação ou mitigação);
- gastos exorbitantes com a recuperação de praias e reconstrução da orla marítima (incluindo propriedades públicas e privadas, equipamentos urbanos diversos e estruturas de apoio náutico, de lazer e de saneamento).

**Tabela 5.1** - Causas naturais e antrópicas da erosão costeira no Brasil (Fonte: Souza *et al.*, 2005).

Causas Naturais da Erosão Costeira		
Dinâmica de circulação costeira: presença de zonas de barlamar ou centros de divergência de células de deriva litorânea em determinados locais mais ou menos fixos da linha de costa (efeito “foco estável”).	Morfodinâmica praial: praias intermediárias têm maior mobilidade e suscetibilidade à erosão costeira, seguidas das reflexivas de alta energia, dissipativas de alta energia, reflexivas de baixa energia, dissipativas de baixa energia e ultradissipativas.	Aporte sedimentar atual naturalmente ineficiente ou ausência de fontes de areias.

Causas Naturais da Erosão Costeira		
<p><b>Fisiografia Costeira:</b> irregularidades na linha de costa (mudanças bruscas na orientação, promontórios rochosos e cabos inconsolidados) dispersando as correntes e sedimentos para o largo; praias que recebem maior impacto de ondas de maior energia.</p>	<p><b>Presença de amplas zonas de transporte ou trânsito de sedimentos</b> (<i>by-pass</i>), contribuindo para a não permanência dos sedimentos em certos segmentos de praia.</p>	<p><b>Armadilhas de sedimentos e migração lateral:</b> desembocaduras fluviais ou canais de maré; efeito “molhe hidráulico”; depósitos de sobrelavagem; obstáculos fora da praia (barras arenosas, ilhas, parcéis, arenitos de praia e recifes).</p>
<p><b>Inversões na deriva litorânea resultante</b> causada por fenômenos climáticos-meteorológicos intensos: sistemas frontais, ciclones extratropicais e a atuação intensa do “<i>El Nino/ENSO</i>”.</p>	<p><b>Elevações do nível relativo do mar de curto período</b> devido a efeitos combinados da atuação de sistemas frontais e ciclones extratropicais, marés astronômicas de sizígia e elevações sazonais do NM, resultando nos mesmos processos da elevação de NM de longo período.</p>	<p><b>Efeitos secundários da elevação de nível do mar de longo período:</b> Princípio ou Regra de Bruun e migração do perfil praiar rumo ao continente.</p>
<p><b>Efeitos secundários da elevação de nível do mar de longo período:</b> Princípio ou Regra de Bruun e migração do perfil praiar rumo ao continente.</p>	<p><b>Evolução quaternária das planícies costeiras:</b> balanço sedimentar de longo prazo negativo e dinâmica e circulação costeira atuante na época.</p>	<p><b>Balanço sedimentar atual negativo</b> originado por processos naturais individuais ou combinados.</p> <p><b>Fatores Tectônicos:</b> subsidências e soerguimentos da planície costeira.</p>
Causas Antrópicas da Erosão Costeira		
<p><b>Urbanização da orla,</b> com destruição de dunas e/ou impermeabilização de terraços marinhos holocênicos e eventual ocupação da pós-praia.</p>	<p><b>Implantação de estruturas rígidas ou flexíveis, paralelas ou transversais à linha de costa:</b> espigões, molhes de pedra, enrocamentos, piers, quebramares, muros, etc., para “proteção costeira” ou contenção/mitigação de processos erosivos costeiros ou outros fins; canais de drenagem artificiais.</p>	<p><b>Armadilhas de sedimentos</b> associadas à implantação de estruturas artificiais, devido à interrupção de células de deriva litorânea e formação de pequenas células.</p>
<p><b>Retirada de areia de praia</b> por: mineração e/ou limpeza pública, resultando em déficit sedimentar na praia e/ou praias vizinhas.</p>	<p><b>Mineração de areias fluviais e desassoreamento de desembocaduras; dragagens em canais de maré e na plataforma continental:</b> diminuição/perda das fontes de sedimentos para as praias.</p>	<p><b>Conversão de terrenos naturais da planície costeira em áreas urbanas</b> (manguezais, planícies fluviais/ e lagunares, pântanos e áreas inundadas) provocando impermeabilização dos terrenos e mudanças no padrão de drenagem costeira (perda de fontes de sedimentos).</p> <p><b>Balanço sedimentar atual negativo</b> decorrente de intervenções antrópicas.</p>

#### 5.4. Recomendações e ações preventivas

As recomendações e ações preventivas podem ser englobadas na questão “O que Fazer?”. A resposta a essa pergunta não é muito fácil, visto que o cenário que se vislumbra é no mínimo preocupante e requer ações imediatas para a mitigação dos problemas erosivos e recuperação de praias (Souza, 2009a, 2009b).

Em relação às situações de Risco apontadas anteriormente, recomenda-se:

- Praias sob Riscos Muito Alto e Alto - são praias particularmente vulneráveis, que estão sob forte ameaça, requerendo ações imediatas para reverter o quadro de degradação. Essas ações envolvem medidas como: realocação ou remoção de estruturas urbanas e/ou obras de engenharia, recuperação das praias de preferência através de alimentação artificial (é necessário identificar fontes sustentáveis desses sedimentos), recuperação de dunas frontais, e eliminação ou minimização das causas antrópicas da erosão costeira, pelo menos.
- Praias sob Risco Médio - são praias que requerem atenção, pois poderão rapidamente tornar-se de risco Alto ou Muito Alto. É necessário impedir a piora do seu estado, através de medidas que atuem na eliminação ou minimização das causas antrópicas de erosão, pelo menos, e mitigação dos impactos devidos às causas naturais.
- Praias sob Riscos Baixo e Muito Baixo - são praias comparativamente mais seguras em relação a esse perigo, devendo-se conservar os seus estados e minimizar possíveis causas de erosão, principalmente evitando novas intervenções antrópicas, além de estabelecer ações efetivas de gerenciamento costeiro.

Em relação às ações preventivas, a medida mais importante seria a criação de instrumentos legais que promovessem a maior conservação do ambiente praias, principalmente no que se refere a certos tipos de usos e atividades antrópicas nas praias, entre elas: construção de obras de engenharia costeira, retirada de areia de praias e dunas, desassoreamento de desembocaduras fluviais e lagunares, instalação de quiosques e outras estruturas urbanas públicas ou obras particulares sobre as praias, e indicação de áreas para atividades náuticas (marinas, rotas de jet-sky e “banana-boat”).

##### Como prevenir

**Praias sob Riscos Muito Alto e Alto** – é necessário a realocação ou remoção de estruturas urbanas e/ou obras de engenharia, recuperação das praias de preferência através de alimentação artificial, recuperação de dunas frontais, e eliminação ou minimização das causas antrópicas da erosão costeira, pelo menos.

**Praias sob Risco Médio** - é necessário impedir a piora do seu estado, através de medidas que atuem na eliminação ou minimização das causas antrópicas de erosão, pelo menos, e mitigação dos impactos devidos às causas naturais.

**Praias sob Riscos Baixo e Muito Baixo** - deve-se conservar os seus estados e minimizar possíveis causas de erosão, principalmente evitando novas intervenções antrópicas, além de estabelecer ações efetivas de gerenciamento costeiro.

A medida mais importante seria a criação de instrumentos legais que promovessem a maior conservação do ambiente praial, principalmente no que se refere a certos tipos de usos e atividades antrópicas nas praias

No tocante à planície costeira, seria necessário estabelecer metas e ações para um planejamento territorial adequado, que fossem incorporadas pelas políticas públicas existentes e seus instrumentos, como o Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro (através do Zoneamento Ecológico-Econômico) e os Planos Diretores Municipais. Neste sentido, deveriam ser observados os processos costeiros, os mecanismos naturais e as intervenções antrópicas responsáveis pela erosão nas praias, os possíveis impactos da elevação do NM na região, e o controle da ocupação de novas áreas na planície costeira e encostas da Serra do Mar (no caso de São Paulo).

Uma solução para a conservação das praias e a minimização da erosão costeira e dos efeitos sócio-econômicos da elevação do NM, já adotada por muitos países, é a criação de zonas de proteção (*setback distance*) (ZP) entre a praia e os primeiros equipamentos urbanos.

No caso do litoral paulista, propõe-se que a ZP seja uma faixa de terreno da planície costeira, paralela e contígua à praia, com determinada largura mínima medida a partir do limite superior da praia (este limite poderá se dar com a planície costeira propriamente dita ou com algum tipo de estrutura construída pelo homem), no sentido do continente (Souza *et al.*, 2008). Essa largura mínima poderia ser única ou variável em função da classificação de risco à erosão da praia (progressivamente maior quanto maior o seu grau de risco), ou da projeção da taxa de recuo da linha de costa para os próximos anos ou décadas (e.g. os cálculos feitos para a Praia do Gonzaguinha, Souza, 2008). Assim, como a função da ZP é de proteger as praias e as áreas urbanas contra a erosão costeira e os avanços progressivos do NM, ela deveria: (a) ser mantida livre de qualquer ocupação antrópica; (b) ter restaurada as condições de permeabilidade original do terreno, com a recuperação da duna frontal anteriormente existente e de sua vegetação original ou, não havendo esta possibilidade, ser efetuado o plantio de espécies nativas de Escrube ou de Vegetação de Dunas.

Ainda como ações preventivas e recomendações, propõe-se o estabelecimento de medidas de gestão da orla marítima, com indicações de diretrizes e ações (restritivas ou adaptativas) de curto, médio e longo prazos, baseadas nos estudos de erosão costeira e nas previsões de elevação do nível relativo do mar e de mudanças climáticas.

### Bibliografia recomendada

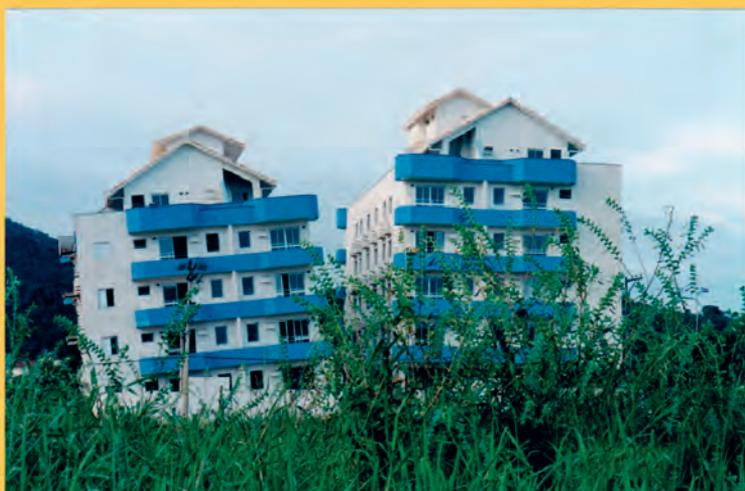
- SOUZA, C.R. de G. 2009. A erosão costeira e os desafios da gestão costeira no Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 9(1): 17-37. ISBN: 1677-4841 (também disponível em <<http://www.aprh.pt/rgci/revista9f1.html>>).
- SOUZA, C.R. de G.; SOUZA FILHO, P.W.M.; ESTEVES, S.L.; VITAL, H. DILLENBURG, S.R.; PATCHINEELAM, S.M. & ADDAD, J.E. 2005. Praias Arenosas e Erosão Costeira. In: C.R. de G. Souza *et al.* (eds.). *Quaternário do Brasil*. Holos, Editora, Ribeirão Preto (SP). p. 130-152.
- SOUZA, C.R. de G., HIRUMA, S.T., SALLUN, A.E.M., RIBEIRO, R.R. & AZEVEDO SOBRINHO, J.M. 2008. “*Restinga*” – *Conceitos e Empregos do Termo no Brasil e Implicações na Legislação Ambiental*. Instituto Geológico, Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo. São Paulo. 104p. (também disponível em <[http://www.igeologico.sp.gov.br/ps\\_down\\_outros.asp](http://www.igeologico.sp.gov.br/ps_down_outros.asp)>).

# Capítulo 6

## Colapso e subsidência de solos

Rodolfo Moreda Mendes

“Não aprendemos as lições. Esquecemos as informações científicas disponíveis e ainda usamos técnicas erradas de ocupação do solo. A base para um novo desastre está sendo preparada.”  
(Lucia Sevegnani, pesquisadora de Ecologia de Florestas na Universidade Regional de Blumenau)



Subsidência de solos em Ubatuba, 2003. Fonte: Acervo IG



## CAPÍTULO 6

### COLAPSO E SUBSIDÊNCIA DE SOLOS

#### 6.1. Introdução

Quando carregados todos os tipos de solos sofrem recalques<sup>1</sup>, inevitavelmente, em maior ou menor grau, a depender das peculiaridades de cada solo e da intensidade de carregamento. Os recalques geralmente tendem a cessar ou estabilizar após um certo período de tempo, mais ou menos prolongado, e que dependem das propriedades geotécnicas dos solos. Por exemplo, recalques em solos arenosos podem se estabilizar em poucas horas ou dias; já recalques em solos argilosos moles tendem a cessar ou estabilizar somente após algumas décadas (Cintra, 1998).

Os recalques podem ocorrer tanto em solos que suportam edificações com fundações rasas (sapatas, radiers, etc.) quanto com fundações profundas (brocas, estacas, tubulões, etc.), a depender das condições geotécnicas do terreno onde as fundações serão implantadas. Daí a necessidade inquestionável da realização prévia de uma investigação geotécnica para conhecer as características dos solos que as fundações atravessarão, visando evitar a ocorrência de recalques indesejáveis e garantir um bom desempenho do sistema de fundações.

No Brasil e mesmo no Estado de São Paulo, existem certos tipos de solos com características geotécnicas peculiares que merecem atenção especial em relação à ocorrência de recalques diferenciais das fundações, podendo se tornar um grave problema para o sistema estrutural das edificações (pilares, vigas, lajes e alvenaria), principalmente para as moradias construídas com fundações rasas.

Os tipos de recalques que serão abordados no presente capítulo são aqueles que ocorrem em terrenos constituídos por “solos colapsíveis” e “solos argilosos moles” e que podem ser encontrados em diversas porções do território brasileiro e do Estado de São Paulo.

A ocorrência de recalques em solos colapsíveis e argilosos moles e seus consequentes danos causados aos mais diversos tipos de edificações é de relativa notoriedade para a comunidade em geral, talvez em razão destes tipos de fenômenos ocasionarem apenas perdas materiais e transtorno social, a exemplo do que ocorreu em 31/01/1995 no interior do Estado de São Paulo, na cidade de Araraquara, quando a Defesa Civil catalogou danos estruturais provocados por recalques em solos colapsíveis em cerca de 4.000 edificações (Cintra, 1998).

O aparecimento de trincas e fissuras generalizadas nas alvenarias das construções, decorrentes de recalques diferenciais em solos colapsíveis, exige reparações muitas vezes incompatíveis com o baixo custo dessas moradias, inviabilizando economicamente sua recuperação estrutural. Em solos argilosos moles, em virtude da elevada magnitude dos recalques diferenciais, a exemplo dos edifícios de Santos-SP, o fator econômico também pode se tornar um obstáculo para a recuperação total ou parcial do edifício de modo a garantir as mesmas condições de funcionalidade e desempenho estrutural antes da ocorrência dos recalques.

---

<sup>1</sup> Recalque é o termo utilizado em engenharia civil para designar o fenômeno que ocorre quando uma edificação sofre um rebaixamento devido ao adensamento do solo (diminuição dos seus vazios) sob sua fundação.

## 6.2. Conceitos gerais

### 6.2.1. Solos colapsíveis

São chamados colapsíveis os solos que, quando submetidos a um determinado tipo de carregamento (peso de uma construção, por exemplo) e umedecidos por infiltração de água de chuva, vazamentos em rede de água e de esgoto ou ascensão do lençol freático sofrem uma espécie de “colapso da sua estrutura”, gerando recalques repentinos e de grandes proporções. Este tipo de recalque é chamado de “colapso” e o solo é classificado como “colapsível” (Cintra, 1995). Os colapsos de solo podem ocasionar apreciáveis trincas e fissuras nas alvenarias das construções (Figura 6.1), podendo causar inclusive sérios danos e comprometimento estrutural nas edificações e sua posterior interdição.

As regiões tropicais apresentam condições ideais para o desenvolvimento de solos colapsíveis, principalmente em locais onde se alternam estações de relativa seca e de precipitações intensas ou em regiões áridas e semi-áridas (Vilar *et al.*, 1981). Os solos colapsíveis ocorrem em algumas regiões do território brasileiro (particularmente na região centro-sul do país) e em grande parte do Estado de São Paulo, conforme apresentado na Figura 6.2.

#### Solos Colapsíveis

São chamados colapsíveis os solos que, quando submetidos a um determinado tipo de carregamento e umedecidos por infiltração de água de chuva, vazamentos em rede de água e de esgoto ou ascensão do lençol freático sofrem uma espécie de “colapso da sua estrutura”, gerando recalques repentinos e de grandes proporções.

No Estado de São Paulo destacam-se como solos comprovadamente colapsíveis a argila porosa vermelha da cidade de São Paulo e os sedimentos cenozoicos distribuídos em vasta área do interior paulista (Cintra, 1998). Em algumas cidades importantes do interior paulista já foram comprovadas cientificamente as ocorrências de solos colapsíveis (Rodrigues, 2007; Giacheti *et al.*, 2000; Mendes, 2001; Mendes e Lorandi, 2004a e



**Figura 6.1** - Ocorrências de trincas e fissuras nas edificações causadas por colapsos de solo (Fontes: Rodrigues, 2007 e Acervo IG-SMA, 2009).

2004b; Rodrigues e Lollo, 2004), que estão associadas com as características geotécnicas peculiares dos solos arenosos das formações geológicas de superfície do Grupo Bauru, conforme apresentado na Figura 6.3.



Figura 6.2 - Ocorrência de solos colapsíveis no Brasil (Fonte: Milititsky *et al.*, 2008).

Alguns indicativos da presença de solos colapsíveis são: baixos valores do índice de resistência à penetração<sup>2</sup> (geralmente  $N_{SPT} < 4$  golpes), granulometria aberta (ausência da fração silte), baixo grau de saturação (<60%) e grande porosidade, geralmente maior que 40% (Ferreira *et al.*, 1989).

No caso particular dos solos do interior paulista originários das formações geológicas do Grupo Bauru, observa-se que tais solos são predominantemente constituídos por areia fina argilosa, vermelha ou marrom escura, com uma estrutura bastante porosa nos horizontes superficiais. Alguns resultados de ensaios de sondagens de simples reconhecimento (SPT) indicam que nos primeiros metros (<6,0 metros) o índice de

<sup>2</sup> O  $N_{SPT}$  ou índice de resistência à penetração é obtido a partir da cravação de um amostrador de padronização internacional, onde, a cada metro, o mesmo é cravado no terreno através do impacto de uma massa metálica de 65 kg caindo em queda livre de 75 cm de altura. Desta forma, o valor do  $N_{SPT}$  será a quantidade de golpes necessários para fazer penetrar os últimos 30 cm do amostrador padrão no fundo do furo. Despreza-se, no entanto, o número de golpes correspondentes à cravação dos 15 cm iniciais do amostrador. As diretrizes para a execução de sondagens SPT são regidas pela NBR 6484, a qual recomenda que, em cada metro do ensaio SPT, deve ser feita a penetração total dos 45 cm do amostrador ou até que a penetração seja inferior a 5 cm para cada 10 golpes sucessivos. A cada ensaio SPT prossegue-se a perfuração até a profundidade do novo ensaio.

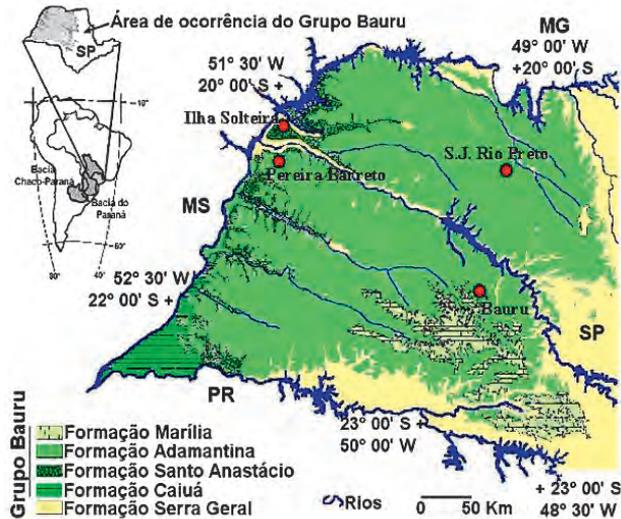


Figura 6.3 - Cidades do interior paulista com ocorrências de solos colapsíveis (pontos vermelhos) e distribuição das formações geológicas do Grupo Bauru (Fonte: Modificado de Paula e Silva *et al.*, 2003).

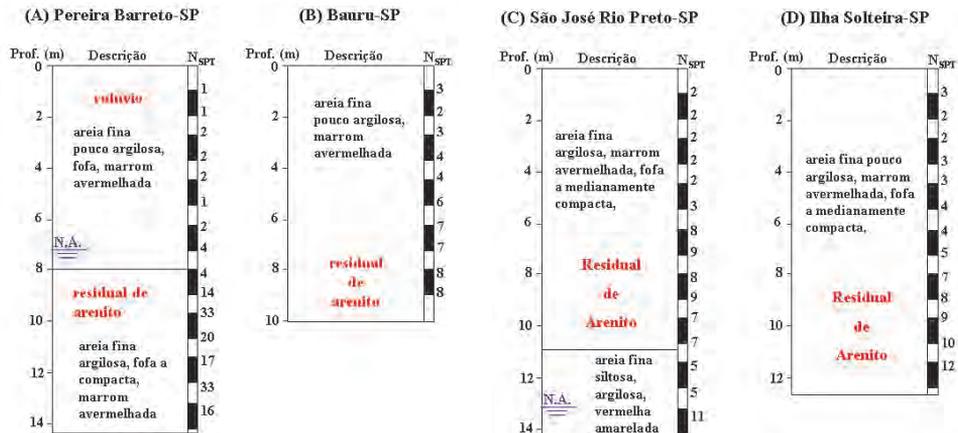


Figura 6.4 - Sondagens SPT realizadas em solos colapsíveis no interior do Estado de São Paulo, onde N.A. é o nível d'água e N<sub>SPT</sub> é o índice de resistência à penetração do ensaio SPT. (Fonte: Rodrigues 2007, Giacheti *et al.* 2000, Mendes 2001, Rodrigues e Lollo 2004).

resistência à penetração é muito baixo, (geralmente N<sub>SPT</sub> < 4 golpes), ocorrendo um ligeiro crescimento com o aumento da profundidade. Além disso, o nível de água é normalmente profundo, sendo raramente encontrado nos furos de sondagem, resultando em um solo não saturado. Alguns resultados típicos de sondagem SPT podem ser observados na Figura 6.4, onde são apresentadas as principais características geotécnicas de solos colapsíveis de algumas regiões do interior do Estado de São Paulo.

### 6.2.2. Solos argilosos moles/solos compressíveis

Solos argilosos moles ou simplesmente denominados de “solos compressíveis” são solos que não apresentam resistência satisfatória ou suficiente para suportar as cargas ou solicitações provenientes do sistema estrutural das edificações (lajes, vigas e pilares) e que são transmitidas ao terreno por meio dos elementos estruturais de fundação (sapatas, radiers, brocas, estacas, tubulões, etc.).

As fundações diretas ou rasas (sapatas e radiers) são elementos que não apresentam comportamento satisfatório, em termos de segurança principalmente, quando construídos sobre solos argilosos moles devido à possibilidade de ocorrência de recalques diferenciais excessivos e, conseqüentemente, o comprometimento estrutural da edificação. Além disso, ressalta-se que também não é recomendável construir fundações rasas em terrenos mais resistentes que se encontram, porém, apoiados em camadas subjacentes de solos argilosos moles. Nestes casos, recomenda-se adotar fundações profundas que atravessem a camada de solo argiloso mole e fiquem “cravadas” em solos mais resistentes.

Alguns casos típicos de fundações rasas construídas em terrenos constituídos por solos argilosos moles são as edificações situadas ao longo da orla de Santos-SP, construídas na década de 70, quando ainda não havia a prática das fundações profundas (Figura 6.5). As fundações rasas foram construídas sobre uma camada de areia compacta com profundidade de aproximadamente 10 metros, mas que estava apoiada sobre uma camada espessa de argila mole altamente compressível.

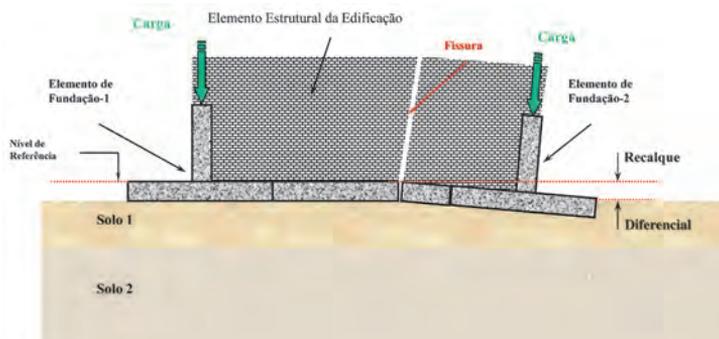
Deste modo, na presença de terrenos formados por solos argilosos moles não é prudente a adoção de fundações rasas ou diretas para a construção de edificações, principalmente quando existirem cargas elevadas como as de grandes edifícios, por exemplo. Nestes casos recomenda-se a utilização de fundações profundas, visando atingir profundidades adequadas com as solicitações, onde camadas de solos suficientemente resistentes permitam garantir um bom desempenho dos elementos de fundações.



**Figura 6.5** - Recalques diferenciais em edificações construídas sobre sedimentos de argilas moles na orla de Santos-SP. (Fonte: Hachich, 1997).

### 6.2.3. Recalque diferencial

O recalque é definido pelo deslocamento vertical descendente de um elemento de fundação. A diferença entre os recalques de dois elementos de fundação denomina-se *recalque diferencial*. O recalque diferencial impõe distorções aos elementos estruturais das edificações de tal forma que, dependendo de sua magnitude, poderão gerar fissuras e trincas nas mesmas (Figura 6.6).



**Figura 6.6** - Modelo esquemático de fissura em elemento estrutural de edificação ocasionada por recalque diferencial em elemento de fundação.

### 6.3. O fenômeno do colapso: como ocorre?

Segundo Cintra (1998), são dois os requisitos básicos para o desenvolvimento do colapso (recalque) em solos naturais: uma estrutura porosa (alto índice de vazios “e”) e a condição não saturada (baixo teor de umidade ou grau de saturação “S”). Mas para um solo entrar efetivamente em colapso, duas condições básicas devem ser atendidas: a elevação do teor de umidade (que ocorre a partir de chuva, tubulação rompida, etc.) e a atuação de um estado de solicitações externas (uma construção residencial, por exemplo), representada pela carga ou carregamento de colapso. Portanto, os solos suscetíveis ao fenômeno do colapso apresentam uma grande sensibilidade à ação da água, ou seja, o aumento do teor de umidade ou grau de saturação do solo é o mecanismo deflagrador do colapso. A Figura 6.7 apresenta um modelo simplificado de ocorrência do fenômeno do colapso de solo.

Nesses solos os grãos são ligados pelos contatos de suas pontas, as quais se mantêm precariamente unidas por uma fraca cimentação. Quando sobre tais solos atua uma carga superior ao seu peso de terra, concomitantemente com o aumento do teor de umidade do mesmo, ocorre a quebra estrutural das ligações de cimentação que mantinham os grãos unidos.

Se, entretanto, não houver aplicação externa de carga (construção, compactação, etc.) sobre o terreno não haverá quebra das ligações cimentantes, mesmo que o seu teor de umidade tenha aumentado, pois apenas o peso próprio do terreno não é suficiente para promover o colapso. Isso ocorre porque a permeabilidade do solo é suficientemente alta para que a água infiltre e promova o aumento do teor de umidade, mas sem dissolver ou destruir a cimentação de seus contatos. Essa é a explicação porque esses solos não sofrem colapso nas condições naturais, apesar de receberem chuvas desde sua formação (Alonso, 1998).



**Figura 6.7** - Modelo simplificado de ocorrência de recalque por colapso de solo (Nota: “e” é o índice de vazios do solo e “S” é o grau de saturação do solo).

#### 6.4. O fenômeno da subsidência ou adensamento: como ocorre?

O termo *subsidência* ou *adensamento* é utilizado na engenharia geotécnica para expressar ou representar a diminuição de volume dos solos sob a ação de cargas aplicadas. A subsidência ou adensamento é o fenômeno pelo qual os recalques ocorrem com expulsão da água do interior dos vazios (poros) dos solos saturados. Logo, a evolução do adensamento (ou recalque) com o tempo irá depender do tipo de solo. Por exemplo, em solos arenosos saturados, devido à sua alta permeabilidade, o adensamento ocorrerá rapidamente, pois a água presente nos vazios do solo pode ser drenada facilmente. Em contrapartida, nos solos argilosos saturados, quando sob aplicação de carga, a saída de água dos vazios do solo é lenta devido à baixa permeabilidade e, portanto, a magnitude dos recalques irá aumentar com o tempo.

Portanto, o único motivo para que ocorra a diminuição de volume em solos saturados quando carregados, será devido à redução dos vazios com a consequente expulsão da água dos poros. De um modo geral, pode-se dizer que os recalques em solos saturados são inteiramente resultantes da variação de volume dos vazios. Para melhor entendimento do fenômeno da subsidência ou adensamento vamos utilizar a analogia mecânica apresentada na Figura 6.8.

Primeiramente consideremos, na Figura 6.8, que a estrutura sólida do solo (grãos) seja semelhante a uma mola, cuja deformação é proporcional à carga sobre ela aplicada. Na Figura 6.8, o solo saturado seria representado por uma mola dentro de um pistão cheio de água, no êmbolo do qual existe um pequeno orifício pelo qual a água sai lentamente (a dimensão do orifício representa a permeabilidade do solo). Ao se aplicar uma carga sobre o pistão num determinado tempo  $t_0$ , no instante imediatamente seguinte, a mola não se deforma, pois a água ainda não terá saído pelo orifício. Após um tempo  $t_1$ , estando a água



**Figura 6.8** - Modelo de analogia mecânica para o fenômeno de adensamento do solo, segundo conceituação de Terzaghi (Fonte: Modificado de Taylor, 1948).

em carga, ela procura sair do pistão pelo orifício e, conseqüentemente, a mola começa a se deformar, ou seja, a partir desse instante ocorre a redução dos vazios do solo por expulsão da água de seus poros e, portanto, a partir deste momento o recalque evoluirá até um determinado tempo  $t_n$ .

### 6.5. Como evitar danos causados por fenômenos de colapso e subsidência?

Existem alguns métodos científicos e/ou tecnológicos que permitem evitar a ocorrência de danos causados por fenômenos de colapso e subsidência. Entre eles destacam-se os métodos de identificação prévia, como mapeamentos geológicos-geotécnicos, mapeamentos geoestatísticos de variáveis geotécnicas associadas aos fenômenos de colapso e subsidência, elaboração de cartas de risco de colapso de solos e cartas do potencial de colapso de solos (Mendes e Lorandi, 2002, 2006 e 2008; Oliveira, 2002). Também são importantes os métodos de prevenção de recalques diferenciais, como compactação/adensamento prévio da camada de solo colapsível/compressível e adoção de fundações profundas. A seguir são comentados alguns desses métodos.

#### Como prevenir

É necessário aplicar métodos de identificação prévia, como mapeamentos geológicos-geotécnicos, mapeamentos geoestatísticos de variáveis geotécnicas associadas aos fenômenos de colapso e subsidência, elaboração de cartas de risco de colapso de solos e cartas do potencial de colapso de solos.

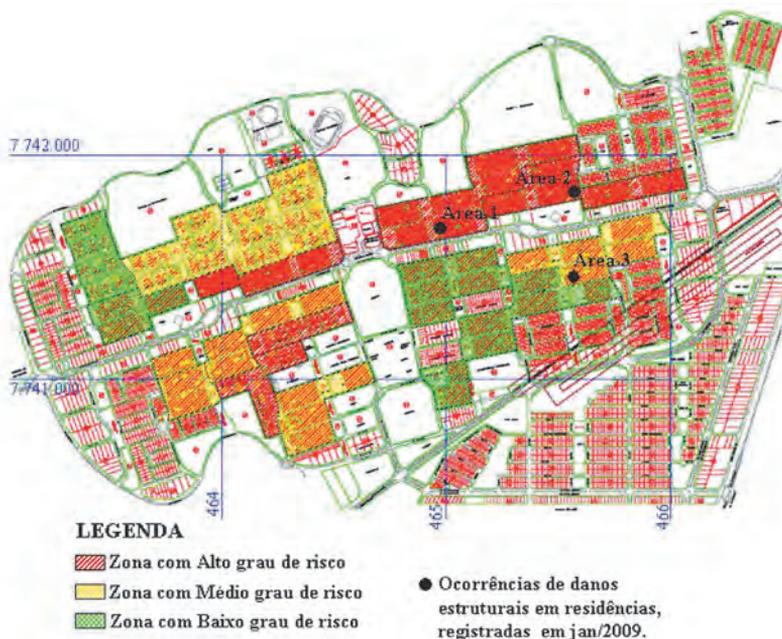
Também são importantes os métodos de prevenção de recalques diferenciais, como compactação/adensamento prévio da camada de solo colapsível/compressível e adoção de fundações profundas.

*Identificação prévia de solos colapsíveis ou compressíveis.* Pode ser realizada a partir da elaboração de cartas de risco ou de potencial de colapso/subsidência de solos colapsíveis ou compressíveis, respectivamente. As cartas de risco e do potencial de colapso e subsidência de solos permitem indicar regiões onde possam ocorrer solos colapsíveis ou compressíveis podendo, desta

forma, orientar adequadamente a ocupação de áreas urbanas. Desta forma, pode-se evitar danos significativos causados por recalques indesejáveis em diversos tipos de construções.

A Figura 6.9 apresenta a carta de risco de colapso de solos para a cidade de Ilha Solteira – SP, onde a área urbana foi dividida em regiões e classificadas de acordo com o grau de risco esperado (Alto-vermelho, Médio-amarelo e Baixo-verde) para a ocorrência de recalques causados por colapso de solos. Na Figura 6.9 também são indicadas algumas ocorrências de danos estruturais em residências registradas durante atendimentos emergenciais realizados em janeiro de 2009, no âmbito dos Planos Preventivos de Defesa Civil – PPDC (Mendes *et al.*, 2009). Observa-se que as ocorrências registradas estão situadas em regiões classificadas como “zona com alto e médio grau de risco”, sugerindo que tal documento cartográfico é capaz de orientar satisfatoriamente a ocupação de terrenos em áreas urbanas e, conseqüentemente, auxiliar o poder público municipal na prevenção de colapso de solos.

A Figura 6.10 apresenta a carta do potencial de colapso dos solos de São José do Rio Preto-SP, onde a área urbana foi dividida em regiões e classificadas segundo a possibilidade de ocorrência de danos para as edificações: a) *Favorável*: regiões onde praticamente não há possibilidade de ocorrer colapso de solo; b) *Moderada*: pode haver colapso de solo, porém de baixa magnitude, e eventualmente ocorrer algum dano para as edificações; c) *Severa*: o colapso de solo pode ser alto e haver possibilidades concretas de ocorrência de danos para as edificações; d) *Restritiva*: o colapso de solo pode atingir magnitude muito elevada, inviabilizando a implantação de edificações nestas regiões.



**Figura 6.9** - Carta de risco de colapso de solos para a área urbana de Ilha Solteira – SP. (Fonte: modificado de Oliveira, 2002).

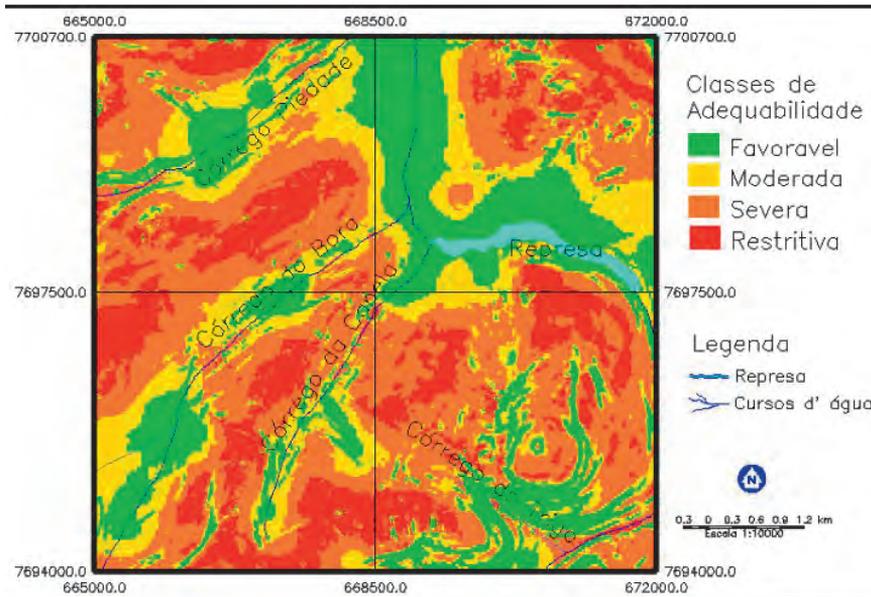
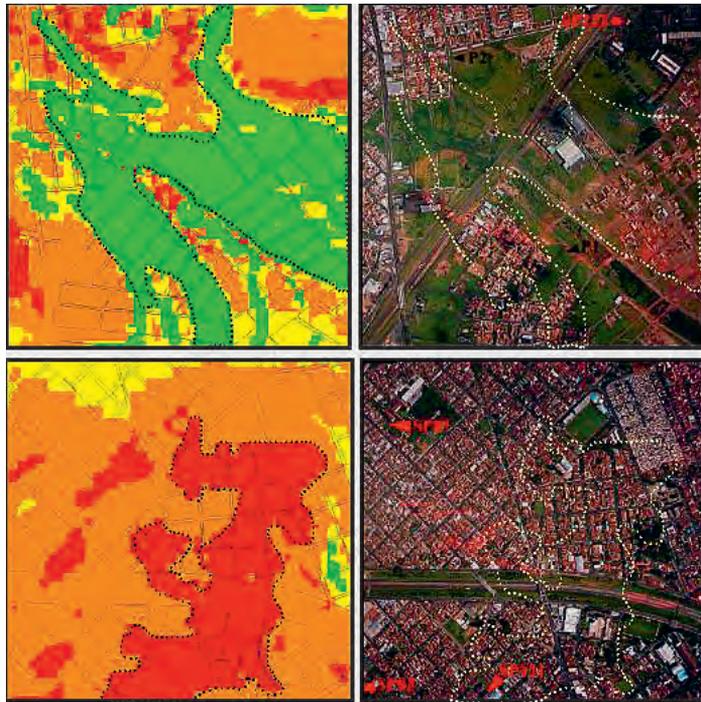


Figura 6.10 - Carta do potencial de colapso dos solos de São José do Rio Preto-SP (Fonte: Mendes & Lorandi, 2004a).

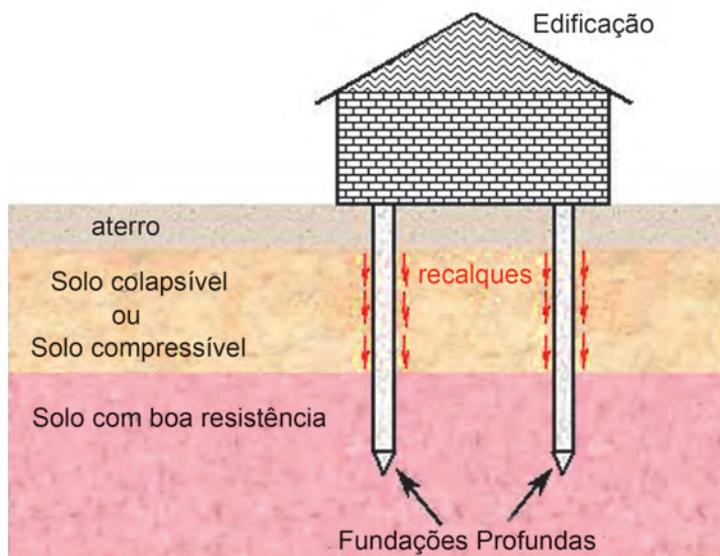
A Figura 6.11 apresenta uma maneira prática de utilizar as informações de cartas do potencial de colapso de solos para a identificação de regiões com maior ou menor probabilidade de ocorrência de solos colapsíveis. Por exemplo, ao analisar as imagens superiores da Figura 6.11, observa-se uma região com baixa taxa de ocupação onde não há possibilidade de ocorrer colapso de solo, indicada pela área verde – lado esquerdo. Já nas imagens inferiores da Figura 6.11, nota-se uma região com elevada taxa de ocupação urbana, onde há possibilidade concreta de ocorrência de colapsos de solos de elevadas magnitudes (área vermelha – lado esquerdo), e que não só inviabiliza a implantação de novas edificações como também indica a possibilidade de ocorrência de graves danos estruturais às edificações já implantadas nestas regiões.

*Prevenção de recalques diferenciais.* Pode ser realizada a partir da compactação prévia da camada de solo colapsível ou, no caso de camada de solo compressível (solo argiloso mole), a partir do adensamento prévio das camadas de baixa resistência. Além disso, pode-se adotar fundações profundas em ambos os casos, conforme apresentado na Figura 6.12. Os objetivos principais dos métodos preventivos de compactação e adensamento prévio das camadas de solo menos resistentes são: diminuir a porosidade, elevar a resistência e, no caso dos solos colapsíveis, minimizar os recalques primários abruptos (imediatos) e, no caso dos solos argilosos moles, diminuir os efeitos nocivos dos recalques secundários (de estabilização mais prolongada) aos sistemas estruturais das edificações.

Ressalta-se, porém, que tais métodos preventivos não dispensam, em hipótese alguma, a etapa de investigações detalhadas do maciço de solos, sendo imprescindível a realização de sondagens de simples reconhecimento SPT para o dimensionamento adequado dos elementos de fundação e para garantir um desempenho satisfatório dos mesmos.



**Figura 6.11** - Utilização das informações da carta do potencial de colapso de São José do Rio Preto-SP para identificação de regiões com maior (em vermelho) ou menor (em verde) probabilidade de ocorrência de solos colapsíveis (Fonte: Mendes e Lorandi, 2004a).



**Figura 6.12** - Adoção de fundações profundas para prevenir a ocorrência de recalques diferenciais em solo colapsível ou compressível.

### **Bibliografia recomendada**

- ALONSO, U.R. 1998. Previsão e controle das fundações. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 142p.
- CINTRA, J.C.A. 1998. Fundações em solos colapsíveis, José Carlos A. Cintra, São Carlos: Serviço Gráfico da EESC/USP, 116p.
- RODRIGUES, R.A., LOLLO, J.A. 2004. Características estruturais, fisiográficas e mecânicas de dois perfis de solos colapsíveis de Ilha Solteira-SP, Brasil. Solos e Rochas, São Paulo, 27 (2):131-146.
- TAYLOR, D. 1948. Fundamentals of Soil Mechanics. New York: John Wiley & Sons.

# Capítulo 7

## Subsidência e colapso em terrenos cársticos

William Sallun Filho

“O mundo tornou se perigoso, porque os homens aprenderam a dominar a natureza, antes de se compreenderem”  
(Albert Schweitzer)



Buraco das Araras em Jardim, MS, 2003. Fonte: William Sallun Filho (IG).



## **CAPÍTULO 7**

### **SUBSIDÊNCIA E COLAPSO EM TERRENOS CÁRSTICOS**

#### **7.1. Introdução**

Afundamentos da superfície por subsidência e colapso são feições típicas de terrenos cársticos. Estes afundamentos podem afetar a vida das pessoas e ocasionar situações de risco nestas áreas.

No Brasil com o aumento da população humana e a crescente ocupação de terrenos cársticos, os afundamentos tendem a agravar e a ser acelerados pela própria ocupação e pelo uso de recursos naturais.

Este capítulo apresenta alguns conceitos básicos sobre terrenos cársticos, processos de subsidência e colapso, e informações sobre prevenção e remediação dos afundamentos gerados por estes processos.

#### **7.2. Carste: conceitos e ocorrências no Brasil e no estado de São Paulo**

Carste é um terreno com hidrologia e formas de relevo distintas que surge da combinação da alta solubilidade de certas rochas e o grande desenvolvimento de porosidade (secundária) na forma de condutos (Ford, 2004).

Segundo Karmann & Sallun Filho (2007) “o carste pode ser definido como um sistema onde ocorre a absorção e o transporte de água sob a superfície, o que leva ao surgimento de feições de relevo típicas, ligadas ao sistema de condutos subterrâneos por onde a água é conduzida – esses condutos, se acessíveis aos humanos, são chamados de cavernas.”

O carste distingue-se por algumas feições características, dentre elas as dolinas (depressões) que ocorrem na superfície e os condutos e cavernas, em subsuperfície.

A formação do carste depende da presença de rocha solúvel, de água e de desnível do relevo. O processo de dissolução da rocha ocorre, principalmente, devido à presença de ácido carbônico na água das chuvas e na água que atravessa os solos. Embora todas as rochas sejam em parte solúveis em água, uma rocha solúvel é aquela em que a maioria dos minerais que a compõem sofre dissolução total em contato com a água ácida. Desta forma, as rochas solúveis são as que mais favorecem o desenvolvimento do carste. As rochas mais comuns formadoras de carste são as rochas carbonáticas (calcários, dolomitos e mármore), em especial os calcários.

Durante o desenvolvimento do carste a água irá infiltrar-se por discontinuidades naturais da rocha, causando a dissolução. As discontinuidades podem ser contatos entre rochas, fraturas (planos de ruptura da rocha), falhas (planos de ruptura com movimentação relativa entre os blocos) e planos entre camadas de rochas sedimentares. Isto leva a formação de condutos em profundidade, que conduzem a água através do sistema.

O carste pode ocorrer exposto, quando as rochas carbonáticas encontram-se aflorando na superfície e as feições cársticas são mais evidentes (Figura 7.1a). Também pode ocorrer carste abaixo de rochas não carbonáticas (carste subjacente) ou coberto de solo (Figura 7.1b) ou depósitos superficiais (carste coberto). Nestes dois últimos casos o processo de carstificação pode ocorrer sem o conhecimento da própria existência de rochas carbonáticas, que podem

estar a grandes profundidades. Tanto no carste coberto quanto no subjacente é comum a presença de feições de subsidência e colapso, e neste caso a ocorrência de desastres associados pode ser até maior, pois em alguns casos a presença de carste é desconhecida.



**Figura 7.1** - Exemplos de carste: (a) Campo de rochas em carste exposto, Serra da Bodoquena (MS) 2003; (b) Carste com cobertura de solo, Ribeirão Grande (SP), 2005.

Calcula-se que no mundo cerca de 12,5% das áreas continentais (expostas) sejam ocupadas por rochas carbonáticas, que podem formar terrenos cársticos (SGGES, 2008). No Brasil este percentual é menor, com cerca de 3% do território nacional (Karmann & Sallun Filho, 2007) (Figura 7.2a). No Estado de São Paulo esta proporção é ainda menor, com cerca de 1,5% da área do estado.

Além do fato das áreas cársticas no Brasil ocuparem pequena parcela do território, elas geralmente representam áreas pouco ocupadas pela população, correspondendo a áreas naturais ou rurais. Por exemplo, as extensas áreas de carste pouco ocupadas nos estados da Bahia (Figura 7.2b) e no Vale do Ribeira, em São Paulo (Figura 7.2c). Isto reduz, em parte, o risco de desastres com subsidência e colapso devido à ocupação. Porém, a expansão da ocupação e das próprias áreas urbanas nas últimas décadas tem mudado este cenário, especialmente em algumas regiões do país.

### 7.3. Subsidência e colapso: origem e exemplos

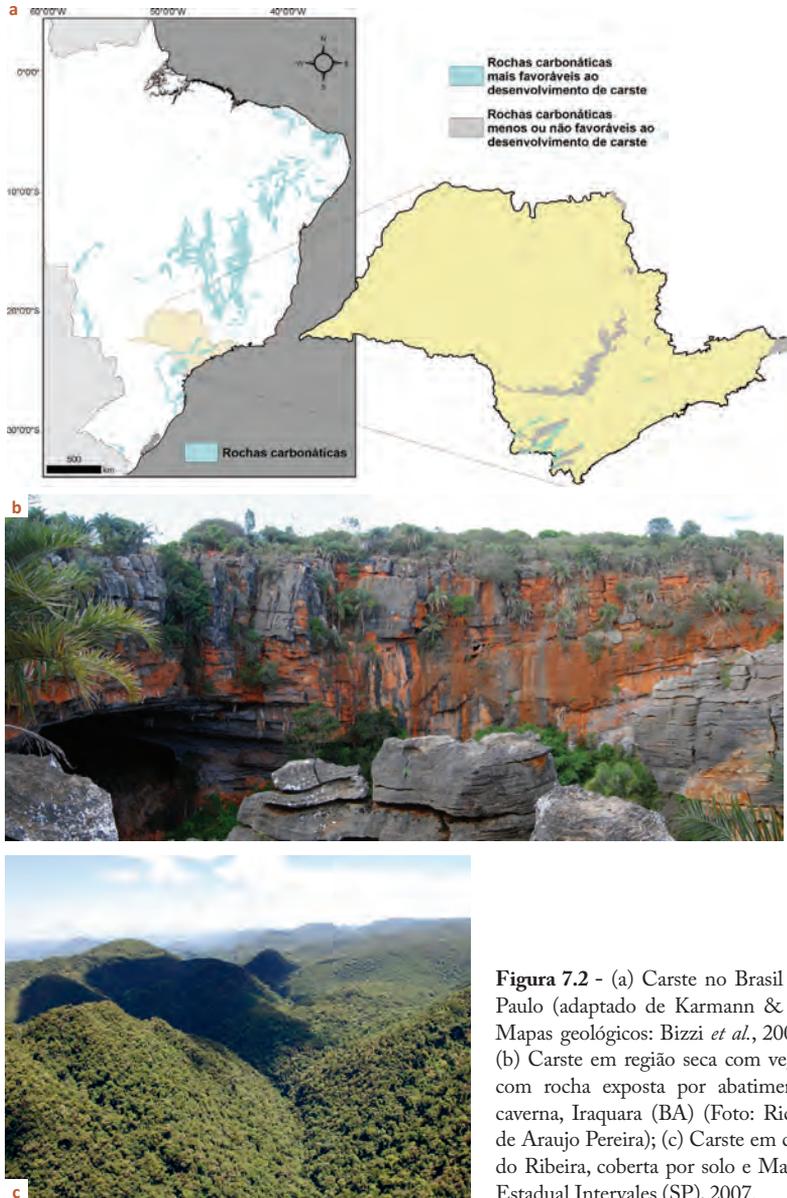
Subsidência e colapso são processos comuns e naturais em áreas cársticas. São originados pelo desenvolvimento dos condutos em profundidade e pela própria evolução do sistema.

Segundo EPA (2002) subsidência é o “rebaixamento da superfície devido a remoção do suporte, causado em áreas cársticas pela dissolução subterrânea ou colapso de cavernas”.

Segundo Castro (2008):

*Subsidência: Processo caracterizado pelo afundamento da superfície de um terreno em relação às áreas circunvizinhas. A subsidência pode ser devida a fenômenos geológicos, tais como dissolução, erosão, compactação do material de superfície, falhamentos verticais, terremotos e vulcanismo. Como fenômeno de risco geológico, consideram-se também as chamadas subsidências exógenas, que ocorrem na superfície do terreno e onde o fenômeno está vinculado a uma exploração intensa dos recursos do subsolo. A subsidência pode aparecer com frequência em regiões densamente povoadas e de elevado nível de desenvolvimento.*

Um exemplo típico é o ocorrido em Cajamar. Embora normalmente a subsidência ocorra de forma gradual, pode também ocorrer de forma brusca e repentina.  
 Colapso do solo: Quando a subsidência do solo ocorre de forma aguda.



**Figura 7.2** - (a) Carste no Brasil e no estado de São Paulo (adaptado de Karmann & Sallun Filho, 2007; Mapas geológicos: Bizzi *et al.*, 2001 e CPRM, 2006); (b) Carste em região seca com vegetação de caatinga, com rocha exposta por abatimento em entrada de caverna, Iraquara (BA) (Foto: Ricardo Galeno Fraga de Araujo Pereira); (c) Carste em clima úmido no Vale do Ribeira, coberta por solo e Mata Atlântica, Parque Estadual Intervales (SP), 2007.

Com a subsidência e colapso ocorrem as “dolinas”, que são depressões fechadas em superfície, uma das feições mais típicas do carste. Dolinas podem se formar de

maneira bastante lenta ou surgir em poucos dias. Como pode ser visto na Figura 7.3a as dolinas de colapso são mais abruptas, enquanto as de subsidência tendem a ser mais suaves. Esquemas de dolinas abruptas (colapso) e suaves (subsidência lenta) podem ser vistos na Figura 7.3a. Note que no primeiro caso ilustrado na Figura 7.3a o colapso se dá pelo abatimento direto do teto de uma caverna. Na Figura 7.3b se observa um caso de dolina de subsidência lenta e na Figura 7.3c um caso de dolina de colapso. A infiltração do solo da superfície ocorre pela água, que é conduzida por fendas verticais até alcançar os condutos, como exemplificado na Figura 7.3d. Este processo irá remover o material da superfície e transportar as partículas para outros locais pelos condutos.

**Subsidência** é o “rebaixamento da superfície devido a remoção do suporte, causado em áreas cársticas pela dissolução subterrânea ou colapso de cavernas”.

O **Colapso do solo** é caracterizado quando a subsidência do solo ocorre de forma aguda.

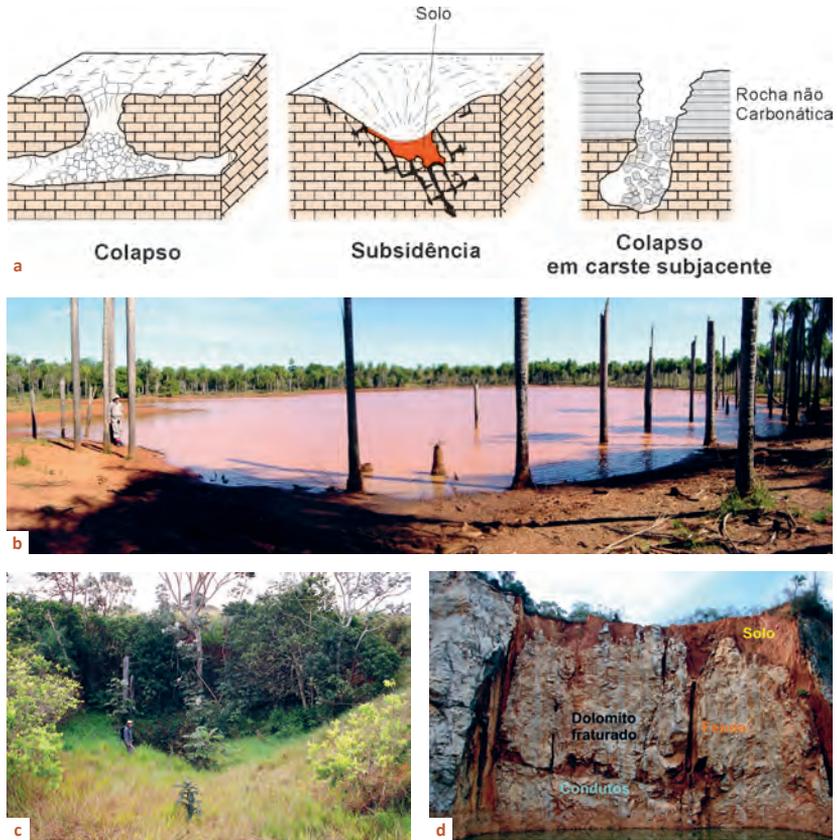
Fonte: EPA (2002) e Castro (2008)

Em algumas áreas a quantidade de dolinas é tão grande que são denominadas de “campos de dolinas”, como na região de Jardim (MS) (Figura 7.4). Nesta região foram relatados diversos afundamentos em fazendas, surgidos em poucos dias, causando apenas pequenos danos a açudes ou pastagens.

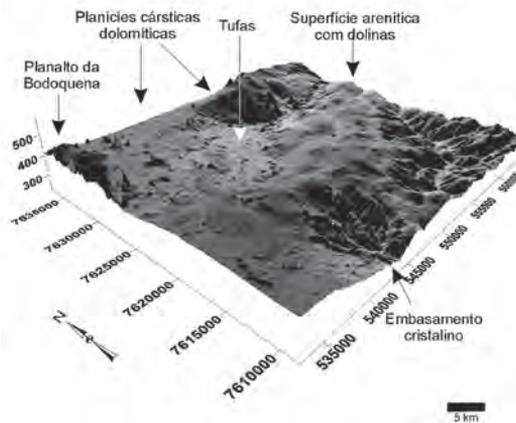
A subsidência e colapso ocorre em todas as áreas cársticas no Brasil, porém em apenas algumas delas isto afetou a ocupação humana. Pode-se dizer que toda intervenção e ocupação humana em áreas cársticas é sujeita ao risco de subsidência e colapso, se não forem tomadas as medidas necessárias de contenção destes processos. Em muitos casos a existência de carste coberto ou subjacente dificulta o reconhecimento imediato de feições características, só reconhecidas por métodos de investigação indireto (p.ex. geofísica, sondagens, etc.). Desta forma, neste casos o risco é maior devido ao desconhecimento da presença de carste.

Um dos casos mais famosos é o da cidade de Cajamar (SP) que em 1986 teve casas e ruas destruídas por um colapso de carste coberto por solo. Nesta região a faixa de calcário aflorante é estreita e parte da cidade desenvolveu-se sobre estas rochas (Figura 7.5). A subsidência e o colapso devem ter sido acelerados pelo rebaixamento do nível d'água do aquífero cárstico pela exploração de água subterrânea ou até pela atividade de mineração no entorno.

Santos (2008) faz um histórico das ocorrências de afundamentos em áreas cársticas no Brasil (Tabela 1) e ainda ressalta que “muitos outros eventos similares de afundamentos de terrenos já aconteceram por todo o país, e que, por não terem causado danos maiores, não obtiveram repercussão de mídia e a devida atenção de especialistas para sua análise e registro técnicos”.



**Figura 7.3** - (a) Tipos de dolinas (adaptado de Jennings, 1971); (b) Dolina (Lagoa Vermelha) suave, de subsidência lenta, Jardim (MS), 2003; (c) Dolina abrupta de colapso em cobertura de solo sobre calcários, Jardim (MS), 2003; (d) Mineração de dolomito exibindo cobertura de solo, fendas de dissolução e condutos preenchidos pelo solo infiltrado, Bom Sucesso de Itararé (SP), 2006.



**Figura 7.4** - Exemplo de “campo de dolinas” desenvolvido em arenitos sobre carste subjacente, Jardim (MS) (Sallun Filho & Karmann, 2007).

**Tabela 1.** Histórico de ocorrências de afundamentos em áreas cársticas no Brasil (Santos, 2008).

1981	Mairinque – SP	Várias edificações apresentaram trincas e afundamentos de piso
1986	Cajamar – SP	Colapso e subsidência de grandes proporções, impactantes por ocorrerem em plena área urbana. Cerca de 60 dias após os primeiros sinais, na principal área atingida três casas haviam sido tragadas em uma cratera de cerca de 30 metros de diâmetro e 15 metros de profundidade, enquanto recalques e trincas afetaram dezenas de outros imóveis até distâncias de 400 metros do local.
1988	Sete Lagoas – MG	Afundamento de cerca de 20 metros de diâmetro e 5 de profundidade tragou parte da arquibancada do Estádio Municipal, muros e paredes de edificações próximas, sendo que sinais de movimentação foram observados em edificações situadas em um raio de 40 metros.
1992	Almirante Tamandaré – PR	Vários pequenos afundamentos de terreno, trincas de edificações, inclinações de edificações, descolamento entre alvenaria e peças estruturais, rebaixamento do nível d'água em poços, cacimbas e pequenos lagos.
1999	Teresina – PI	Grande afundamento com comprometimento total de várias edificações.
1999	Cajamar – SP	Parte das edificações da moderna fábrica da Natura (Cosméticos) sofreu danos estruturais advindos de afundamentos em suas fundações.
2007	Almirante Tamandaré – PR	Um dos maiores afundamentos de que se tem notícia na região, com forma elipsoidal, 50 metros de comprimento, 40 metros de largura e cerca de 30 metros de profundidade.
2007	Bocaiuva do Sul – PR	Colapso com uma cratera de 5 metros de diâmetro e 5 metros de profundidade.

**Figura 7.5 -** (a) Colapso de Cajamar em 1986 (Foto: Cláudio José Ferreira); (b) Imagem da região metropolitana de São Paulo e da Cidade de Cajamar com a distribuição das rochas carbonáticas (Base: imagem Google Earth™ serviço de mapa; Geologia: CPRM, 2006).



**Figura 7.6** - Dolinas na região de Ribeirão Grande (SP): (a) e (b) Dolinas de colapso de pequenas dimensões com cobertura de solo pouco espessa (2006); (c) Grande depressão de subsidência lenta na área do bairro Carioca (2007); (d) Ocupação em área cárstica próximo a uma mineração (2007).

Na maior extensão de carste no estado de São Paulo, o Vale do Ribeira, a baixa densidade populacional faz com que os afundamentos ocorram geralmente em áreas inabitadas (Figura 7.2c). Porém, em alguns pontos, como na região de Ribeirão Grande a ocupação que ocorre sobre áreas cársticas associada a intensa atividade minerária na região (Figura 7.6) pode conduzir a futuras situações de risco de subsidência e colapso.

Algumas dolinas notáveis ocorrem nas coberturas de arenitos da Bacia do Paraná, sendo geradas pela presença de carste subjacente em calcários do embasamento. Destacam-se as Furnas de Vila Velha (PR) e o Buraco das Araras em Jardim (MS) (Figura 7.7). Um caso peculiar é o da cidade de Nova Campina (SP) que situa-se



Figura 7.7 - Buraco das Araras em Jardim (MS), 2002

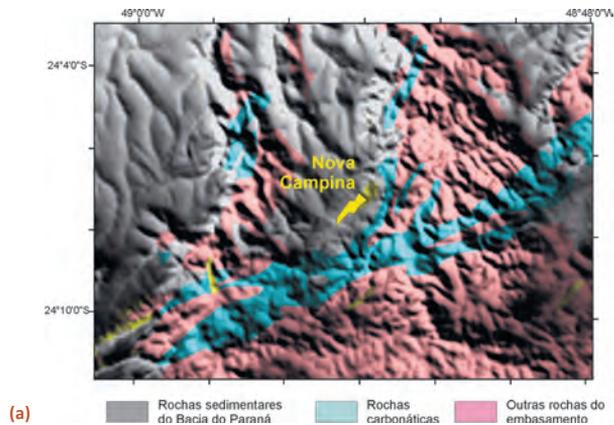


Figura 7.8 - Depressão de Nova Campina (SP): (a) Modelo de relevo (SRTM, 2009) mostrando a depressão e a distribuição das rochas (CRPM, 2006); (b) Praça central da cidade situada na porção mais baixa da depressão. (c) Grande dolina de colapso em arenitos sobre carste subjacente, Itapeva (SP), 2008.

totalmente dentro de uma depressão de grandes dimensões, desenvolvida em arenitos sobre carste subjacente (Figura 7.8a e 7.8b). Na cidade não foram registrados problemas com subsidência e colapso, mas a grande área rebaixada tornava o local sujeito a

alagamento na época de chuvas, hoje controlado por bombeamento. Uma ocorrência semelhante foi registrada entre as cidades de Itapeva e Itararé (SP), sem a presença de ocupação próxima (Figura 7.8c).

#### 7.4. Fatores aceleradores da subsidência cárstica

A ocupação de áreas cársticas apresenta um risco permanente a subsidência e colapso. Porém alguns fatores podem acelerar ou desencadear este processo.

A alteração no nível d'água subterrânea é um dos fatores mais frequentes na aceleração da subsidência. Este rebaixamento pode ser uma consequência indireta do bombeamento em poços ou nascentes para utilização da água, ou pode ser causado intencionalmente pelo bombeamento para realizar atividades que envolvam escavação, como obras, túneis, mineração, etc. O rebaixamento do nível d'água ocasiona a diminuição da sustentação dos condutos ou a alteração do regime de fluxo da água subterrânea, que pode provocar erosão de condutos preenchidos por sedimentos, gerando subsidência em ambos os casos. A elevação do nível d'água também pode ocasionar subsidência, como no caso de reservatórios e barragens, pela alteração dos regimes de fluxo da água subterrânea.

A atividade minerária, comum em áreas cársticas, pode desencadear subsidência, pelo rebaixamento do nível d'água e devido ao desmonte de rochas com a utilização de explosivos.

#### 7.5. Recomendações e ações preventivas

O carste é naturalmente mais vulnerável que outras regiões, devendo assim ser estudado ou até mesmo evitado, quando da escolha para instalação de empreendimentos potencialmente geradores de riscos a contaminação (água, solo) ou a aceleração do risco a afundamentos. Assim, todo empreendimento, intervenção ou ocupação em áreas cársticas necessitam de especial atenção.

Inicialmente deve-se ter um conhecimento geológico e geomorfológico básico, com detalhe suficiente para cada tipo de empreendimento. Se os estudos geológicos prévios apontam a presença de rochas carbonáticas (ou outras rochas carstificáveis), são necessários estudos para verificar a presença ou não de carste. Estes estudos podem ser levantamentos tradicionais de campo, de interpretação de fotografias aéreas ou imagens, levantamentos históricos na região. Porém, como mencionado acima, nem sempre é possível observar feições típicas em superfície, o que não significa a inexistência de carste em profundidade. Desta forma, deve-se sempre que possível, proceder com investigações detalhadas para elaborar um cenário mais preciso, utilizando-se métodos sofisticados como sondagens ou métodos geofísicos.

##### Como prevenir

Inicialmente deve-se ter um conhecimento geológico e geomorfológico básico, com detalhe suficiente para cada tipo de empreendimento. Se os estudos geológicos prévios apontam a presença de rochas carbonáticas (ou outras rochas carstificáveis), são necessários estudos para verificar a presença ou não de carste, com métodos mais sofisticados como sondagens ou métodos geofísicos.

Em situações da ocorrência de afundamentos, estudos específicos deverão ser realizados e medidas como obras de engenharia poderão ser necessárias para sanar ou minimizar o problema. Se estas áreas já estiverem ocupadas ou mesmo se algum empreendimento está em construção ou já finalizado, deve-se sempre monitorar as possíveis alterações no terreno. Em alguns casos há delimitação de “zonas de risco” em estudos posteriores ao colapso, que devem ser sempre respeitadas (Figura 7.9). Medidas extremas como remoção da população ou de empreendimentos poderão ser necessárias em casos de risco irreparável ou da mitigação ser economicamente inviável. Isto é importante, pois a carstificação é um processo dinâmico e recorrente, mesmo após a estabilização de uma ocorrência de colapso.

Quando da utilização da água subterrânea dos aquíferos cársticos, devem ser realizados estudos hidrogeológicos prévios para se calcular a taxa de bombeamento máxima de exploração sem risco de subsidência e deve haver monitoramento contínuo do nível d’água para não ocasionar risco por rebaixamento excessivo. A atividade de mineração deve possuir monitoramento contínuo dos níveis de tremores por explosão e do rebaixamento do nível d’água.



**Figura 7.9 -** Zoneamento de risco proposto por Prandini *et al.* (1987) para Cajamar (SP) após a ocorrência do colapso de 1986 (Base: imagem Google Earth™ serviço de mapa).

### Bibliografia recomendada

- AULER, A. S.; PILÓ, L. B.; SAADI, A. 2005. Ambientes cársticos. In: Souza, C.R.G.; Suguio, K.; Oliveira, A.M.S.; Oliveira, P.E. (Org.). Quaternário do Brasil. Ribeirão Preto: Holos Editora, p. 321-342.
- KARMANN, I. 2000. O ciclo da água, água subterrânea e sua ação geológica. In: Teixeira, W.; Fairchild, T.R.; Toledo, M.C.M.; Taioli, F. (Org.). Decifrando a Terra. São Paulo: Oficina de textos, p. 113-138.
- SUGUIO, K. 1999. Geologia do Quaternário e Mudanças Ambientais (Passado + Presente = Futuro?). São Paulo, SP: Paulo's Editora, 366 p.
- SUGUIO, K. 2008. Mudanças Ambientais da Terra. 01. ed. São Paulo: Instituto Geológico, 336 p.

# Capítulo 8

## Clima, tempo e desastres

Renato Tavares

“A natureza, numa pedagogia sinistra, parece exemplificar o que significam esses fenômenos extremos que, em várias regiões do planeta, tenderão a provocar períodos de seca muito mais severos e outros com precipitações intensas. As ações de mitigação necessárias e as adaptações para enfrentar esses efeitos e reduzir nossa vulnerabilidade diante deles, ainda são precárias e estão atrasadas. As piores consequências deverão recair sobre os países pobres e os em desenvolvimento. A urgência é auto-explicável. Não é um cientista quem o diz e nem um livro. É a natureza, cujos avisos e alertas têm sido insanamente ignorados.”

(“A dor que nunca passa” por Marina Silva (ex-ministra do Meio Ambiente))



Tornado em Indaiatuba, SP, 2005. Fonte: M. Hollingshead



## Capítulo 8

### CLIMA, TEMPO E DESASTRES

#### 8.1. Clima e tempo

O clima do planeta e suas mudanças têm sido um dos assuntos mais debatidos na atualidade. A identificação dos fatores que influenciam a mudança e variabilidade climática, manifestadas no superaquecimento global e aumento de frequência de eventos extremos, tem se constituído num dos maiores desafios da ciência, bem como o estudo de suas consequências e medidas de prevenção. Além disso, a maior parte dos desastres naturais no Brasil é causada pela dinâmica externa da Terra, ou seja, aquela conduzida pelo clima e pelos processos atmosféricos. É comum haver confusão no emprego dos termos clima e tempo, como por exemplo, quando se diz que o clima em determinado dia está quente e chuvoso, sendo na verdade o tempo atmosférico que estaria naquelas condições. Os conceitos de clima, baseado na concepção de Max Sorre nos anos de 1950, e tempo, em Vianello e Alves (2002), podem ser compreendidos nos quadros abaixo destacados. As definições adotadas pelo CRED - Centre for Research on the Epidemiology of Disasters buscam detalhar a escala temporal nos conceitos: clima usualmente refere-se a processos atmosféricos de longa duração que ocorrem em escalas médias a macro (intervalos das estações até variabilidades climáticas decenais), enquanto o tempo associa-se a processos atmosféricos de curta duração, de escalas pequenas a médias (no intervalo de minutos a dias).

**Clima** é a sucessão habitual dos diferentes tipos de tempo em um determinado lugar.

**Tempo** é o estado das condições atmosféricas em um determinado lugar e momento.

O clima pode ser o mais importante componente do ambiente natural, pois ele afeta os processos geomorfológicos, os da formação dos solos e o crescimento e desenvolvimento das plantas. Os organismos, incluindo o homem são influenciados pelo clima. As principais bases da vida para humanidade, principalmente o ar, a água, o alimento e o abrigo, dependem do clima. O ambiente atmosférico influencia o homem e suas atividades, enquanto o homem pode, através de suas várias ações, deliberada ou inadvertidamente, influenciar o clima (Ayoade, 1991).

A caracterização do clima é baseada na análise de série de dados dos elementos do clima registrados em estações meteorológicas durante longos períodos. A Organização Mundial de Meteorologia (OMM) recomenda ser necessário no mínimo 30 anos de dados para estabelecer uma correta caracterização climática de uma área. Já o tempo pode mudar totalmente de um momento a outro. Num determinado dia pode amanhecer com chuva e frio (tempo “feio”), mas no decorrer do dia o céu pode mudar, ficando sem nuvens, ensolarado e quente (tempo “bonito”). Cada estação do ano apresenta um conjunto

característico de tipos de tempo. Quando mudam as estações (verão, outono, inverno e primavera), já temos uma ideia dos tipos de tempo esperados. Geralmente no inverno predominam as temperaturas mais baixas, no verão as mais altas. Em cada estação dominam certos tipos de tempo, porém podem ocorrer, de forma passageira, condições atmosféricas típicas de outras estações (Vianello & Alves, 2002).

Para uma melhor compreensão dos diferentes climas do planeta, Mendonça e Danni-Oliveira (2007) apontam que os estudos em Climatologia são estruturados a fim de evidenciar os *elementos climáticos e os fatores geográficos do clima*. Esses elementos manifestam-se por meio de *precipitação, vento, nebulosidade, ondas de frio e calor*, entre outros, que interagem na formação dos diferentes climas da Terra. Todavia, esses elementos, em suas diferentes manifestações, variam espacial e temporalmente em decorrência da influência dos **fatores** geográficos do clima. A *circulação e a dinâmica atmosférica* superpõem-se aos elementos e fatores climáticos e imprimem ao ar uma permanente movimentação (Mendonça & Danni-Oliveira, 2007). A síntese desses elementos e fatores em interação exprime o clima de uma área.

#### **Elementos** constitutivos do clima

- temperatura
- umidade
- pressão atmosférica

#### **Fatores** geográficos do clima:

- latitude
- continentalidade
- vegetação
- altitude
- maritimidade
- atividades humanas

A combinação dos elementos e fatores climáticos e do tempo atmosférico em um determinado lugar pode originar os desastres naturais, considerando tanto aqueles deflagrados por algum(s) elemento(s) do clima, como a chuva para os escorregamentos e inundações, como aqueles propriamente climáticos e meteorológicos, como os tornados, furacões e geadas, por exemplo, que serão abordados no decorrer do capítulo. Portanto, para melhor compreender os desastres naturais e suas origens, é necessário abordar a dinâmica dos processos atmosféricos ou meteorológicos, ou seja, a configuração dos principais sistemas atmosféricos produtores dos diferentes tipos de tempo no Estado de São Paulo e, conseqüentemente, do clima.

A **circulação geral da atmosfera** é desencadeada pela desigual distribuição de energia sobre a superfície terrestre, iniciando-se pela movimentação da energia acumulada nos trópicos em direção aos polos. Essa movimentação forma três células de circulação em cada hemisfério: tropical, temperada e polar. Como exemplo, o ar que sobe na linha do equador (0°) resfria-se e torna-se pesado em altitude, descendo a 30° de latitude. Nessa faixa, o ar desloca-se na superfície tanto para norte quanto para sul. Ao retornar para o equador (norte), completa a célula de circulação tropical. Esse mesmo processo também ocorre nas latitudes temperadas (30° e 60°) e nas latitudes polares (60° e 90°), formando as células de circulação temperada e polar, respectivamente. As faixas de altas e baixas pressões, decorrentes da divergência (saída) e convergência (encontro) do ar, são interrompidas, devido à diferença de aquecimento entre terras e águas, formando centros de baixas

e altas pressões, sobre os continentes e oceanos. Como as terras aquecem e resfriam mais rapidamente que as águas, os centros de pressão alternam suas posições em função das estações do ano (Kobiyama *et al.*, 2006).

Este modelo, em escala local, explica a brisa marinha e terrestre. Durante o dia a costa aquece mais rapidamente que o mar. O ar sobe na costa, formando uma baixa pressão e desce sobre o mar dando origem a uma alta pressão. O ar que se acumula sobre o mar se desloca então para o continente dando origem à brisa marinha. À noite as águas mantêm-se mais aquecidas do que o continente. O ar sobe sobre o mar e desce sobre a superfície terrestre. Da alta pressão que se forma sobre a terra mais fria ocorre divergência do ar, ou seja, o ar sai do continente para o oceano originando a brisa terrestre (Vianello & Alves, 2002).

A circulação geral e o movimento das massas de ar podem ser considerados como uma base sobre a qual se justapõem muitas outras irregularidades e perturbações menores. É como o fluxo de um rio, apresentando pequenas correntes isoladas e redemoinhos. O mecanismo de brisas do mar e da terra representa alguns desses movimentos secundários.

**Ciclones** são centros de baixa pressão atmosférica em relação às áreas circundantes, com características de tempo instável e tempestuoso. Sua circulação dá-se no sentido horário no Hemisfério Sul e anti-horário no Hemisfério Norte.

**Anticiclones** são centros de alta pressão atmosférica em relação às áreas circundantes, cuja circulação ocorre no sentido inverso ao do ciclone, e o tempo que o acompanha é geralmente estável (céu claro).

adaptado de Kobiyama *et al* (2006)

Porém, é na **circulação secundária** que ocorrem as principais irregularidades, perturbações atmosféricas que se deslocam, das quais algumas têm origem nas latitudes elevadas, enquanto que outras se originam nos trópicos. São associadas intimamente com os movimentos de massas de ar e atividade frontais, que causam as variações diárias do tempo nas latitudes médias (Blair, 1964). Monteiro (1973) apresenta os principais centros de ação atmosférica da América do Sul (Figura 8.1), ou seja, as áreas isobáricas de controle das massas de ar e dos tipos de tempo. Segundo o autor, o território paulista, mercê de sua posição e das combinações gerais dos fatores geográficos, é envolvido pelas principais correntes da circulação atmosférica da América do Sul:

- Massa Tropical Atlântica (Ta);
- Massa Tropical Continental (Tc);
- Massa Polar Atlântica (Pa);
- Massa Equatorial Continental (Ec), oriunda da Amazônia Ocidental.

**Massas de ar** é uma unidade aerológica, ou seja, uma porção da atmosfera, de extensão considerável, que possui características térmicas e higrométricas homogêneas.

Mendonça & Danni-Oliveira (2007)

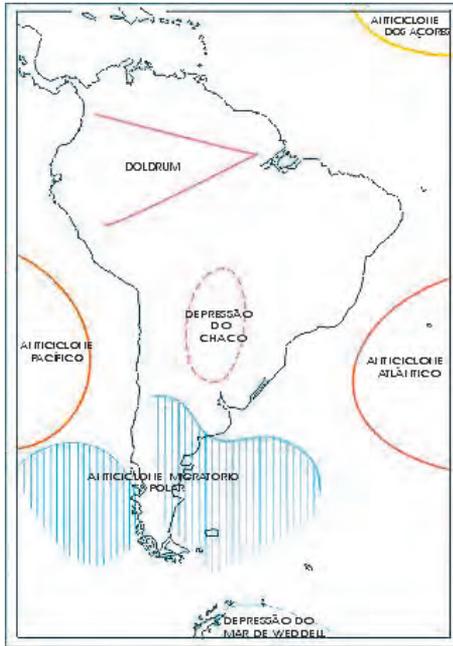


Figura 8.1 - Principais centros de ação atmosférica da América do Sul (Monteiro, 1973)

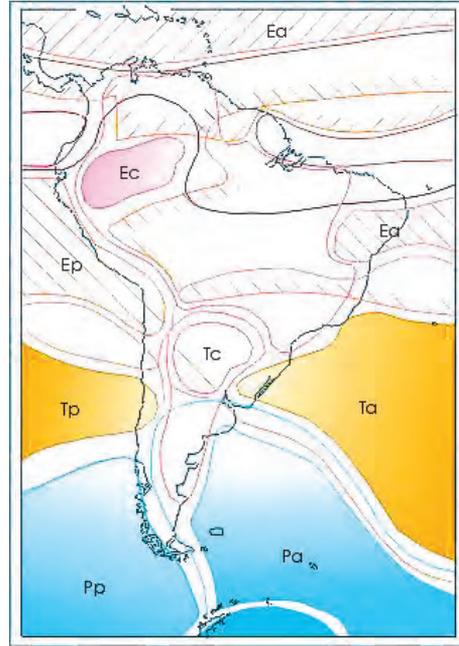


Figura 8.2 - As massas de ar na América do Sul (Monteiro, 1973)

A Figura 8.2 apresenta as massas de ar atuantes na América do Sul. As facilidades das trocas entre os sistemas tropical e intertropical na América do Sul colocam o território paulista na faixa de conflito entre os dois. A grande amplitude da área de flutuação da Frente Polar, do Rio do Prata ao trópico de Capricórnio, tem justamente no território paulista, não só uma acentuada frequência de passagens, como também sua área de oscilação e permanência, que se estende do trópico ao Estado do Espírito Santo. O Estado de São Paulo está em plena encruzilhada das correntes tropicais marítimas do E-NE das correntes polares do sul e das correntes do W-NW do interior do continente. Este centro de choques de massa de ar alia-se à presença da faixa limítrofe entre duas grandes regiões climáticas da vertente atlântica da América do Sul. Justamente a transição entre o Brasil

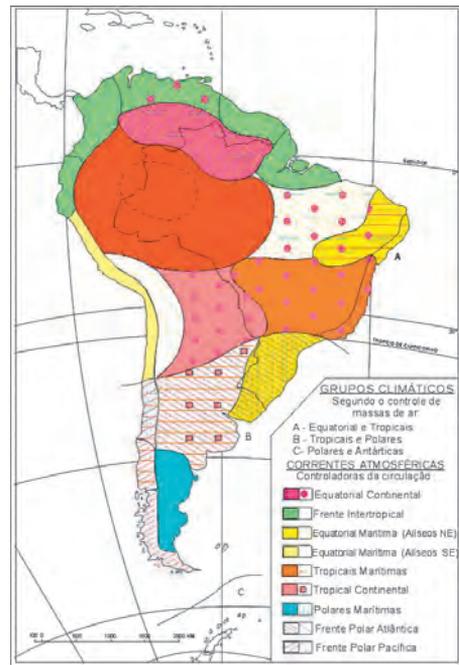
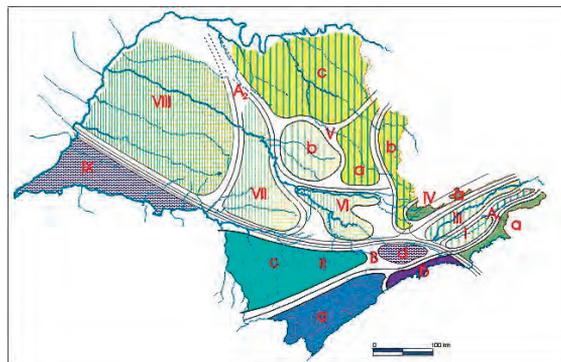


Figura 8.3 - As grandes regiões climáticas da América do Sul (Monteiro, 1973)

Meridional, permanentemente úmido, e o Brasil Central, com alternância de períodos secos e úmidos bem definidos, encontra-se o Estado de São Paulo. Os mecanismos gerais da circulação atmosférica sul-americana, pulsando sob o controle da dinâmica da Frente Polar, trazem ao território paulista o fluxo destas três grandes correntes antagônicas – polar atlântica, tropical atlântica e tropical continental (Monteiro, 1973).

A Figura 8.3 apresenta as grandes regiões climáticas da América do Sul. No mesmo estudo, o autor propôs uma classificação genética para os climas do Estado de São Paulo partindo da análise dos sistemas atmosféricos atuantes, suas características, movimentos e os processos frontais envolvidos, que resulta em nove unidades climáticas distintas no Estado de São Paulo (Figura 8.4).

**Frentes** são zonas ou superfícies de descontinuidade ou transição (térmica, anemométrica, barométrica, higrométrica etc.) no interior da atmosfera, oriundas do encontro de duas massas de ar de características diferentes.  
Mendonça & Danni-Oliveira (2007)



		FEIÇÕES CLIMÁTICAS INDIVIDUALIZADAS NOS CLIMAS REGIONAIS, SEGUNDO AS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS					
Climas Zonais	Climas Regionais	Litoral	Planalto Atlântico	Vale do Paraíba	Montesia	Depressão	Planalto Oriental
		Controlados por massas equatoriais e tropicais	Climas frios, das costas expostas a massas T	<p>II</p> <p>Norte</p>	<p>III</p> <p>Bacia superior do Paraíba</p>	<p>III</p> <p>Vale do Paraíba</p>	<p>IV</p> <p>Serra (borda do Planalto)</p>
Controlados por massas equatoriais e tropicais	Climas tropicais, secos e úmidos				<p>Contratopias</p>	<p>V</p> <p>Sector Norte</p>	<p>VI</p> <p>Serra de São Carlos</p>
						<p>VI</p> <p>"Parque" do Tietê</p>	<p>VII</p> <p>Serra de Itocuca</p>
							<p>VIII</p> <p>Oeste</p>
Controlados por massas tropicais e polares	Climas limites de transição, oriental e sub-tropical, dos continentes dominado por massas T	<p>II</p> <p>Centro</p>	<p>II</p> <p>Bacia Paulista</p>				<p>IX</p> <p>Sudeste</p>
		<p>Sul</p>	<p>Bacia do Paranapanema</p>				

Figura 8.4 - Esquema representativo das feições climáticas individualizadas no território paulista dentro das células climáticas regionais e das articulações destas nas faixas zonais (Monteiro, 1973)

Nimer (1989) afirma que apesar de sua notável diversificação climática, o sudeste do Brasil constitui certa unidade climatológica advinda do fato desta região estar sob a zona onde mais frequentemente o choque entre o sistema de altas tropicais e o de altas polares se dá em equilíbrio dinâmico. Desta circunstância decorre o caráter de transição na climatologia regional do Sudeste, o qual é expresso, no seu regime térmico. Interferindo sob o fator regional (mecanismo atmosférico), a orografia determina uma série de variedades climáticas, tanto no que se refere à temperatura quanto à precipitação, sendo que o Sudeste é bem regado por chuvas, no entanto a distribuição deste fenômeno se faz de modo muito desigual ao longo do espaço regional e do ano.

São variados os sistemas atmosféricos que podem causar desastres naturais em São Paulo. Dentre eles, destacam-se:

- **Sistemas Frontais**, definido como frentes anteriormente, e que gera tempo instável. Estas áreas de instabilidades produzem muita chuva, que pode desencadear inundações, inundações bruscas (enxurradas e alagamentos), além de vendavais, granizos e tornados. Estes sistemas podem ocorrer o ano inteiro, mas é no inverno que a sua atuação é mais frequente e intensa (Monteiro, 2001 *apud* Kobiyama *et al*, 2006);
- **Ciclones Extratropicais** são perturbações que se originam na baixa troposfera e fazem parte dos sistemas migratórios frontais que se desenvolvem na região subtropical, no encontro das massas polares frias com a vertente quente dos anticiclones subtropicais, proveniente da região equatorial (Oliveira *et al*, 2001). Propagam-se junto às frentes polares e são comuns de ocorrerem no Oceano Atlântico, próximo à costa sul e sudeste do Brasil, podendo causar ressacas, chuvas intensas e ventos fortes (Varejão-Silva, 2006);
- **Sistemas Convectivos Isolados**, que serão explicados no item seguinte, ocorrem geralmente no verão e também podem se associar com os Sistemas Frontais e gerar muita chuva, vendavais e granizo;
- **Complexos Convectivos de Mesoescala** são sistemas com intensidade suficiente para gerar chuvas fortes, ventos, tornados, granizo, etc., ou seja, também são capazes de desencadear desastres naturais. Formam-se no norte da Argentina e Paraguai (região do Chaco) e deslocam-se em direção ao leste (Silva Dias, 1996 *apud* Kobiyama *et al*, 2006);
- **Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS)**, convencionalmente definida como uma persistente faixa de nebulosidade orientada no sentido noroeste-sudeste, que se estende do sul da Amazônia ao Atlântico Sul-Central por alguns milhares de km, bem caracterizada nos meses de verão. Estudos prévios mostram o importante do seu papel na transferência de calor e umidade dos trópicos para as latitudes mais altas. Observações indicam evidente associação entre períodos de enchentes de verão na região sudeste e veranicos na região sul com a permanência da ZCAS por períodos prolongados sobre a região sudeste; por outro lado, períodos extremamente chuvosos no sul coincidem com veranicos na região sudeste, indicando a presença de ZCAS mais ao sul (Camargo, 2004).

- **Massas Polares**, que após a passagem de frentes frias, por vezes ocasiona geadas, tratadas adiante.

Os desastres naturais abordados em seguida foram sistematizados segundo seus processos atmosféricos geradores e sua forma, todos relacionados com a geodinâmica terrestre externa, buscando correspondência com o CODAR – Codificação de Desastres, Ameaças e Riscos (Castro, 2003), adotado pela Defesa Civil. Inicia-se com as chuvas intensas, fenômeno mais frequente no território paulista, e que deflagra os desastres naturais relacionados com o incremento das precipitações hídricas e com as inundações. Na sequência, o granizo, assim como a chuva, produz impacto meteórico, porém, é considerado um desastre natural relacionado com temperaturas extremas. Os fenômenos anteriores geralmente vêm associados aos raios, que são responsáveis por um elevado número de vítimas fatais no país, e juntos aos vendavais, produzem situações no tempo atmosférico conhecido como temporais.

**Temporal** é o termo usado para designar a associação de fenômenos como chuvas intensas, granizo, trovoadas, raios e vendavais. A principal condição para sua ocorrência é uma grande instabilidade atmosférica, dando origem à rápida convecção, a grandes altitudes, de uma massa de ar muito úmida. O temporal é assinalado por uma nuvem do tipo cumulonimbo (cumulus-nimbus), muito alta, com base escura e turbulenta; essa nuvem ascende a 10 mil metros ou mais.

Adaptado de Forsdyke (1969)

Em seguida são tratados os desastres naturais de causa eólica, ou seja, vendaval, tornado, furacão e ressaca, este último responsável também por inundações litorâneas provocadas pela brusca invasão do mar; a geada, relacionada com temperaturas extremas, porém, formada em superfície, ao contrário do granizo; e finaliza-se com a estiagem, desastre relacionado com a intensa redução das precipitações hídricas.

## 8.2 Chuvas intensas

**Chuva** é a precipitação de gotas de água superior a 0,5 cm. Chuvas muito intensas, que normalmente duram pouco, são conhecidas como **aguaceiros**.

Varejão-Silva (2006)

A água é a fonte da vida neste planeta. Contudo, existindo como gelo, água líquida ou vapor d'água, sua distribuição global é bastante variada. Oceanos, rios e chuvas estão em permanente mudança: por evaporação, precipitação, transpiração e escoamento. Águas que se elevam pela evaporação e, ao condensar-se, sublimar-se ou congelar-se, formam nuvens de água líquida e/ou cristais de gelo, que precipitam, em gotas líquidas, neve ou granizo. Tais águas, para fechar o ciclo hidrológico, alimentam mananciais, lagos, rios, ou retornam para o mar (Oliveira *et al*, 2001).



Figura 8.5 - Temporal em Camboriú, SC, 2008. (Foto: Acervo IG)

A chuva é o principal tipo de precipitação que ocorre no Brasil, uma vez que a precipitação de neve está restrita a áreas serranas da região sul em ocorrências ocasionais. Por isso é comum o termo precipitação ser utilizado para a chuva – o elemento climático que deflagra os principais desastres naturais no Brasil: as inundações e os escorregamentos. A precipitação pluviométrica, ou chuva, tem sido o elemento do clima que provoca as transformações mais rápidas na paisagem no meio tropical e subtropical, sobretudo durante o verão, em episódios de chuvas concentradas (**chuvas intensas ou aguaceiros**), que ocorrem anualmente. Não raras vezes resultam em tragédias, principalmente nas grandes cidades e zona costeira. A quantidade de precipitação é normalmente expressa em termos da espessura da camada d'água que se formaria sobre uma superfície horizontal, plana e impermeável, com  $1\text{m}^2$  de área. A unidade adotada é o milímetro, que corresponde à queda de um litro de água por metro quadrado da projeção da superfície terrestre, conforme:

$$1 \text{ litro}/\text{m}^2 = 1\text{dcm}^3/100\text{dcm}^3 = 0,1\text{cm} = 1\text{mm}.$$

Isso significa que uma precipitação de 50mm equivale à queda de 50 litros de água por metro quadrado de terreno, ou 500.000 litros por hectare. A precipitação é ainda caracterizada por sua duração (diferença de tempo entre os instantes de início e término) e por sua intensidade, definida como a quantidade de água caída por unidade de tempo e usualmente expressa em mm por hora. Os instrumentos de leitura direta usados para quantificar a precipitação são chamados pluviômetros (Figura 8.6), cuja 'boca' deve estar a 1,5 m do solo; e aos registradores chamam-se pluviógrafos, capazes de determinar a intensidade e duração da chuva. As chuvas são classificadas de acordo com sua formação, que é



Figura 8.6 - Pluviômetro DAEE

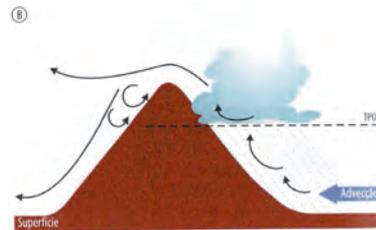
resultado do tipo de processo que controla os movimentos de elevação do ar geradores das nuvens das quais se precipitam, assim diferenciadas (Mendonça e Danni-Oliveira, 2007):

- **Chuva de origem térmica ou convectiva** - a convecção resulta do forte aquecimento do ar que ocorre ao longo do dia e caracteriza-se por movimentos ascensionais turbilhonares e vigorosos, que elevam o ar úmido (Figura 8.7). Com a continuidade do aquecimento e atingindo a saturação, expressa pela temperatura do ponto de orvalho (TPO), ocorre a formação de pequenas nuvens cumulus, que tendem a se transformar em cumulonimbos, gerando a precipitação, e não raras vezes os aguaceiros tropicais de final de tarde (“chuva de verão”).



**Figura 8.7** - Esboço do processo gerador de chuva convectiva (Mendonça & Danni-Oliveira, 2007)

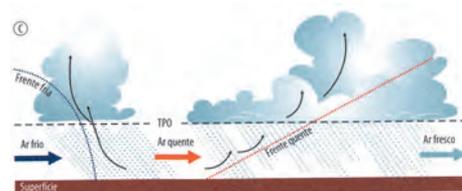
- **Chuva de origem orográfica** ou de relevo - ocorrem por ação física do relevo, que atua como uma barreira à advecção livre do ar, forçando-o a ascender. O ar quente e úmido, ao ascender próximo às encostas, resfria-se adiabaticamente devido à descompressão promovida pela menor densidade do ar nos níveis mais elevados. O resfriamento conduz à saturação do vapor, possibilitando a



**Figura 8.8** - Esboço do processo gerador de chuva orográfica (Mendonça & Danni-Oliveira, 2007)

formação de nuvens estratiformes e cumuliformes, que, com a continuidade do processo de ascensão, tendem a produzir chuvas (Figura 8.8). Dessa forma, as vertentes a barlavento são comumente mais chuvosas que aquelas a sotavento, onde o ar, além de estar menos úmido, é forçado a descer, o que dificulta a formação de nuvens e a distribuição da chuva é mais constante.

- **Chuva de origem frontal** - forma-se pela ascensão forçada do ar úmido ao longo das frentes. As frentes frias, por gerarem movimentos ascensionais mais vigorosos, tendem a formar nuvens cumuliformes mais desenvolvidas. A intensidade das



**Figura 8.9** - Esboço do processo gerador de chuva frontal (Mendonça & Danni-Oliveira, 2007)

chuvas nelas geradas, bem como sua duração, será influenciada pelo tempo de permanência da frente no local, pelo teor de umidade contido nas massas de ar que a formam, pelos contrastes de temperatura entre as massas e pela velocidade de deslocamento da frente. Nas frentes quentes, a ascensão é mais lenta e gradual, gerando nuvens preferencialmente do tipo estratiforme.

Quanto à distribuição média anual da precipitação pluviométrica no Estado de São Paulo, Carvalho e Assad (2005) realizaram mapeamento de isoietas utilizando-se dados de 1.027 postos pluviométricos abrangendo todo o Estado, para o período de 1957 a 1997 (Figura 8.10).

Os autores avaliaram diferentes métodos de interpolação geoestatística, elegendo a krigagem ordinária como mais eficiente. Observa-se uma faixa de alta precipitação pluviométrica no litoral que segue ordem própria e é discrepante as demais áreas do Estado. Isto se deve ao relevo da região, com a presença da Serra do Mar se dispondo mais ou menos paralelamente à linha da costa, concordante as vertentes a barlavento, lado de onde sopra o vento, mais expostas aos ventos úmidos, que geram a queda de precipitação do tipo orográfico ou de relevo. Nessa faixa litorânea mais úmida situa-se uma das porções mais chuvosas do Brasil, no

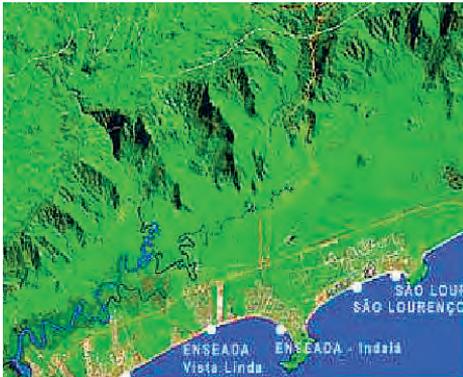


Figura 8.11 - Ortofoto de Bertioga-SP (Fonte: SMA)

do litoral paulista, onde a Serra do Mar se posiciona muito próximo à costa e a ocupação humana se estende ao longo de estreita planície costeira, são registradas chuvas intensas anualmente. O trecho da Serra do Mar em Cubatão foi área de estudo dos primeiros ensaios de correlação entre chuva e escorregamentos realizados no Brasil por Guidicini e Iwasa (1972) e Tatizana *et al* (1987).

Os municípios do litoral norte paulista e Baixada Santista operados pelo Plano Preventivo de Defesa Civil específico para escorregamentos na Serra do Mar, acompanham os registros pluviométricos diários acima dos quais determinam mudança de fase de sua operação. Esses totais pluviais de certa forma correspondem a chuvas intensas capazes de deflagrar processos de movimentos de massa. Para o litoral norte paulista (municípios de Ubatuba, Caraguatatuba, São Sebastião e Ilha Bela), foi estabelecido o



Figura 8.10 - Distribuição pluviométrica média anual no Estado de São Paulo (Carvalho & Assad, 2005).

trecho da Serra do Mar, entre Cubatão e Bertioga (Figura 8.11), onde se registra totais pluviais anuais acima de 3000 mm, volume similar somente encontrado na bacia amazônica. Como exemplo, o posto pluviométrico E3-042 do DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo), Represa Itatinga (23°44'S; 46°07'W; 720m), localizado no município de Bertioga (SP), que possui média pluviométrica anual de 4544 mm (1971-1999) e totais máximos que já superaram 6000 mm em alguns anos. As porções norte e central (Baixada Santista)

acumulado de chuva igual ou superior a 120 mm em 3 dias, e para a Baixada Santista (Guarujá, Santos São Vicente, Cubatão, Praia Grande, 100 mm em até 3 dias. Alguns municípios da região metropolitana e do interior paulistas também compõem planos de contingência da Defesa Civil, e em geral, foi estabelecido o volume pluviual de 80 mm como limite para mudança de estado de operação da Defesa Civil. Portanto, para cada lugar, o suporte físico, tipo de uso e ocupação do terreno, determinam o quanto a intensidade da chuva pode se tornar um desastre. Nos municípios que abrangem a Serra do Mar, os “índices” de chuva acima tem correspondido satisfatoriamente às ações de prevenção da Defesa Civil estadual e municipais relativas aos desastres do tipo escorregamentos de encostas, que objetivam prioritariamente evitar perda de vidas durante o período chuvoso.

Em estudo desenvolvido por Tavares *et al* (2004), baseado no levantamento de dados de ocorrências de movimentos de massa da Defesa Civil nos municípios do Litoral Norte (período de 1991-2000), de chuvas de 10 postos da rede pluviométrica do DAEE (período de 1971-2000) e sua correlação, observou-se que 69% dos registros de movimentos de massa ocorreu sob chuva acumulada igual ou superior a 120 mm em até 72 h. Entre 80 e 119,9 mm em até 72 h foram 10% dos casos e o restante abaixo desses valores, que apontaram para as seguintes causas: indução antrópica direta, sem presença de chuva (por exemplo, lançamento inadequado de água servida); sequência chuvosa intensa anterior ao período de 72 h. Como exemplo, a chuva acumulada de 72 h no dia 13/02/1996 em Ubatuba, que totalizou 404,3 mm, e provocou escorregamentos e rolamentos de blocos até o dia 26, sendo registradas chuvas diárias abaixo de 15 mm desde o dia 18; e evento pluviual intenso em 24 h, que não necessariamente acumula total acima de 80 mm em 72 h. Verificaram-se ocorrências deflagradas por chuva de aproximadamente 60 mm em até 24 h em Ubatuba e São Sebastião no mês de março; 55 mm/24 h em Caraguatatuba no mês de janeiro; e 50 mm/24 h em Ubatuba no mês de janeiro e em Caraguatatuba no mês de dezembro. Os autores concluíram que, de maneira geral, volumes pluviuais diários acima de 50 mm representam uma situação de perigo à deflagração de movimentos de massa durante o verão e durante os meses de novembro, abril e maio. Há registros de chuvas acima de 400 mm em 24 h, como exemplo a catástrofe ocorrida em Caraguatatuba, que sofreu um aguaceiro sem precedentes em 1967, onde a cidade foi coberta por toneladas de lama e vegetação descidas das encostas da Serra do Mar após chuvas torrenciais. O evento possivelmente não registrou um volume maior de chuva devido à capacidade de armazenamento de água no pluviômetro, que transbordou antes que fosse possível sua leitura na manhã seguinte. O evento de chuva registrou 570 mm em dois dias e na ocasião foi divulgado um total estimado de 120 mortes decorrentes da tragédia.

### 8.3. Granizo

O **granizo**, também conhecido como chuva de pedra ou saraiva, é uma precipitação de grãos de gelo, transparentes ou translúcidos, em forma esférica ou irregular, apresentando diâmetro geralmente superior a 0,5 cm.

Varejão-Silva (2006)

A precipitação de grãos ou pedaços de gelo ocorre, em geral, durante os temporais. Uma grande gota de chuva perto do fundo de uma nuvem de trovoadas, numa forte corrente de ascensão, é levada para cima e, ao alcançar as temperaturas menores, transforma-se em gelo. Em seguida, atrai cristais de gelo e flocos de neve na parte superior da nuvem, tornando-se maior e começando a cair. Na parte inferior da nuvem recolhe mais água. Poderá ser levada de novo para cima, para o alto da nuvem, recolhendo mais cristais de gelo (Forsdyke, 1969).

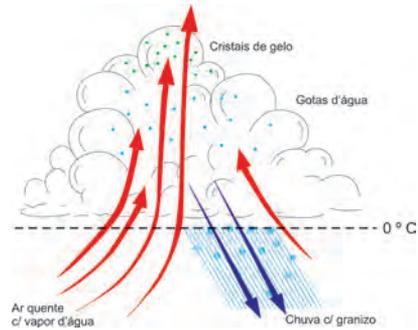


Figura 8.12 - Processo de formação de granizo

A chuva, no ciclo natural da água, ocorre porque a água atmosférica, em estado de vapor, é levada pelo ar quente que, por ser mais leve que o ar frio, tende a subir. Mas, quanto mais quente e úmido está o tempo atmosférico, maiores são as massas de ar carregadas de vapor. Quando essas massas esfriam, formam enormes nuvens de tempestades. A chuva, neste caso, no lugar de gotas d'água, cai em forma de pedras de gelo. As gotas de água da nuvem são empurradas pelo ar quente, porque no interior das nuvens, as correntes de ar descem e sobem.

Quando as nuvens atingem a troposfera, a 5 km, chegam a uma temperatura inferior à 0°C. Abaixo dessa linha isotérmica de 0°C, temos a constituição de partículas de água e vapor na forma de gotículas. Acima da linha isotérmica de 0°C, as gotas de água congelam e formam o granizo. Algumas nuvens atingem altitudes iguais ou superiores a 15 km no seu volume total e, quando lançadas para cima pela massa de ar quente, se avolumam em forma de cogumelo, com quilômetros de diâmetro e altitude. Na maioria das vezes o granizo se forma em nuvens do tipo cumulonimbus. Conforme a formação do granizo, muitas vezes as pedras degelam, chegando ao chão em forma de gotas líquidas muito frias. Ao cair, o granizo ainda pode se fundir com elementos gasosos e, com isso, adquirir a forma de floco de neve, e não mais de pedra de gelo (Mota, 1983).

O granizo ocorre mais frequentemente nas regiões continentais das médias latitudes (20° a 55°) diminuindo em regiões marítimas e equatoriais. Entretanto, apresenta tam-



Figura 8.13 - Granizo acumulado em vias públicas de Barueri-SP (Foto: Sabino Gatti).

bém grande frequência nas altas altitudes das regiões tropicais. Teoricamente, o grau de dano causado depende do tamanho das pedras, da densidade da área, da duração do temporal, da velocidade de queda e das características dos elementos atingidos. Chuvas intensas e ventos fortes quando acompanham o granizo aumentam os danos. O dano geralmente ocorre quando a chuva de granizo tem duração de mais de 15 minutos (Mota, *Op. Cit.*).

Granizo: como prevenir	
A N T E S	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conhecer os sinais de um temporal que pode gerar chuva de granizo, tais como: nuvens negras e em forma de torre, relâmpagos à distância;</li> <li>• Ensinar aos membros da família como e quando desligar o gás, energia elétrica e água;</li> <li>• Certifique-se que todos os membros da família saibam o que fazer no momento do temporal;</li> <li>• Estar atento às previsões de tempo para a sua localidade;</li> <li>• Proteger as pessoas e animais do impacto das pedras de gelo buscando um abrigo seguro;</li> <li>• Colocar objetos frágeis embaixo de mesas e de outros móveis sólidos, caso as habitações não tenham telhados resistentes e confiáveis;</li> <li>• Guardar seu carro em local seguro e fechar todas as aberturas da sua casa;</li> <li>• Manter os animais em local coberto;</li> <li>• Aprender como agir em ocorrências de tornados, vendavais e inundações bruscas, pois são fenômenos que podem acompanhar a precipitação de granizo.</li> </ul>
D U R A N T E	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permanecer em lugar com uma cobertura que suporte a precipitação de granizo. Coberturas de cimento amianto, geralmente são as mais frágeis para suportar o granizo; se não tiver uma edificação, esconder-se dentro de um carro;</li> <li>• Evitar banheiros, pias, torneiras de água porque as tubulações de metal podem transmitir descargas elétricas;</li> <li>• Fechar as janelas e portas;</li> <li>• Não manusear nenhum equipamento elétrico ou telefones devido aos raios e relâmpagos;</li> <li>• Ouvir um rádio ou televisão à bateria para as últimas informações sobre a tempestade.</li> </ul>
D E P O I S	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dirija somente se necessário. As estradas podem estar com muitos destroços que torna a direção perigosa;</li> <li>• Verifique se há vítimas com ferimentos para prestar os primeiros socorros e chamar a emergência;</li> <li>• Estejam atentos para ajudar a sua vizinhança que pode requerer assistência especial, como crianças e idosos com dificuldades.</li> </ul>
Fonte: FEMA (2004) <i>apud</i> Kobiyama <i>et al</i> (2006)	

### 8.3 Relâmpagos / Raios

**Relâmpagos** são descargas elétricas de grande intensidade e comprimento que ocorrem na atmosfera a partir do choque de partículas de gelo, em geral no interior de nuvens de tempestade, também conhecidas como nuvens cumulonimbos. Quando o campo elétrico produzido por essas cargas excede a capacidade isolante do ar nessas regiões, a descarga ocorre. Raios são as descargas elétricas que atingem o solo.

Pinto Jr. e Pinto (2008); Demillo (1998)

A estrutura de formação e propagação de relâmpagos e raios é explicada por Demillo (1998): acima da linha térmica de 0°C, que ocorre em altitude superior a 5000m, os cristais de gelo mantêm uma carga elétrica positiva. Abaixo da linha térmica, as gotas de água mantêm uma carga negativa. Como as cargas opostas se atraem, o potencial positivo da massa de nuvem sobre a linha térmica atrai o potencial negativo na massa de nuvem abaixo da linha térmica. O resultado é um raio intranuvem, também chamado de raio nuvem-nu-



**Figura 8.14** - Relâmpagos em São Paulo  
(Foto: Luis Carlos Toreli)

vem. Se a tempestade estiver suficientemente afastada de modo que o observador não possa ouvir o trovão, o raio intranuvem é chamado de relâmpago. Os raios intranuvem respondem por 80% de todas as descargas elétricas em uma tempestade. Em um temporal, 20% das descargas elétricas ocorrem em raios nuvem-solo. O potencial negativo da nuvem é atraído pelo potencial positivo do solo. Um pequeno filamento de cargas – chamado de condutor – começa a se estender da nuvem para o solo. Quando o condutor está suficientemente próximo, a carga positiva no solo responde com uma descarga imediata de carga positiva que se encontra com o condutor antes que ele atinja o solo. Esta descarga positiva, chamada de golpe de retorno, completa o ciclo do raio. Uma tempestade pode criar diversos bolsões de carga positiva no solo que estão muito próximos. Quando um condutor desce, distanciando-se o suficiente da nuvem, um golpe de retorno é iniciado de diversos destes bolsões ao mesmo tempo. O efeito é chamado de raio em forquilha. Com o acúmulo continuado de um imenso potencial negativo na nuvem cúmulo-nimbo, as cargas negativas na superfície se espalham. Isto deixa buracos com carga positiva diretamente abaixo das tempestades. O efeito pode ser sentido pelas pessoas próximas de uma tempestade; como o potencial elétrico do corpo da pessoa também se torna carregado positivamente, o observador pode ter uma sensação de prurido, ou ter o cabelo da nuca eriçado. Isto porque a carga positiva no corpo do observador está procurando um potencial negativo para se descarregar. Se você tiver esta sensação, tente se tornar o objeto mais baixo na vizinhança imediata, ou você pode se ver envolvido em uma descarga de um raio (Demillo, 1998).

Raios ocorrem predominantemente no verão, devido ao maior aquecimento solar. Estima-se que, anualmente, cerca de 150 milhões de raios ocorrem no Brasil; destes, 50 milhões atingem o solo, representando aproximadamente seis raios por quilômetro quadrado por ano, segundo informações da Rede Brasileira de Detecção de Descargas Atmosféricas (BrasilDat) operada pelo ELAT/INPE.

As perdas econômicas ocorrem, sobretudo, no setor elétrico, mas atingem também a indústria e até o cidadão comum, com a queima de equipamentos residências (Pinto Jr e Pinto, 2008). O Brasil é o campeão mundial de incidência de raios, e São Paulo é o Estado que registra o maior número de mortes por raios no país. Aproximadamente 30% do total de casos de morte por raios registrados no país ocorreu no Estado de São Paulo, que tem a combinação de muitos raios com muitas pessoas. No ano de 2008 foram 75 mortes no Brasil, o maior número da década, e entre 300 e 400 pessoas feridas, além de prejuízos da ordem de um bilhão de reais. A Figura 8.15 apresenta o ranking da incidência de descargas atmosféricas por município no biênio 2007-2008 em toda a região centro-sul do Brasil, a qual engloba nove Estados da federação: RS, SC, PR, SP, RJ, ES, MG, MS, GO. Os rankings foram criados para cada Estado individualmente (indicando a posição de cada município em relação ao seu Estado); um ranking geral para os 3.180 municípios abrangidos; além das variações positivas e negativas na incidência de descargas atmosféricas segundo a comparação com os resultados do biênio 2005-2006.

Ranking de Incidência de Descargas Atmosféricas por Município no Brasil								
Municípios (Estado de S. Paulo)	Área km <sup>2</sup>	Biênio 2005-2006			Biênio 2007-2008			Variação entre os biênios
		Ranking		Densidade raios/km <sup>2</sup> .ano	Ranking		Densidade raios/km <sup>2</sup> .ano	
		Geral	Estado		Geral	Estado		
Guarulhos	318	12	6	8,5720	1	1	13,2336	54,4%
S. Caetano do Sul	15	1	1	12,1528	2	2	12,1919	0,3%
Mairiporã	321	152	24	5,8314	3	3	12,0059	105,9%
Ferraz de Vasconcelos	30	15	7	8,4689	8	4	11,0707	30,7%
Poá	17	19	9	8,3047	9	5	11,0126	32,6%
São Paulo	1.523	21	10	8,1406	16	6	9,7934	20,3%
Suzano	206	4	2	9,2715	17	7	9,6522	4,1%
Caieiras	96	531	57	4,6996	20	8	9,4507	101,1%
Osasco	65	451	48	4,8767	21	9	9,4244	93,3%
Mauá	62	5	3	9,2466	22	10	9,3945	1,6%

**Figura 8.15** - Ranking de incidência de descargas atmosféricas por município no Brasil - Biênios 2005-2006 e 2007-2008 (Fonte: Grupo de Eletricidade Atmosférica – ELAT/INPE, 2009)

Os dados de descargas atmosféricas apresentam algumas peculiaridades: as três primeiras cidades do ranking do Estado de São Paulo ocupam respectivamente as três primeiras posições do ranking nacional, ou seja, são as cidades com o maior número de registros de descargas atmosféricas no Brasil (na área coberta pelo levantamento). As dez cidades paulistas que lideram o ranking estadual são todas pertencentes à Grande São Paulo, maior aglomeração urbana do Hemisfério Sul.

Segundo Osmar Pinto Júnior, coordenador do ELAT/INPE, do Programa Nacional de Monitoramento de Raios e autor de livro sobre o tema, o levantamento do ELAT revela que o número de raios dobrou quando comparado com 2005. Foram 7,5 milhões em 2008 contra 3,7 milhões em 2005. Esse aumento considerável na incidência registrado pelo INPE é atribuído a fenômenos de larga escala como o La Niña, bem como a uma possível consequência das mudanças climáticas globais. Dos casos de mortes registradas em 2008, 61% ocorreram no verão e 23% na primavera. Do total, 83% foram ao ar livre e 63% na zona rural. A maioria dos atingidos por raios sofreu o acidente enquanto exerciam trabalho agropecuário no campo (19%), ou estavam dentro de casa (17%) ou em motos (17%). Também foram registrados os primeiros casos no país de morte de pessoas falando ao celular dentro de casa com o aparelho ligado à rede elétrica (3 casos, 4%) e até mesmo de pessoa usando aparelho para alisar cabelos durante o temporal. Normalmente, a temporada de temporais tem início em Setembro e vai até Março. Entre Dezembro e Janeiro de cada ano, a região de Campinas, por exemplo, é atingida em média por 17 temporais, ou seja, um a cada dois dias, normalmente formados à tarde ou início de noite, com descargas elétricas, em algum ponto da região (Pinto, 2000). Aos primeiros sinais de um temporal, planeje o que fazer no caso de ocorrência das descargas elétricas nas proximidades.

Relâmpagos / Raios: como prevenir	
A N T E S	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O uso e manutenção periódica de para-raios podem evitar incêndios em casas e prédios durante os temporais e queda de raios;</li> <li>• O raio nunca avisa aonde vai “cair”. A melhor proteção é se prevenir com antecedência. Se você ver o primeiro clarão, contar cerca de 30 segundos e depois ver outro clarão e contar menos que 30 segundos, já é hora de se prevenir, procurando abrigo nas proximidades. Isso porque, normalmente, um raio pode “escapar” do centro de atividade da nuvem e atingir áreas a longas distâncias;</li> <li>• Você pode estimar a distância de incidência dos raios usando o método chamado “flash-to-bang” ou “relâmpago-trovão”. Contando os segundos entre o “clarão” do raio e o trovão que você ouve e multiplicando por 300 tem-se a distância em metros do local onde ocorreu a descarga. Assim, se você ver o clarão e contar até oito, por exemplo, significa que o raio “caiu” a 2.400 metros do local onde você se encontra. Para contar os segundos você pode usar a sequência... mil e um, mil e dois, mil e três etc...</li> <li>• A possibilidade de você ser atingido por um raio em um temporal inicia-se meia hora antes e continua até cerca de meia hora após sua atividade máxima. Mantenha-se protegido nesse tempo.</li> </ul>
D U R A N T E	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durante os temporais evite aglomeração de pessoas mantendo pelo menos uma distância de 5 metros uma da outra. Se você estiver em locais abertos como campo de futebol, piscina etc, aos primeiros sinais de um temporal abandone imediatamente o local, procurando abrigo em prédios;</li> <li>• Evite ficar em pé em áreas abertas como fazendas, praias, campos de futebol ou golfe, quadras de tênis e estacionamentos. Se estiver em um lugar descampado e não puder se abrigar dentro de um automóvel ou uma casa, o melhor é ficar agachado e com a cabeça entre os joelhos e esperar; não se deite;</li> <li>• Evite ficar descalço e procure manter os pés juntos de modo a impedir que o potencial elétrico no solo faça circular uma corrente através de suas pernas. Sapatos com sola de borracha podem ser muito importantes nessas horas;</li> <li>• Nunca seja o ponto mais alto da redondeza. O raio atinge sempre os pontos que se sobressaem da superfície como atrativo à descarga;</li> <li>• Livre-se de objetos metálicos pontiagudos, como varas de pesca, tacos de golfe, enxadas; afaste-se de objetos metálicos como tratores, torres, carros conversíveis, motos, cercas de arame, varais metálicos, trilhos, linhas aéreas de energia e outros;</li> <li>• Não empine pipas e aeromodelos com fio ou ande a cavalo;</li> <li>• Se você estiver no alto de um morro, desça para o ponto mais baixo do terreno. Um capão de árvores nas baixadas é uma boa proteção. Porém, nunca procure abrigo sob árvores isoladas (mesmo não estando em contato com a árvore, um relâmpago que caia sobre ela pode criar descargas laterais, devido à baixa condutividade da madeira, as quais poderão atingi-lo indiretamente) ou prédios rústicos como aqueles de proteção para animais, existentes em pastagens;</li> <li>• Se estiver dentro de rio, mar ou piscina, saia da água, porque, por ser boa condutora, ela faz com que a corrente do raio atinja distâncias maiores;</li> <li>• Se você estiver em uma estrada ou na rua, a melhor proteção existente é dentro do veículo com os vidros fechados. Não são os pneus que promovem a proteção, mas sim um fenômeno da física chamado Gaiola de Faraday. Os carros fechados podem ser considerados seguros, porém, procure não tocar em nenhuma parte metálica, nem no rádio, e mantenha as janelas fechadas;</li> <li>• Evite topos de prédios ou outros lugares altos. Dentro de casa ou de qualquer prédio, afaste-se das paredes, não saia à janela, evite banhos de chuveiro elétrico e não use o telefone, a não ser que seja sem fio, ou qualquer equipamento elétrico; retire os “plugs” dos aparelhos elétricos das tomadas. Fique longe de tomadas de força ou de superfícies metálicas. Evite tocar em torneiras; você pode ser atingido não somente pelo raio diretamente como também por “faíscas” refletidas por objetos da proximidade. Seguindo as recomendações anteriores, os prédios de concreto com fiação elétrica, canalizações de água ou de outro tipo constituem-se em excelente proteção contra as descargas;</li> <li>• Recomenda-se que as pessoas esperem até trinta minutos após ouvirem o último trovão para poderem sair com segurança e ir a lugares abertos; pesquisas têm mostrado que a maioria das mortes provocadas por raios tende a ocorrer no período final de existência das nuvens de tempestade, após o término da chuva, quando as pessoas acreditam que não irão ocorrer mais raios e deixam de se proteger;</li> </ul>
Fonte: adaptado de Pinto Jr. e Pinto (2008); Pinto (2000)	

## 8.5. Vendaval

**Vendaval** pode ser definido como um deslocamento intenso de ar na superfície terrestre devido, principalmente, às diferenças no gradiente de pressão atmosférica, aos movimentos descendentes e ascendentes do ar e a rugosidade do terreno.

Vianello e Alves (2002)

A caracterização do vento em qualquer ponto da atmosfera requer dois parâmetros, segundo Varejão-Silva (2006): a direção e a velocidade. Ambas são grandezas instantâneas e pontuais, pois o escoamento do ar depende das condições atmosféricas (que variam no espaço e com o tempo). Nas proximidades da interface superfície-atmosfera o vento é altamente influenciado pelas características geométricas e pelo estado de aquecimento da própria superfície. A direção do vento exprime a posição do horizonte aparente do observador a partir da qual o vento parece provir (ou seja, de onde ele sopra) e nunca para onde o vento estaria indo, por mais óbvio que isso possa parecer. A direção é expressa em termos do azimute, isto é, do ângulo que o vetor velocidade do vento forma com o norte geográfico local ( $0^\circ$ ), medido no mesmo sentido do movimento dos ponteiros do relógio analógico. Assim, o vento que vem de leste tem direção de  $90^\circ$ , aquele que procede do sul tem direção de  $180^\circ$  etc. Não havendo instrumento que permita estabelecer a direção do vento com precisão, costuma-se estimá-la e lançar mão da rosa-dos-ventos para exprimir a direção aproximada. A direção é relatada como aquela que mais se aproxima de um dos pontos cardeais - N, S, E, O - ou colaterais - NE, SE, SW e NW. A velocidade do vento é normalmente expressa em metros por segundo (m/s), em quilômetros por hora (km/h), ou em nós (kt - *knot*). Um nó corresponde a uma milha náutica (1852 m) por hora. A correspondência entre essas unidades é, portanto:

$$1 \text{ kt} = 0,514 \text{ m/s}$$

$$1 \text{ m/s} = 1,944 \text{ kt}$$

A velocidade do vento à superfície varia bastante com o tempo e se caracteriza por intensas oscilações cuja rapidez e amplitude estão relacionadas com o estado de agitação do ar, que constitui a turbulência. Essa agitação denuncia a passagem, pelo local de observação, de turbilhões (vórtices ou redemoinhos) de diferentes tamanhos. Chama-se rajada uma variação brusca na velocidade do vento. Em geral, a rajada é acompanhada por uma varia-

ção, igualmente brusca, na direção. O vento à superfície normalmente apresenta rajadas. Por isso, as observações do vento à superfície, destinadas a fins climatológicos ou sinóticos (previsão do tempo) devem referir-se aos valores médios correspondentes a um intervalo de dez minutos (Varejão-Silva, 2006). Segundo Kobiyama *et al* (2006), as rajadas também podem variar consideravelmente em virtude da rugosidade presente no terreno, seja ela natural (colinas, morros, vales, etc.) ou construída (casas, prédios, etc.). Conforme os au-



**Figura 8.16** - Queda de árvores devido a vendaval em Bebedouro, SP, 2007. Fonte: Acervo P.M. de Bebedouro

tores citados, os ventos causam danos diretos, se comparados a outros tipos de fenômenos, como por exemplo, as inundações. Os locais onde ocorrem chuvas fortes não necessariamente coincidem com as áreas em que ocorrem inundações. Enquanto que, as áreas que ocorrem ventos fortes, sempre estão associadas às áreas que apresentam os danos mais intensos.

Durante o período das navegações, foi desenvolvida uma escala associando os diferentes tipos de estágios do estado do mar e a intensidade dos ventos. O objetivo era minimizar os efeitos do vento sobre as velas dos navios, que frequentemente traziam prejuízos para as embarcações. Mas, somente em 1805, o contra-almirante britânico Francis Beaufort desenvolveu um sistema enumerando as diversas intensidades. Em 1903, após invenção do anemômetro, esta escala foi adaptada utilizando a velocidade do vento, através da fórmula:

$$V = 1.87B^{3/2}$$

em que  $V$  é a velocidade do vento em milhas por hora a 10 m acima do nível do mar e  $B$  é o número Beaufort. Assim, a partir de 1939, esta escala passou a ser adotada em todo o mundo, sendo oficializada pela Organização Meteorológica Internacional. Outras adaptações foram realizadas, como a adoção de simbologia e a descrição dos efeitos em terra. Com base nestas informações foi construída a escala Beaufort (Figura 8.17), que registra ventos de até 117 km/h. Após esta velocidade, os ventos são considerados com intensidade de furacão, e passa a se enquadrar em outra escala, chamada de escala Saffir-Simpson, que utiliza os mesmos princípios da Beaufort (Kobiyama *et al*, 2006).

Escala Anemométrica Internacional de Beaufort					
Força	Designação	Símbolo	Velocidade		Indicações visuais na superfície terrestre
			nós	km/h	
0	Calmaria		<1	<1	A fumaça das chaminés sobe verticalmente. A superfície do mar fica como um espelho. As folhas das árvores não se movimentam.
1	Aragem		1-3	1-5	A direção dos ventos é definida pela fumaça, que se desvia suavemente. Aparece no mar uma leve rugosidade. Cataventos não são deslocados
2	Brisa leve		4-6	6-11	As folhas das árvores se movimentam. O vento é sentido no rosto. Os cataventos movem-se lentamente. No mar, nota-se pequenas cristas de aparência vítrea, sem romper-se.
3	Brisa suave		7-10	12-19	As folhas e os ramos finos das árvores se agitam constantemente. Os ventos movimentam as bandeiras leves. As ondas se acentuam, com rompimento de pequenas cristas (carneirinhos).
4	Brisa moderada		11-16	20-28	Papel solto e poeira são levantados do chão. Os pequenos ramos são movimentados. As ondas ficam maiores, com espumas frequentes.
5	Vento fresco		17-21	29-38	Pequenos arbustos e arvoretas se movem. Nos tanques se formam pequenas ondas. No mar, as ondas aumentam de tamanho, com abundância de borrifos.

Escala Anemométrica Internacional de Beaufort					
Força	Designação	Símbolo	Velocidade		Indicações visuais na superfície terrestre
			nós	km/h	
6	Vento		22-27	39-49	Movem-se os ramos grossos. Torna-se difícil andar de guarda-chuva e os fios de eletricidade silvam (assoviam). Começa a formação de ondas grandes, aumentam as espumas e borrifos, tornando-se perigoso para pequenas embarcações.
7	Vento forte		28-33	50-61	Movem-se as árvores grandes, é difícil andar contra o vento. A espuma se desloca na direção dos ventos e o mar engrossa.
8	Ventania		34-40	62-74	O vento quebra os galhos das árvores. Torna-se muito difícil caminhar contra o vento. Ondas médias se formam. As espumas são arrastadas em nuvens brancas (borrifos).
9	Ventania forte		41-47	75-88	Ocorrem destelhamentos, quedas estruturas frágeis (chaminés, placas, etc). Camadas grossas de espumas são arrastadas sobre o mar. As cristas das ondas começam a se romper, dificultando a visibilidade.
10	Tempestade		48-55	89-102	As árvores são tombadas pela raiz, e as casas mais frágeis sofrem danos consideráveis. Ondas altas, com cristas em pé. A superfície do mar parece branca devido a grande quantidade de espumas. Visibilidade reduzida.
11	Tempestade violenta		56-63	103-117	Ocorre com pouca frequência, começam a ocorrer danos estruturais, derrubada de edificações e placas de sinalização, grandes devastações etc. Ondas excepcionalmente grandes. Mar completamente branco e visibilidade extremamente reduzida.
12	Furacão		>64	>117	Extremamente violento. Danos generalizados nas edificações. O mar está completamente branco devido à espuma das ondas.

Figura 8.17 - Escala anemométrica internacional de Beaufort. Fonte: Kobiyama *et al* (2006) e CEPAGRI (2009).

Ventos fortes normalmente são formados durante a entrada de sistemas frontais, quando ocorre o choque de temperaturas (Pinto, 2000). Segundo o autor, os ventos podem ser do tipo horizontal, laminar, com características similares às do tufão ou furacão ou ainda as chamadas tempestades extratropicais. Nesse caso as regiões atingidas podem ser acima dos 400 km de largura por vários km de extensão, com pontos de incidência maior de ventos fortes. Árvores são derrubadas e edificações sofrem danos sérios como queda de chaminés e de paredes, destelhamentos etc. Ventos acima dos 75 km/hora já são considerados danosos e perigosos à vida humana. Medir velocidades fortes do vento corretamente é praticamente impossível já que, a não ser nos casos de furacões, a extensão do fenômeno é muito pequena e o equipamento adequado (anemômetro) teria que estar localizado exatamente no local de passagem do fenômeno. Assim, as velocidades são normalmente estimadas através dos danos causados na superfície. A tabela anemométrica internacional de Beaufort mostra esses efeitos.

Vendaval: como prevenir	
A N T E S	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se possível, corte as grandes árvores que estejam próximas da sua residência após autorização dos órgãos competentes. Lembre-se que os principais danos e mortes causados pelos vendavais estão associados à queda de árvores ou de galhos sobre as edificações e automóveis. Aconselha-se o plantio de árvores frutíferas nas imediações das residências;</li> <li>• As telhas de cerâmica são bem mais resistentes aos ventos do que as telhas de cimento e amianto;</li> <li>• Residências sem veneziana são mais vulneráveis a força dos ventos (projéteis);</li> <li>• Verifique se existem materiais que podem se transformar em projéteis durante os vendavais, como materiais metálicos (recipientes, telhas, etc.), madeiras (ripas, tabuas de forro, etc.);</li> <li>• Feche as portas e janelas, evitando assim a entrada de fortes correntes de ar no interior das edificações. Estas correntes de ar, dependendo da pressão exercida, poderão derrubar as paredes da casa ou lançar todo o telhado (efeito explosão);</li> <li>• Esteja atento aos boletins meteorológicos e as notícias locais transmitidas nas emissoras de rádio e televisão;</li> <li>• Verifique a existência de densas e escuras nuvens no horizonte e/ou esteja atento a raios e trovões;</li> <li>• Tenha um kit em casa com lanterna, pilhas, roupas, medicamentos, comidas não perecíveis e água potável;</li> <li>• Coloque objetos de valor em um lugar seguro;</li> <li>• Desligue o gás, água e a eletricidade.</li> </ul>
D U R A N T E	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se estiver no meio de uma floresta, o perigo é muito grande devido à possibilidade de queda de árvores ou de galhos.</li> <li>• Proteja-se em cômodos com pouca ou nenhuma janela e que possuam cobertura de laje de concreto, preferencialmente nos banheiros e corredores;</li> <li>• Só saia quando o vento acalmar ou receber o comunicado dos órgãos de defesa (via rádio ou pessoalmente) que o perigo já passou;</li> <li>• Em lugares abertos mantenha-se junto ao solo, de preferência deitado (caso não estejam ocorrendo descargas elétricas) em alguma depressão do terreno para não ser lançado pela força dos ventos ou atingido por projéteis;</li> <li>• Não dirija, pois você pode ser atingido por árvores, placas, projéteis e postes;</li> <li>• Caso você esteja dentro de um carro, pare o mesmo em local aberto, longe de rios, pois os vendavais costumam ocorrer associados a fortes chuvas.</li> </ul>
D E P O I S	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verifique se existem vítimas. Se sim, chame o Corpo de Bombeiros;</li> <li>• Evite deslocar-se em virtude dos postes e linhas elétricas caídas. Além disso, muito cuidado ao caminhar, pois pode se ferir seriamente em função da grande quantidade de entulhos e objetos pontiagudos no chão;</li> <li>• Tome muito cuidado durante o processo de reconstrução, principalmente quando for arrumar o telhado. É neste momento que ocorre a maior quantidade de acidentes associados aos vendavais.</li> </ul>
Fonte: Kobiyama <i>et al</i> (2006); Pinto (2000)	

## 8.6. Tornado

**Tornado** é um fenômeno que se origina na base de nuvens do tipo cúmulo-nimbo, estendendo-se até o solo como uma intensa coluna de ar giratória e normalmente visível como uma nuvem funil. Para ser caracterizado como tornado, os ventos que formam o fenômeno devem causar danos na superfície terrestre.

Kobiyama *et al* (2006)



Figura 8.18 - Tornado em Indaiatuba, SP, 2005 (Foto: M. Hollingshead)

Os tornados são visíveis por causa da poeira e sujeira levantadas do solo e pelo vapor d'água condensado. A pressão baixa dentro de um funil causa a expansão e resfriamento do ar, resultando na condensação do vapor d'água. A maioria dos tornados tem o diâmetro de 100 a 600 metros. Alguns são de poucos metros de largura e outros excedem 1600 m. Normalmente, os tornados que são formados adiante de uma frente fria, se movem em velocidades de 20 a 40 nós. Tornados tendem a formar-se com trovoadas severas que giram e requerem uma atmosfera instável. Uma região de forte cisalhamento de vento (velocidades de ventos mais rápidos e mudanças de direção de ventos com altitude) faz a corrente de ar ascendente dentro de uma trovoadá girar em sentido ciclônico. Este mesociclone pode ser de 5-10 km de largura, estendendo-se verticalmente e encolhendo-se horizontalmente, causando a ascensão rápida dos ventos que giram. Dentro de um mesociclone, um vórtice giratório pode aparecer no nível médio da nuvem e se estender para a base da nuvem. O primeiro sinal do nascimento de um tornado numa trovoadá é a observação de nuvens giratórias na base da tempestade. Uma nuvem em forma de parede forma-se quando as nuvens giratórias descem (Bindi, 2003 *apud* Kobiyama *et al*, 2006).

O ar move-se rapidamente de todas as direções para dentro de um vórtice de pressão baixa. Este ar se expande, resfria-se e suficientemente molhado ele condensa-se em uma visível nuvem em forma de funil. O ar debaixo do funil é tragado pelo vórtice e a nuvem em forma de funil descende para a superfície. Sujеiras carregadas pelo tornado dão uma aparência escura. Às vezes, o ar é tão seco que os ventos giratórios permanecem invisíveis até atingir o solo e começarem a carregar sujeiras. Ocasionalmente, o funil não pode ser visto por causa da chuva, nuvens de poeira, ou escuridão. Muitos tornados

possuem um barulho distinto que pode ser ouvido por muitas milhas até quando eles não são bem visíveis. Este som parece ser mais alto quando o tornado toca o solo, contudo, nem todos os tornados produzem este barulho, podendo representar um perigo silencioso. O rastro de destruição de um tornado pode variar de dezenas de metros a quilômetros de extensão. A intensidade dos ventos pode chegar até 500 km/h. Devido a grande dificuldade de inserir equipamentos de medição no interior dos tornados, há uma ampla utilização de estimativa da intensidade do fenômeno, por meio de medições de radares doppler e de avaliação dos danos em campo. Existem diversas escalas para a classificação de tornados conforme os danos ocasionados, entretanto a mais utilizada é a escala Fujita - Pearson (Kobiyama *et al*, 2006).

O limite inferior de velocidade dos ventos (117 km/h) na escala de tornados (Figura 8.20.) corresponde ao início da velocidade dos ventos nos furacões, abordados na sequência (Figura 8.23). A escala F1 de tornados, com velocidade acima de 117 km/h, corresponde à categoria máxima da Escala Anemométrica Internacional de Beaufort, apresentada anteriormente (Figura 8.17).

Velocidade acima de 511 km/h em tornados era considerada apenas em simulações (chamado de tornado inconcebível). Foi possivelmente registrado em 1999, no chamado Tornado de Oklahoma, quando a velocidade do vento chegou bem perto dos 533 km/h. Conforme Pinto (2000), tornados são mais raros de ocorrerem no Estado de São Paulo, mas são observados um a dois por ano em uma faixa que vai desde as regiões de Campinas-Jundiaí até a divisa com o MS, entre Pereira Barreto e P. Prudente. São de características diferentes das do furacão, pois atingem normalmente áreas de apenas 100 a 800 metros de largura e se deslocam até 20/30 km de extensão, causando danos muito sérios cada vez que “toca” a superfície. Os ventos horizontais da periferia são helicoidais (redemoinhos) e atingem de 200 a 400 km/h. Os ventos verticais, que causam sucção na superfície, podem atingir até 500 km/h. O pior tornado da região foi observado entre Itu e Jundiaí, em 30 de Setembro de 1991, com danos graves em uma faixa de 100 a 200 metros de largura por 20 km de extensão, indo desde a Rodovia do Açúcar até a serra do Japi.

Além de 15 mortes estimadas, foram destruídas casas, áreas florestadas/agrícolas e torres de transmissão de energia. O segundo maior em intensidade provavelmente foi o observado na região de Campinas, em 28 de Novembro de 1995, entre Paulínia e Jaguariúna, quando foram destruídos vários prédios da região, inclusive o centro de convenções da Unicamp.

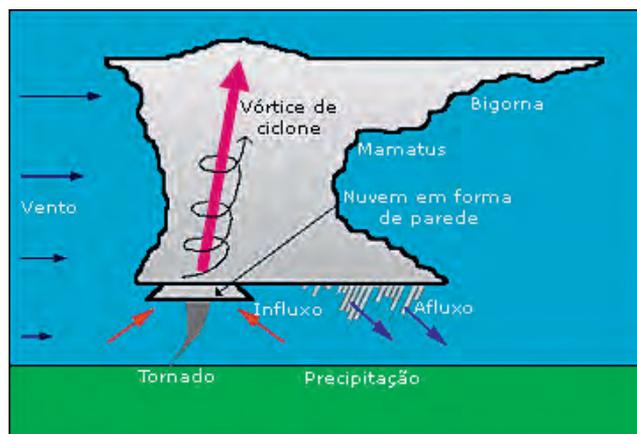


Figura 8.19 - Diagrama de um tornado. (Fonte: A. Markham).

Escala de Intensidade de Tornados Fujita-Pearson						
Escala	Categoria	Intensidade (km/h)	Comprimento (km)	Largura (m)	Danos esperados	Tipo de dano
F0	Fraco	65-116	0-1,6	0-16	Leves	Ramos de árvores quebrados, árvores com raízes rasas tombadas, outdoors e painéis danificados; danos em chaminés, destelhamentos; deixam sinais de danos pela trajetória
F1	Fraco	117-180	1,6-5	17-50	Moderados	Árvores e janelas quebradas, cobertura de telhados arrancados, carros movimentados para fora das estradas, trailers e casas frágeis (madeira) arrancadas da fundação ou tombadas
F2	Forte	181-253	5,1-15,9	51-160	Consideráveis	Grandes árvores arrancadas pela raiz, estruturas menores destruídas, podem arrancar todo o telhado, trailers e casas frágeis destruídas, carros levantados do chão; objetos tornam-se projéteis
F3	Forte	254-332	16-50	161-508	Severos	Telhados, paredes e casas grandes bem construídas (alvenaria) destruídos; trens descarrilados, a maioria das árvores nas florestas arrancada, carros pesados levantados do chão e arremessados
F4	Violento	333-419	51-159	540-1400	Devastadores	Casas bem construídas niveladas ao plano (totalmente destruídas), estruturas com fundações fracas transportadas por algumas distâncias, carros arremessados e grandes projéteis generalizados
F5	Violento	420-510	161-507	1600-5000	Incríveis	Automóveis grandes arremessados à distância, casas com forte amarração desintegradas, pessoas e animais arremessados a muitos metros de distância, árvores arrancadas e lançadas a centenas de metros; chega a arrancar asfalto e grama por onde passa

Figura 8.20 - Escala de intensidade de Tornados Fujita-Pearson (adaptado de Kobiyama *et al*, 2006)

Tornado: como prevenir	
A N T E S	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Esteja atento aos boletins meteorológicos e às notícias locais transmitidas nas emissoras de rádio e televisão;</li> <li>• Verifique a existência de densas e escuras nuvens no horizonte e/ou esteja atento a raios e trovões;</li> <li>• Tenha um kit em casa com lanterna, pilhas, roupas, medicamentos, comidas não perecíveis e água potável;</li> <li>• Caso não tenha um abrigo apropriado para tornados, selecione um cômodo da sua casa que seja mais seguro (exemplo, o banheiro) para esconderem-se na ocorrência desse fenômeno;</li> <li>• Informe a todos os membros de sua família para que cômodo correr e como proceder na ocorrência de tornado;</li> <li>• Coloque objetos de valor em um lugar seguro;</li> <li>• Desligue o gás, água e a eletricidade.</li> </ul>
D U R A N T E	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O abrigo subterrâneo (porão) é a melhor proteção individual; na ausência de um porão, procure ficar longe das janelas e portas, de preferência no corredor, banheiro ou armário, sempre no piso mais baixo da casa;</li> <li>• Se estiver em um edifício, desça para o andar mais baixo ou escolha um local no centro de um corredor; nunca use prédios de construção leve como proteção;</li> <li>• Caso esteja fora de casa, deite-se em uma vala ou depressão no solo;</li> <li>• Se estiver no carro ou caminhão, saia do automóvel e procure um local coberto adequado para ficar; se estiver dirigindo por uma estrada em local descampado e for surpreendido por um tornado, altere sua direção de forma a desviar no sentido oposto do local onde se observa o redemoinho.</li> </ul>
D E P O I S	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verifique se existem vítimas e chame o Corpo de Bombeiros; ajude pessoas feridas dando-lhe os primeiros socorros, mas não tente mover pessoas gravemente feridas ao menos que elas estejam em perigo iminente;</li> <li>• Evite deslocar-se em virtude dos postes e linhas elétricas caídas. Além disso, muito cuidado ao caminhar, pois pode se ferir seriamente em função da grande quantidade de entulhos e objetos pontiagudos no chão;</li> <li>• Tire fotos dos danos para auxiliar na análise do fenômeno;</li> <li>• Ligue a televisão ou rádio para pegar as últimas informações de emergência;</li> <li>• Use o telefone somente para casos de emergência;</li> <li>• Saia da construção se você sentir cheiro de gás ou fumaça química.</li> <li>• Tome muito cuidado durante o processo de reconstrução. É neste momento que ocorrem a maior quantidade de acidentes;</li> </ul>
Fonte: Kobiyama <i>et al</i> (2006); Pinto (2000)	

É comum haver o emprego incorreto do termo tromba d'água para os aguaceiros.

Tromba d'água é um tipo de tornado que ocorre em amplas superfícies aquáticas, seja no mar ou em grandes extensões de água em áreas continentais. A velocidade dos ventos pode chegar a 100 km por hora, 'sugando' a água e provocando a imagem de um cone em movimento (Figura 8.21). Ocorre com mais frequência nas regiões tropicais, mas pode, também, ser encontrado nas regiões de latitude média. O fenômeno já foi observado em Ubatuba e Santos, gerando ressaca, abordada adiante. Há registros de vítimas fatais de pescadores e pessoas ocupando pequenas embarcações ou próximas à orla durante trombas d'água.

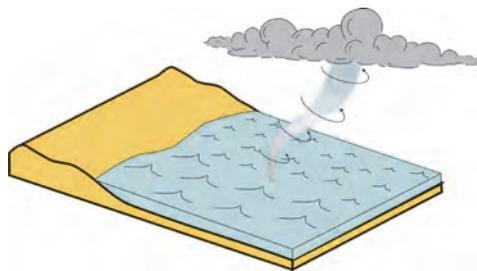


Figura 8.21 - Esquema ilustrativo de tromba d'água

**Tromba d'água** (water spout) é uma coluna nebulosa em forma de funil que emerge da base de uma nuvem cumulonimbo, terminando por um tufo de gotículas retiradas da superfície da água, ou de poeira e detritos aspirados do solo. A coluna consiste em um turbilhão de ar muitas vezes violento que geralmente constitui um tornado, porém, sobre o mar ou sobre massas de águas interiores de grande extensão.

Varejão-Silva (2006)

## 8.7. Furacão

O **furacão** é um sistema de baixa-pressão (ciclone) intenso que geralmente forma-se sobre os oceanos nas regiões tropicais. Os ventos de um furacão giram violentamente ao redor de um centro relativamente calmo, conhecido como o “olho” da tempestade. Quanto mais próximo do “olho”, mais intensos ficam os ventos (parede do “olho”), que podem atingir velocidades superiores a 250 km/h (vento sustentado - obtido através da velocidade média dos ventos em um período de um minuto, medido a 10m acima do solo.). Devido à força de Coriolis, no Hemisfério Sul os ventos de um furacão giram no sentido horário, ao contrário do Hemisfério Norte, onde os ventos giram no sentido anti-horário.

Kobiyama *et al* (2006)

Para que um furacão desenvolva-se é necessário que exista inicialmente a formação de uma tempestade tropical no oceano, sobre águas relativamente quentes, isto é, com temperatura da superfície do mar (TSM) superior a 26,5°C. No entanto, Walton (1976) *apud* Kobiyama *et al* (2006) comenta que também podem formar-se furacões com temperaturas de até 23°C, mesmo que esporadicamente. Além destes ingredientes, acrescenta-se umidade, provinda da evaporação do oceano, temperatura elevada (regiões tropicais) e um período de tempo suficiente para o desenvolvimento da tempestade. Como resultado, tem-se condições propícias para a formação de violentos furacões. Caso atinja a costa, com certeza provocarão danos e prejuízos severos às comunidades impactadas. Mas, ao mover-se sobre a terra, a rugosidade do terreno e a diminuição da umidade, fazem com que um furacão perca sua intensidade rapidamente. Assim, os danos associados aos furacões geralmente restringem-se a linha de costa. A diferença entre um furacão e um tufão é apenas o local onde ele se forma. O tufão se forma no Oceano Pacífico e o furacão no Atlântico Norte. São apenas denominações diferentes para caracterizar o mesmo sistema, ou seja, um ciclone tropical. No Brasil, em virtude da ocorrência do Furacão Catarina, houve grande confusão entre classificá-lo como um ciclone extratropical ou um furacão. A polêmica foi gerada tanto pelo fato de ser o primeiro registro desse tipo de ocorrência no Brasil, como pela diferença de interpretação de conceitos entre as instituições ligadas a pesquisa meteorológica e os poucos dados registrados em superfície. Além das diferenças no processo de formação e estrutura, estes fenômenos podem ser facilmente diferenciados em virtude da sua forma, tamanho e danos. Em termos de tamanho, o Catarina (Figura 8.22) é bem menor que o ciclone extratropical, e apesar do ciclone apresentar

uma forma espiralada intensa, que não é frequente para este tipo de fenômeno, não tem um formato circular bem definido como o de um furacão e a formação do “olho”. Com relação aos danos, os ciclones extratropicais causam geralmente ressacas nas praias, destelhamentos, queda de árvores e nos casos mais graves podem até destruir as edificações mais frágeis; enquanto que os furacões causam destruição generalizada, deixando as áreas impactadas completamente varridas pela força dos ventos, como ocorrido com a região sul catarinense após a passagem do Catarina (Kobiyama *et al*, 2006).



**Figura 8.22** - Imagem do Furacão Catarina (27/03/2004, sensor MODIS do satélite TERRA, NASA)

Segundo Ferreira (2006), duas pessoas morreram em terra, uma dezena de outras pessoas desapareceu no mar, além do Catarina provocar dezenas de feridos e danos materiais consideráveis.

No total foram destruídas 2.194 edificações e outras 53.274 foram danificadas, o que representou 36,4% do total de edificações da região. Apesar dos elevados danos, o Catarina foi classificado somente como categoria 2 na escala de furacões Saffir-Simpson (Figura 8.23), que corresponde a ventos de 154 a 177 km/h. Esta escala baseia-se no princípio da escala Beaufort e leva em consideração a velocidade dos ventos sustentados (obtida através da velocidade média dos ventos em um período de um minuto, medido a 10 m acima do solo), a pressão atmosférica no interior do “olho” e os danos causados pelos furacões (Kobiyama *et al*, 2006).

Escala de Intensidade de Furacão Saffir-Simpson				
Escala	Vento (km/h)	Pressão (mbar)	Onda (m)	Descrição
1	119-153	>980	1,2-1,5	Não são verificados danos estruturais nas edificações mais resistentes. Os danos iniciais são verificados principalmente em árvores e arbustos, trailers e placas, e destelhamento generalizado.
2	154-177	965-979	1,8-2,4	Destruição parcial de telhados, portas e janelas. Os danos mais severos ocorrem nas casas de madeira. Muitas árvores são derrubadas.
3	178-209	945-964	2,7-3,6	Árvores grandes derrubadas, e muitas perdem todas as folhas (efeito paliteiro). Destruição dos telhados, portas e janelas de casas e danos na estrutura de edifícios pequenos. Nos EUA é exigida a retirada dos moradores das áreas costeiras.
4	210-249	920-944	3,9-5,5	Destruição completa de casas de madeira. Danos estruturais em residência de alvenaria. Árvores, arbustos e todas as placas e sinais são derribadas. Muitas árvores são arrastadas pelos ventos. Nota-se que nos EUA é obrigatória a retirada total das pessoas que moram próximo à costa e que vivam em terrenos baixos, a uma distância de 10 km do mar.
5	>249	<920	>5,5	Árvores grandes são arrancadas pela raiz. Casas de alvenaria são destruídas. Telhados e paredes de casas e edifícios resistentes são severamente danificados. Todas as placas e sinais de trânsito são arrancados ou destruídos, transformando-se em projéteis. É obrigatória a evacuação em massa a uma distância de 16 km do mar.

**Figura 8.23** - Escala de Intensidade de Furacões Saffir-Simpson.  
Fonte: Simpson (1974) e Coch (1994) *apud* Kobiyama *et al* (2006)

Entretanto, em alguns casos, as tempestades de escala menor podem ocasionar maiores danos que as de categorias mais altas, em virtude da vulnerabilidade e do nível de exposição das áreas afetadas. Além dos danos diretos devido à força do vento (destruição de edificações, queda de postes e torres de alta tensão, árvores arrancadas, etc.), o furacão também intensifica o processo de salinização nas áreas litorâneas. As partículas de sais marinhos (NaCl) grudam nas linhas elétricas e causam a queda de eletricidade em áreas extensas, oxidam vários metais e também matam a vegetação a médio prazo (Kobiyama *et al*, 2006).

#### Furacão: como prevenir

Em terra, os efeitos causados pelos furacões são os mesmos causados pelos vendavais, isto é, os ventos comportam-se similarmente, variando somente em intensidade. Assim, as mesmas medidas preventivas utilizadas para vendavais também são adotadas para furacões. Ressalta-se que é fundamental proteger as janelas e portas com lâminas de madeira (madeirite); não sair de casa por causa dos projéteis e ter um kit emergência em casa (radio, lanterna, pilhas, roupas, medicamentos, comidas não perecíveis e água potável) que possa durar alguns dias.

Fonte: FEMA (2004) *apud* Kobiyama *et al* (2006)

### 8.8 Ressaca

**Ressaca** ou maré de tempestade (storm surge), é o termo utilizado para caracterizar a sobre-elevação do nível do mar durante eventos de tempestade. Ela resulta do empilhamento da água oceânica induzido pelo cisalhamento do vento e pela presença de gradientes de pressão atmosférica. A maré de tormenta é a combinação da maré astronômica e da maré de tempestade.

Kobiyama *et al*, (2006)

Segundo Kobiyama *et al* (2006), a direção do vento também é importante para ocorrência de ressacas. Durante furacões o empilhamento ocorre a partir de ventos vindos do mar. Já durante ciclones extratropicais o empilhamento se dá à esquerda do sentido do vento (hemisfério sul), devido ao transporte de Eckman. No S e SE do Brasil, o vento que provoca empilhamento na costa é o vento sul. Já na costa do nordeste são os ventos dos quadrantes norte, leste e ocasionalmente do quadrante S que provocam as maiores ressacas. As ressacas mais destrutivas ocorrem durante furacões, sendo elas o componente que mais causa mortes ao atingirem a costa. Na costa Atlântica dos



**Figura 8.24** - Ressaca em Santos/SP  
(Foto: M. de Souza)

EUA, apesar dos furacões causarem periodicamente danos severos, as tempestades extratropicais provocam maiores danos acumulativos. Isto porque tempestades extratropicais na costa leste americana são frequentes, duram muitos dias e abrangem extensas áreas, enquanto que os furacões são menos frequentes, duram apenas algumas horas ao atravessar o continente e seus danos são mais localizados. A sobre-elevação do nível do mar intensifica o poder erosivo das ondas de tempestade, causando danos severos especialmente quando coincidem com as marés de sizígia. Durante tais eventos a sobre-elevação, além de poder provocar inundações, aumenta o nível base de ataque das ondas, danificando e muitas vezes destruindo propriedades e infra-estrutura urbana (Figura 8.24). Uma das ressacas mais destrutivas que afetaram o S e SE do Brasil ocorreu em maio de 2001, provocando danos severos em diversos municípios do litoral do RS ao RJ. Nessas regiões as ressacas estão associadas às passagens frontais e ciclones extratropicais. Nesses eventos, ventos fortes e persistentes do quadrante sul empilham a água do mar sobre a costa, muitas vezes avançando sobre dunas e edificações.

Ressaca: como prevenir	
A N T E S	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verifique com a prefeitura, defesa civil e/ou com moradores antigos se você mora em uma área de risco à inundação por ressacas;</li> <li>• Construa infra-estruturas urbanas e edificações respeitando a faixa de terreno de marinha;</li> <li>• Conserve a duna frontal. Esta, além de ser uma barreira contra o avanço do mar, é um importante estoque de areia que naturalmente é erodido durante eventos de tempestade e recuperado nos períodos entre as tempestades;</li> <li>• Evite construções próximas aos córregos, pois esses têm alto poder erosivo durante eventos de temporais com precipitação intensa;</li> <li>• Em praias com alto grau de suscetibilidade, aconselha-se estabelecer faixas de recuo que impedem a construção de edificações e infra-estrutura na faixa litorânea com larguras maiores que os 33 metros do terreno de marinha;</li> <li>• É importante que os centros de meteorologia e defesa civil estabeleçam sistemas de alertas que utilizem modelos de previsão de marés de tempestade e de ondas e que orientem as comunidades que podem ser mais afetadas pelo evento;</li> <li>• Em caso de ameaça de ciclones, fique atento para os alertas oficiais, emitidos pelos centros de previsão meteorológica e defesa civil. Estes deverão aconselhar se marés altas e inundações costeiras são esperadas.</li> </ul>
D U R A N T E	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tenha um plano de fuga. Leve sempre medicamentos essenciais, documentos vitais e fale com a defesa civil municipal o que pretende fazer; esteja preparado para evacuar assim que for orientado para tal. Isto facilita gerenciar a difícil tarefa de movimentar muitas pessoas, especialmente quando as condições do tempo estão piorando. Caso decida ir embora por conta própria, avise seus vizinhos;</li> <li>• Em caso de emergência, acione a Defesa Civil ou o Corpo de Bombeiros. Fique longe de postes e linhas de transmissão caídas. Choque elétrico é o segundo maior causador de mortes durante as inundações. A eletricidade é transmitida facilmente pelas áreas inundadas. Caminhe na calçada junto aos muros;</li> <li>• Em caso de inundação, procure lugares mais altos da casa se não for possível deixar o local. Se for abandonar, procure um lugar seguro para se abrigar.</li> </ul>
Fonte: Kobiyama <i>et al</i> (2006)	

## 8.9 Geadas

Geadas são o processo através do qual cristais de gelo são depositados sobre uma superfície exposta. Isso resulta do fato de a temperatura da superfície exposta ter caído até a temperatura do ponto de orvalho do ar, ou seja, a temperatura na qual ocorre a condensação na referida massa de ar ou a temperatura que deveria ser atingida por uma superfície exposta para que haja formação de orvalho.

Mota (1983)

Quase sempre a formação de orvalho se dá devido ao arrefecimento do solo por radiação, na ausência de vento. A camada de inversão torna-se, assim, muito delgada e a condensação do vapor d'água ocorre diretamente sobre a superfície das folhas e dos objetos expostos ao ar livre. Se o arrefecimento noturno for bastante acentuado para que sejam atingidas temperaturas inferiores a 0°C, haverá sublimação do vapor e, conseqüentemente, surgirá a geada: depósitos de cristais de gelo em forma de agulhas ou prismas, ramificados ou não, de escamas, ou de leque (Varejão-Silva, 2006).

Mota (1983) explica que na realidade a geada é simplesmente o orvalho congelado. Em vez de a umidade (vapor d'água) existente no ar se condensar sob a forma líquida, ela passa diretamente do estado de vapor ao de cristais de gelo. As causas do orvalho dependem de fatores que favorecem ou dificultam o esfriamento dos corpos por efeito da irradiação noturna para o céu. As perdas de calor por este processo físico estão ligadas por seis causas:

- Grau de nebulosidade – observações indicam que o orvalho não se produz ou é escasso quando as noites se mantêm nubladas, pois nuvens baixas impedem ou dificultam que os corpos, plantas, etc., irradie seu calor para o espaço e, portanto, se esfriem;
- Velocidade do vento – o orvalho praticamente não se produz durante as horas da noite quando sopra vento com velocidade apreciável;
- Grau de exposição a céu descoberto – a superfície de um corpo qualquer se esfriará tanto mais intensamente e, em conseqüência, se recobrirá de uma maior quantidade de orvalho, quanto mais exposta a céu aberto se acha;
- A maior densidade do ar frio – enquanto o manto herbáceo dos espaços livres se encontra recoberto por abundante orvalho, as copas das árvores se acham completamente secas, devido às folhas dessas copas, por irradiação, se esfriarem mais rapidamente que as plantas e por contato tendem a esfriar a camada fina de ar que as rodeia. Porém, como o ar frio adquire maior densidade, desce até o solo;



**Figura 8.25** - Geada em Campos do Jordão, SP. (Foto: R. Gonçalves)

- O poder emissivo dos diversos corpos – a quantidade de orvalho depositada é tanto maior quanto maior for o poder emissível dos corpos expostos à irradiação noturna;
- A condutividade calorífica – um corpo com elevado poder emissivo apenas se recobre com uma pequena camada de orvalho quando repousa sobre um objeto bom condutor de calor em contato com o solo, entretanto, apresenta abundância de orvalho quando repousa sobre um objeto mal condutor de calor, também em contato com o solo.

#### Condições para ocorrência de geadas de radiação

- Céu claro
- Ausência de vento
- Umidade do ar baixa
- Temperaturas baixas

Existem diferentes designações para qualificar o fenômeno da geada, que correspondem a seus diferentes tipos e que se referem à gênese do fenômeno ou em outros casos, aos efeitos visuais que produzem. São elas (Mota, 1983):

- **Geadas de advecção** – são as provocadas por uma invasão de ar com temperaturas muito frias, o que é frequente em regiões continentais ou em algumas marítimas do hemisfério norte;
- **Geadas de radiação** – neste tipo de geada a isoterma  $0^{\circ}\text{C}$  se encontra geralmente acima de 1500m de altura e afeta exclusivamente o microclima, já que fica limitada em sua expressão, a camada de ar adjacente ao solo;
- **Geadas mistas** – quando o fenômeno de geada de advecção e de radiação ocorre em forma simultânea; estes fenômenos contribuem para expressar uma temperatura daninha para vegetação;
- **Geadas brancas e negras** – suas designações não obedecem às suas gêneses, e sim à observação dos efeitos visuais produzidos na ocorrência do fenômeno. A **geada branca** ocorre quando a temperatura mínima dos objetos expostos à radiação noturna, no caso as plantas, é menor que a do ponto de orvalho, ou de saturação com respeito ao gelo, da massa de ar que o circunda durante a noite de geada. O esfriamento noturno produz uma condensação de vapor d'água em forma de orvalho, e logo seu congelamento sobre as plantas, quando o ponto de orvalho está acima de  $0^{\circ}\text{C}$ . O ar calmo e o céu descoberto são, de certo modo, favoráveis à sua formação. A **geada negra** aparece quando o ponto de saturação com respeito ao gelo, da massa de ar, fica abaixo da temperatura mínima dos mesmos. O vapor d'água é tão escasso que, apesar do esfriamento noturno, não chega ao ponto de saturação com respeito ao gelo. O céu coberto, semicoberto ou turbulência na camada baixa da atmosfera favorecem sua formação. O céu coberto diminui a intensidade do esfriamento noturno, e a turbulência tende a diminuir a concentração de vapor d'água na proximidade do solo. A observação da geada negra, essencialmente agrícola, significa invariavelmente danos à vegetação, enquanto que quando ocorrem as geadas brancas, nem sempre se produzem danos (Mota, *op.cit.*).

O Estado de São Paulo tem na agricultura uma importante fonte de divisas, estando a maior parte dos cultivos localizados em região tropical, com altitudes entre 500 e 1.200 m. Essa condição favorece a ocorrência de geadas severas eventuais, constituindo assim atividade de risco, com significativo prejuízo à economia do Estado. A suscetibilidade das culturas agrícolas às geadas varia muito segundo a espécie. Culturas como café e cana-de-açúcar possuem o limite de temperatura da folha de  $-2^{\circ}\text{C}$ , abaixo do qual se iniciam os danos. Essa temperatura de folha de  $-2^{\circ}\text{C}$  corresponde à temperatura aproximada de  $2^{\circ}\text{C}$  obtida em abrigo meteorológico (Pinto *et al.*, 1978 *apud* Astolpho *et al.*, 2004). Neste sentido, Astolpho *et al.* (2004) realizaram o mapeamento da distribuição espacial de ocorrência de geadas no Estado de São Paulo,

baseados em modelos desenvolvidos para estimativa da probabilidade de ocorrência de temperaturas mínimas absolutas pontuais e os modelos digitais de elevação obtidos por sensoriamento remoto orbital, da plataforma RADARSAT-1 (Figura 8.26). O estudo conclui que as principais regiões cafeeiras do Estado de São Paulo (nordeste e centro-sul) estão situadas em área com probabilidade de ocorrência de geada entre 20 e 40%; e que a metodologia utilizada demonstrou boa capacidade para o mapeamento da distribuição espacial de ocorrência de geadas, a partir do mapeamento de probabilidades (%) de ocorrência de temperaturas mínimas absolutas anuais  $<1^{\circ}\text{C}$ , obtidas através da distribuição de valores extremos (Figura 8.27).

Pinto e Zullo (2009) apontam que a ocorrência de geada na região Sudeste concentra-se nos meses de junho a agosto com casos excepcionais em maio e setembro.

De modo geral, em média ocorrem geadas fracas a cada 4/5 anos, fortes a cada 9/11 anos e severas a cada 18/20 anos.

Os autores também destacam alguns fatos e mitos com relação a geadas e culturas plantadas:

- Em noite de geada, o ar em contato com as folhas das plantas é resfriado tornando-se mais denso e acumulando-se nas partes mais baixas do terreno. Pode se associar essa ação como se o ar frio fosse água em dia de chuva, que

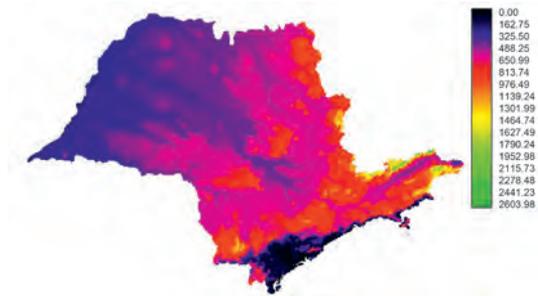


Figura 8.26 - Mapa-base altimétrico (m) do Estado de São Paulo (Fonte: Valeriano *et al.*, 2002 *apud* Astolpho *et al.*, 2004).

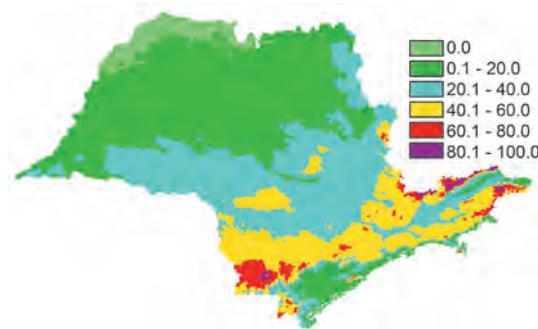


Figura 8.27 - Probabilidades (%) de ocorrência de temperaturas mínimas absolutas anuais  $<1^{\circ}\text{C}$ . (Fonte: Astolpho *et al.*, 2004).

escorre pela encosta abaixo e se acumula nas baixadas. Daí a expressão “estar com o pé gelado” em noites frias ser verdade já que o ar nas partes mais baixas sempre está mais frio;

- As folhas vegetais morrem devido ao intenso resfriamento causado pelo ar frio. Isso ocorre durante a madrugada, normalmente no horário próximo ao nascer do sol, quando a temperatura atinge o nível mínimo. É falso, portanto, dizer que a planta é queimada pelos raios solares, logo ao nascer do sol. A claridade serve apenas para se constatar que as plantas foram queimadas. Se fosse verdade essa crença, as plantas sempre seriam queimadas apenas na face Leste, correspondente ao lado do nascimento do sol;
- As plantas têm diferentes níveis térmicos letais. Café e Cana morrem com  $-3,5^{\circ}\text{C}$ , Citrus com  $-7^{\circ}\text{C}$ , Tomate com  $2^{\circ}\text{C}$  e Banana e Mamão com 5 a  $6^{\circ}\text{C}$ . Assim, em boa parte dos casos, a formação de gelo nas folhas pode não ser a causa de morte das plantas, como observado para o café;
- A queima de pneus para fazer fumaça em noite de geada não tem eficiência alguma na proteção das plantas. A fumaça não tem o poder de impedir a perda de calor pelas folhas. A produção de neblina (gotículas de água) é que tem eficiência como forma de defesa;
- Não se deve confundir Geada Negra com Geada de Vento. As geadas negras são caracterizadas pelo intenso resfriamento da superfície vegetal em noites com ar extremamente seco, muito frio e calma total. Nesse caso, a perda de calor pelas folhas é muito rápida e intensa, causando queima total pelo frio. A geada de vento é causada por ventos frios, normalmente provenientes de Sul ou Sudeste e queimam normalmente apenas uma face da planta.

Geada: como prevenir	
A N T E S	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cultivo de espécies resistentes ou pelo menos mais tolerantes às temperaturas baixas no período reprodutivo;</li> <li>• Planejamento, da semeadura e colheita, baseado em previsões climáticas de médio prazo (trimestrais);</li> <li>• Como a topografia influi na acumulação e escoamento do ar frio no terreno, escolher para o plantio as encostas elevadas, com mais de 10% de declive, os de espigão e os de configuração convexa com mais de 5% de declive. Evitar as baixadas e encostas baixas, espigões muito extensos e planos, terrenos de configuração côncava com baixo declive ou em bacias com gargantas estreitas a jusante.</li> </ul>
D U R A N T E	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aquecer o ar utilizando fogareiros a óleo, que devem ser estrategicamente espalhados por toda área de plantio;</li> <li>• Misturar ou agitar o ar através do uso de grandes ventiladores operados por motores;</li> <li>• Espalhar água na folhagem da lavoura e usar o chamado “quebra vento”. O objetivo é reduzir o resfriamento excessivo e aumentar a condutividade térmica do solo. O calor latente liberado no congelamento da água faz com que a temperatura das plantas não caia abaixo do nível de congelamento, durante a mudança de estado. Contudo, este método de proteção às geadas apresenta limitações.</li> </ul>
Fonte: Mota (1983); Romão (2006) <i>apud</i> Kobiyama <i>et al</i> (2006)	

## 8.10. Estiagem

Estiagem refere-se a um período prolongado de baixa pluviosidade ou sua ausência, em que a perda de umidade do solo é superior à sua reposição (Castro, 2003). A forma crônica deste fenômeno é denominada como seca, considerada atualmente como um dos desastres naturais de maior ocorrência e impacto no mundo. Isto se deve ao fato de que ela ocorre durante longos períodos de tempo, afetando grandes extensões territoriais.

Kobiyama *et al* (2006)

Assim, a estiagem é caracterizada como um breve período de seca, podendo ser classificada em três principais tipos (Campos, 1997 *apud* Kobiyama *et al*, 2006):

- **Seca climatológica**, quando a pluviosidade (chuva) é baixa em relação às normais da área;
- **Seca hidrológica**, quando a deficiência ocorre nos estoques de água dos rios e açudes (Figura 8.28);
- **Seca edáfica** quando é constatado um déficit de umidade no solo.

Se as reservas contidas nas nascentes, rios e riachos pudessem ser coletadas e armazenadas para abastecimento e distribuição, possivelmente estes períodos não resultariam em consequências prejudiciais ao homem. Além de fatores climáticos de escala global, como a La Niña, as características geoambientais podem ser elementos condicionantes na frequência, duração e intensidade dos danos e prejuízos. As formas de relevo e a altitude da



Figura 8.28 - Estiagem (Foto: Marielise Ferreira)

área, por exemplo, podem condicionar o deslocamento de massas de ar, interferindo na formação de nuvens e, conseqüentemente, na precipitação. O padrão estrutural da rede hidrográfica, por exemplo, pode também ser caracterizado como um dos condicionantes físicos que interfere na propensão para a construção de reservatórios e captação de água. A presença da cobertura vegetal contribui para a conservação da água, pois reduz a perda de umidade do solo, devido principalmente ao bloqueio da radiação solar e ao sistema radicular (raízes) que favorece o processo de infiltração, diminuindo também a atuação do processo erosivo (lixiviação). Municípios com economia totalmente apoiada em extrativismo vegetal, por exemplo, podem sofrer grandes prejuízos econômicos. Dependendo especificamente do porte da cultura realizada, da necessidade de irrigação e da importância desta na economia no município, os danos podem apresentar magnitudes economicamente catastróficas. As conseqüências podem estar relacionadas a extra-

tivismos, abastecimento doméstico, geração de energia, produção industrial, prestação de serviços, atividades de lazer e turismo, repercutindo também em outros fenômenos, como queimadas e intensificação da erodibilidade dos solos (Kobiyama *et al.*, 2006).

Estiagem: como prevenir	
A N T E S	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diversificar os tipos de culturas agrícolas e atividades econômicas, para evitar a concentração de prejuízos;</li> <li>• Priorizar culturas com maior resistência a períodos de déficit hídrico;</li> <li>• Realizar manejo do solo de acordo com a inclinação do terreno;</li> <li>• Manter sempre que possível a cobertura vegetal entre os períodos de cultivo;</li> <li>• Proteger poços, córregos, açudes e outras áreas de captação;</li> <li>• Proteger áreas de nascentes, grotões e mata ciliar, principalmente nos rios de primeira ordem;</li> <li>• Construir reservatórios com capacidade adequada a irrigação e a distribuição necessárias, e reservatórios para reutilização da água para fins de limpeza doméstica;</li> </ul>
D U R A N T E	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não construir barramentos sem estudo prévio do local;</li> <li>• Evitar o princípio e a propagação de queimadas;</li> <li>• Reutilizar a água para fins de limpeza de calçadas, fachadas e consumo animal;</li> <li>• Utilizar somente água potável para consumo doméstico, obtida em locais livres de contaminação ou, em último caso, água fervida.</li> </ul>
D E P O I S	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar a limpeza de reservatórios antes do consumo doméstico;</li> <li>• Restabelecer o nível dos reservatórios paulatinamente;</li> <li>• Identificar e mapear as áreas atingidas para controle futuro.</li> </ul>
Fonte: Knutson <i>et al</i> (1998) <i>apud</i> Kobiyama <i>et al</i> (2006)	

### Bibliografia recomendada

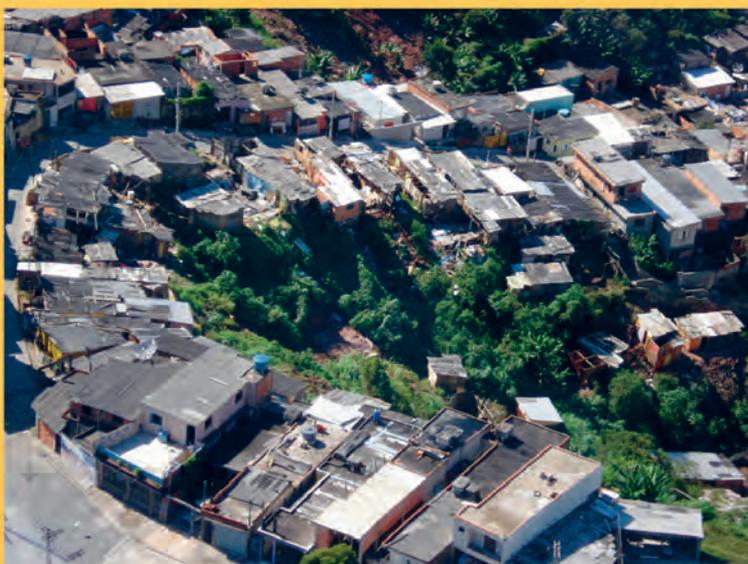
- DEMILLO, R. Como funciona o clima. São Paulo: Quark Books, 1998. 226p.
- KOBIYAMA, M. (Org.). Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos. Curitiba: Ed. Organic Trading, 2006. 109p.
- MENDONÇA, F.A. e DANNI-OLIVEIRA, I.M. Climatologia: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 206p.
- MONTEIRO, C.A.F. Clima e excepcionalismo: conjecturas sobre o desempenho da atmosfera como fenômeno geográfico. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1991. 241p.
- PINTO JUNIOR, O. e PINTO, I.C.A. Relâmpagos. São Paulo: Brasiliense, 2008. 95p.
- PIPE, J. Tempo e clima. Barueri, SP: Girassol; Reino Unido: Tick Tock Entertainment, 2008. (Coleção Planeta Terra). 32p.
- VAREJÃO-SILVA, M.A. Meteorologia e climatologia. Versão Digital 2. Recife: 2006. 449p.  
Disponível em: <http://www.agritempo.gov.br>
- ZAVATTINI, J.A. Estudos do clima no Brasil. Campinas: Editora Alínea, 2004. 398p.

# Capítulo 9

## Análise e mapeamento de risco

Lídia Keiko Tominaga

“Hoje é essencial que todos conheçam os perigos, calculáveis ou não, que ameaçam o ser humano. Sejam eles naturais ou provocados pela ação do homem, os desafios ao combate dos riscos demandam grande atenção da sociedade”  
(Yvette Veyret)



Área de risco em Santo André, SP, 2008. Fonte: Acervo IG.



## CAPÍTULO 9

### ANÁLISE E MAPEAMENTO DE RISCO

#### 9.1. Introdução

Nos capítulos anteriores (cap. 2 a 8) foram apresentados os principais fenômenos geoambientais associados às ocorrências de desastres naturais. Algumas destas ocorrências podem ser evitadas se houver planejamento adequado no uso e ocupação do solo. Há outras, porém que não são evitáveis, mas os danos que causam podem ser impedidos ou minimizados, se forem adotadas medidas de prevenção.

As pesquisas sobre perigos naturais no mundo foram iniciadas nos anos 60 por Gilbert White e seus colaboradores, cujos trabalhos envolveram a avaliação de risco de um evento natural, pela identificação dos processos sócio-econômicos envolvidos e dos processos físicos (perigos) e seus parâmetros de análise: magnitude, frequência, duração, extensão em área, velocidade, disposição espacial e intervalo de tempo de recorrência (Gares *et al.*, 1994).

Um fenômeno geológico pode se tornar um **acidente** ao gerar consequências sociais e econômicas (perdas e danos) ou referir-se a um evento quando não há registro de danos relacionados a ele. Desta forma, a suscetibilidade de uma área a um determinado fenômeno geológico corresponde à possibilidade de sua ocorrência como um evento sem danos, enquanto risco está relacionado à possibilidade de que a ocorrência do fenômeno tenha consequências sociais e econômicas (Cerri & Amaral, 1998).

Uma das ações internacionais de destaque estabelecida pela ONU, após a Década Internacional de Redução dos Desastres Naturais (1990-1999), o *International Strategy for Disasters Reduction - ISDR* tem por finalidade o desenvolvimento de estratégias de redução dos riscos de desastres no mundo, focando, principalmente a redução das vulnerabilidades das comunidades como forma de reduzir o risco de desastres (UN-ISDR, 2004).

No entanto, a redução dos riscos é obtida primordialmente pela adoção de medidas preventivas adequadas. Tais medidas necessitam de estudos prévios dos fatores condicionantes e dos mecanismos dos fenômenos envolvidos, bem como de uma avaliação do perigo e do risco. Para um melhor entendimento do processo de análise que compõe esta avaliação, apresenta-se a seguir os principais conceitos e terminologias relacionadas a perigos e riscos geoambientais.

#### 9.2. Conceitos básicos de avaliação de perigo e risco

A publicação organizada pela UN-ISDR (2004), tratando das iniciativas globais de redução de desastres, define: *Risco como a probabilidade de consequências prejudiciais, ou danos esperados (morte, ferimentos a pessoas, prejuízos econômicos etc) resultantes da interação entre perigos naturais ou induzidos pela ação humana e as condições de vulnerabilidade. A versão atualizada (UN-ISDR, 2009) considera risco como “A combinação da probabilidade de um evento e suas consequências negativas”.*

De acordo com UN-ISDR (2004), o entendimento dos perigos ambientais envolve a consideração de quase todos os fenômenos físicos da Terra, contemplando uma

ampla gama de perigos, tais como, os geofísicos, meteorológicos, hidrológicos, geológicos, tecnológicos, biológicos e até mesmo sociopolíticos, individualmente ou em complexas interações. Os perigos têm sido usualmente classificados com base em sua origem, naqueles considerados naturais ou tecnológicos. Os perigos naturais, por sua vez são divididos em três grandes categorias: hidrometeorológicos, geológicos e biológicos, cuja classificação completa encontra-se no Quadro 9.1.

**Quadro 9.1.** Classificação de Perigo, baseado em UN-ISDR (2004).

<b>PERIGO (HAZARD)</b>	
Um evento, fenômeno ou atividade humana potencialmente danoso, o qual pode causar perda de vidas ou ferimentos a pessoa, danos à propriedades, rupturas socioeconômicos ou degradação ambiental.	
<b>PERIGOS NATURAIS (NATURAL HAZARDS)</b>	
Processos ou fenômenos naturais que ocorrem na biosfera e que podem constituir-se em um evento danoso. Os perigos naturais podem ser classificados quanto à origem em: geológico, hidrometeorológico e biológico.	
<b>ORIGEM</b>	<b>EXEMPLOS DE FENÔMENOS</b>
<b>Perigos geológicos</b> Processos ou fenômenos naturais que podem ser de origem endógena ou exógena	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terremotos, tsunamis;</li> <li>• Atividade e emissões vulcânicas;</li> <li>• Movimentos de massa, escorregamentos, queda de blocos rochosos, liquefação;</li> <li>• Colapso superficial, atividade de falha geológica.</li> </ul>
<b>Perigos hidrometeorológicos</b> Processos ou fenômenos naturais de natureza atmosférica, hidrológica ou oceanográfica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inundações/enchentes, corridas de lama/detritos;</li> <li>• Ciclones tropicais, tempestades marinhas, ventanias, chuvas de tempestades, nevasca, relâmpagos;</li> <li>• Secas, desertificação, fogo, temperaturas extremas, tempestade de areias;</li> <li>• <i>Permafrost</i>, avalanches de neve.</li> </ul>
<b>Perigo biológico</b> Processo de origem biológica ou aqueles transmitidos por vetores biológicos, incluindo exposição aos micro-organismos patogênicos, tóxicos e substâncias bioativas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eclosão de doenças epidêmicas, contágios de plantas ou de animais e de infestações extensivas.</li> </ul>
<b>PERIGO TECNOLÓGICO (TECHNOLOGICAL HAZARDS)</b>	
Perigo associado com acidentes tecnológicos ou industriais, rompimento de infraestrutura ou atividades humanas que podem causar perda de vidas ou ferimentos a pessoa, danos à propriedades, rupturas socioeconômicos ou degradação ambiental. Exemplos: poluição industrial, radioatividade, resíduo tóxico, queda de barragens, acidentes industriais, etc.	

Dois elementos são essenciais na formulação do risco: o **perigo** de se ter um evento, fenômeno ou atividade humana potencialmente danosa e a **vulnerabilidade**, ou seja, o grau de suscetibilidade do elemento exposto ao perigo. Isso indica que o impacto do desastre dependerá das características, probabilidade e intensidade do perigo, bem como da vulnerabilidade das condições físicas, sociais, econômicas e ambientais dos elementos expostos.

O risco é um perigo calculável, pois um processo potencialmente perigoso torna-se um risco para a população afetada a partir do momento em que sua ocorrência passa a ser previsível,

seja por emitir sinais prévios ou pela repetição, permitindo estabelecer uma frequência. Desta forma, a estatística tem um papel importante na definição do risco (Veyret, 2007).

Embora a maior parte dos perigos naturais seja inevitável, os desastres não o são. A investigação dos perigos que ocorreram no passado e o monitoramento da situação do presente possibilitam entender e prever a ocorrência de futuros perigos, permitindo que uma comunidade ou o poder público possa minimizar o risco de um desastre (UN-ISDR, 2004).

Assim, o **risco** existe quando há um **perigo** com potencial de causar dano e um elemento ou sistema socioeconômico que pode ser atingido.

Para a avaliação de risco geológico, Varnes (1984), propôs a seguinte equação:

$$R_t = (E) \times (R_s),$$

como  $R_s = H \times V$ , então:  $R_t = (E) \times (H \times V)$ , onde,

$H$  (*Natural Hazard*) - Perigo Natural;

$V$  - Vulnerabilidade;

$R_s$  - Risco Específico;

$E$  - Elementos em Risco;

$R_t$  - Risco total (número esperado de perdas de vidas, de pessoas afetadas, danos a propriedades, ou interrupção de atividades econômicas).

Nos estudos de risco geológico, Tominaga *et al.* (2004) e Tominaga (2007) adotaram, com base em Varnes (1984), Einstein (1988) e UN-ISDR (2004), as definições abaixo:

- **Perigo** - refere-se à possibilidade de um processo ou fenômeno natural potencialmente danoso ocorrer num determinado local e num período de tempo especificado.
- **Vulnerabilidade** - conjunto de processos e condições resultantes de fatores físicos, sociais, econômicos e ambientais, o qual aumenta a suscetibilidade de uma comunidade (elemento em risco) ao impacto dos perigos. A vulnerabilidade compreende tanto aspectos físicos (resistência de construções e proteções da infraestrutura) como fatores humanos, tais como, econômicos, sociais, políticos, técnicos, culturais, educacionais e institucionais.
- **Risco** - é a possibilidade de se ter consequências prejudiciais ou danosas em função de perigos naturais ou induzidos pelo homem. Assim, considera-se o Risco (R) como uma função do Perigo (P), da Vulnerabilidade (V) e do Dano Potencial (DP), o qual pode ser expresso como:  $R = P \times V \times DP$ .

### 9.3. Mapa de perigo

O mapa de perigo representa a probabilidade espacial e temporal de ocorrer um processo ou um fenômeno com potencial de causar danos. Os métodos de avaliação de perigos são bastante diferenciados, pois dependem do tipo de processo e das características da área. Na avaliação de perigo a escorregamentos, Tominaga *et al.* (2008), consideraram

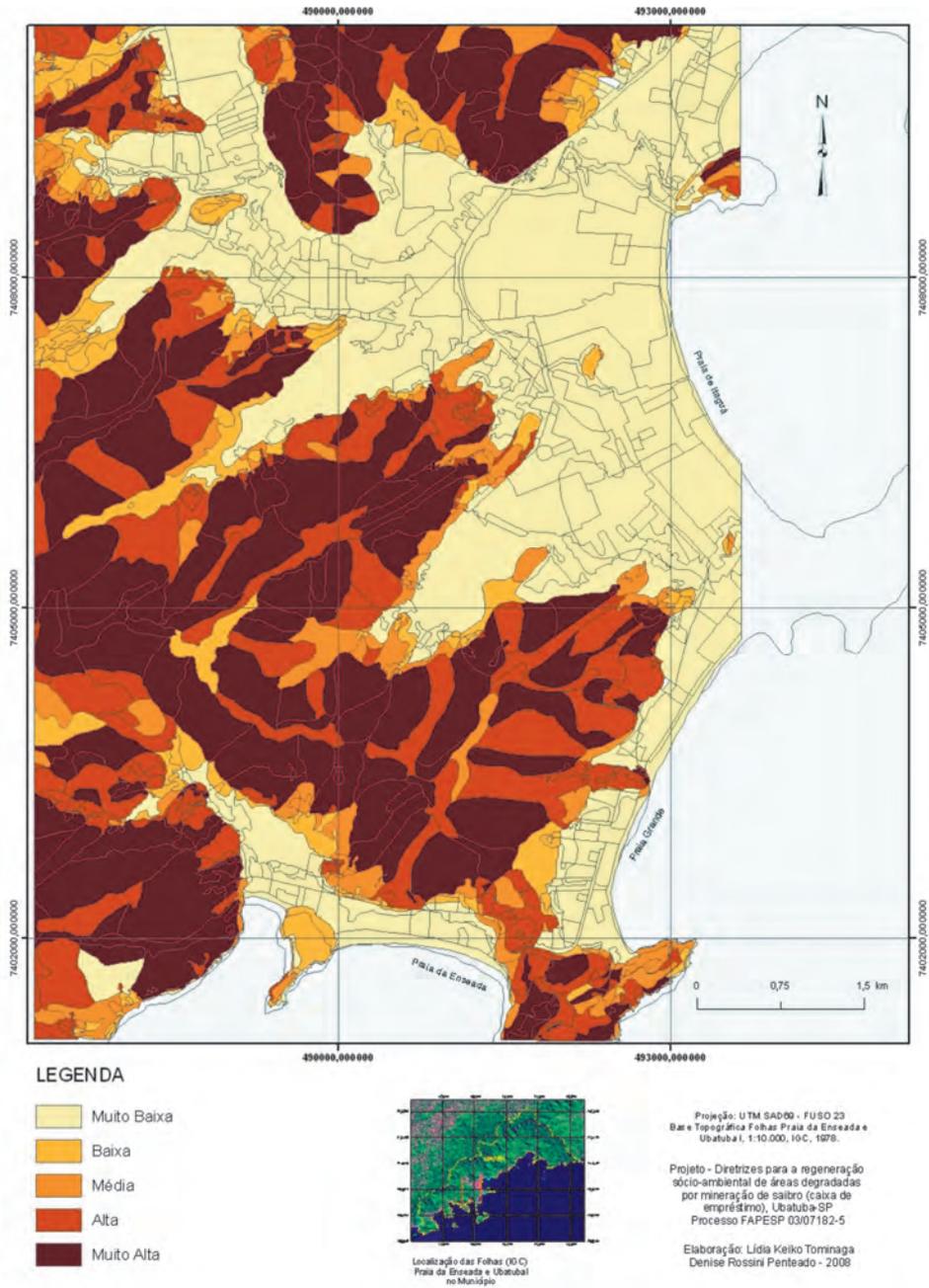


Figura 9.1 - Mapa de suscetibilidade a escorregamentos da porção centro-sul de Ubatuba (Ferreira, 2008).

a suscetibilidade natural do terreno e as características do uso e ocupação do solo como indicativos do perigo potencial (Figura 9.1). Outros autores, tais como Einstein (1988), Cooke & Doorkamp (1990), Fernandes e Amaral (1996) também consideram que o mapa de suscetibilidade corresponde ao mapa de perigo, quando se trata de escorregamentos, uma vez que representam probabilidades espaciais, as quais podem ser consideradas também como indicativas das probabilidades temporais.

Normalmente, utilizam-se duas abordagens principais para análise de perigo, uma qualitativa e outra quantitativa. Métodos qualitativos, em geral, são baseados no julgamento de especialista por meio de dados obtidos em observações de campo e em interpretação de fotos aéreas. Adota-se análise geomorfológica de campo, ou análise de combinação de mapas de índices dos fatores que afetam a estabilidade de vertentes.

Os métodos quantitativos baseiam-se principalmente em análises estatísticas, por meio da comparação da distribuição espacial dos fenômenos com os parâmetros considerados. Este método procura contornar a subjetividade das abordagens qualitativas. Os resultados podem ser aplicados em áreas que atualmente não apresentam feições de instabilidade, mas onde existem condições de suscetibilidade de futuras instabilidades. Utilizam-se também modelos geotécnicos determinísticos, que do mesmo modo que na análise de suscetibilidade, são voltados para análise de vertentes ou de locais específicos para fins da engenharia.

A avaliação do perigo é resultante da combinação das informações do meio físico (tipo de solo, declividade, clima, etc.) e do mapa de inventário de processos como os de escorregamentos e de erosão. Os atributos descritos neste mapa podem ser analisados qualitativamente, classificando-se, por exemplo, em baixo, médio ou alto perigo. O mapa de perigo representa, portanto, o potencial de ocorrência, em uma área ou região, de processos que podem ser causadores de desastres naturais e, desta forma, contribui com importantes subsídios para o adequado planejamento do uso e ocupação do solo visando o controle e redução dos desastres naturais (Figura 9.2).

Com a disseminação do uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), os estudos de perigo ou de previsão de áreas instáveis tiveram um grande desenvolvimento a partir da década passada. Os métodos adotados nestes estudos podem ser agrupados em três tipos principais: os empíricos; os probabilísticos e os determinísticos (Fernandes *et al.*, 2001; Savage *et al.*, 2004).

### Métodos empíricos

O método empírico baseia-se na distribuição das cicatrizes recentes e depósitos associados como indicativo das áreas que podem apresentar futuras instabilizações. Por meio da produção de mapas de inventários ou mapas de densidade de ocorrências, são indicadas as áreas com potencial de instabilização (Fernandes *et al.* 2001). Estes modelos usam dados pluviométricos regionais, mapeamentos geológicos e geomorfológicos, dados geotécnicos, e dados digitais do terreno em SIG para estimar a distribuição espacial e temporal do potencial de instabilidade das vertentes.

Um outro método considerado empírico são as análises efetuadas a partir de mapeamentos geomorfológicos e/ou geotécnicos, produzindo, em geral, um mapa de perigo por

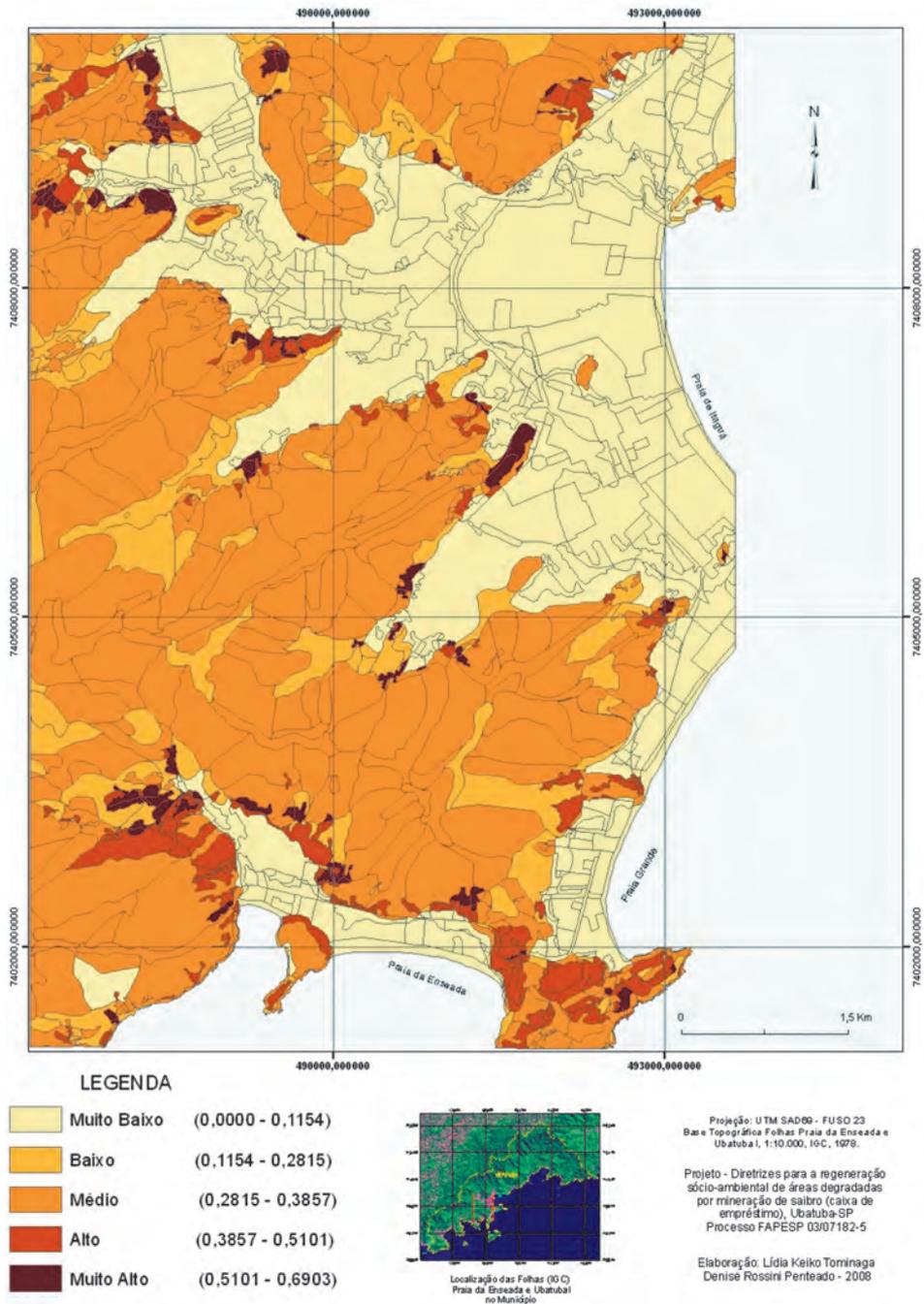


Figura 9.2 - Mapa de perigo de escorregamentos da porção centro-sul de Ubatuba (Ferreira, 2008).

meio da combinação de vários mapas referentes aos fatores condicionantes da instabilização, aos quais são atribuídos notas e pesos, a partir da experiência do profissional (Fernandes *et al.*, 2001).

### Métodos probabilísticos

Em geral, os métodos probabilísticos adotam análises com bases estatísticas, as quais conferem menor subjetividade nos mapeamentos de áreas suscetíveis, possibilitando a replicabilidade. Estes procedimentos baseiam-se no princípio de que os fatores que causaram a instabilidade de um determinado local no passado poderão gerar novas instabilizações no futuro (Van Westen, 1993; Guzzetti *et al.*, 1999). Entretanto, deve-se destacar que, como os critérios e regras de combinação nestes métodos baseiam-se em padrões mensurados a partir de observações e/ou ensaios de campo, torna-se necessária, a disponibilidade de extensos bancos de dados sobre os processos estudados, o que é muito raro na realidade brasileira (Fernandes *et al.*, 2001).

### Métodos determinísticos

Os métodos determinísticos são abordagens que utilizam modelos matemáticos em bases físicas, ou seja, que descrevem alguns dos processos e leis físicas que controlam a estabilidade de vertentes. São empregados programas computacionais baseados em modelos de fluxos hidrológicos e de estabilidade de vertentes (Fernandes *et al.*, 2001; Savage *et al.* 2004). Uma outra abordagem de análise determinística adota modelos de estabilidade de vertentes para determinar o perigo de escorregamento, por meio de cálculo do fator de segurança.

Estes modelos determinísticos requerem uma grande quantidade de dados detalhados obtidos em testes de laboratório e em ensaios de campo, sendo assim, mais apropriados para fornecer as informações quantitativas do perigo de instabilização, as quais podem ser usadas diretamente em projetos de engenharia, ou na quantificação do risco. Contudo, o alto custo de obtenção dos dados limita sua aplicação apenas para estudos localizados e em áreas menores.

## 9.4. Mapas de risco

Os mapas de risco representam os resultados da avaliação de risco, a qual se refere à estimativa da extensão dos prováveis danos decorrentes de um desastre natural (perigo). Os danos podem ser na forma de perdas de vidas ou ferimentos, danos aos recursos da terra e propriedades.

A maioria dos mapeamentos de risco tem sido feita apenas em áreas de extensão limitada, devido à complexidade e dificuldade de se fazer a composição do perigo e do potencial de perda. Assim, ainda são poucos os métodos disponíveis na literatura para avaliação e mapeamento de risco. A seguir, discute-se mapeamentos de risco relacionados a escorregamentos e inundações.

### 9.4.1. Métodos de mapeamento de risco aplicados aos escorregamentos

Em uma proposta metodológica integrada para avaliação de risco a escorregamentos em áreas montanhosas, Bocquet *et al.* (1984, *apud* Einstein 1988), adotaram três principais componentes de risco: 1) o perigo; 2) a modificação do perigo pela interferência humana;

e 3) efeito potencial sobre os fatores econômicos e presença humana (potencial de perda). Os níveis de perigo são descritos por uma escala de “a” (alto) a “d” (muito baixo) que combina a intensidade do perigo e sua probabilidade. A ação humana pode tanto reduzir ou aumentar o perigo alterando-os para um ou dois níveis. As perdas potenciais e o perigo modificado são então associados para avaliação do risco da área analisada.

No Brasil, as experiências de elaboração de cartas de risco associadas aos movimentos de massa são bastante recentes. Os primeiros trabalhos surgiram apenas no final da década de 1980, como os de Prandini *et al.* 1987 e Sobreira, 1989. A partir destes trabalhos evidenciou-se a importância das cartas de risco geológico como instrumento técnico fundamental para ações de gerenciamento e redução das consequências dos acidentes geológicos (Cerri & Amaral, 1998).

Como exemplo, podemos citar a proposta de Cerri (1993) de elaboração de mapas de risco geológico em duas etapas principais. A primeira refere-se à produção do mapa de suscetibilidade pelo cruzamento dos mapas temáticos do meio físico com o mapa de uso e ocupação do solo como indutor dos processos geológicos. A segunda prevê o cruzamento do mapa de suscetibilidade com o mapa de uso e ocupação do solo, representando nesta etapa, as consequências (danos) potenciais associadas.

O procedimento metodológico sugerido por Fernandes e Amaral (1996) para elaboração de cartas de risco, visando atender ao planejamento e à implantação de infraestrutura para áreas habitadas, envolve a identificação e análise do risco, sendo que a identificação contempla a definição, a caracterização, a delimitação e a determinação dos condicionantes dos escorregamentos, bem como da sua área de influência. A análise do risco contempla a qualificação e quantificação do risco e da definição dos diferentes graus de risco. Essas cartas de risco foram aplicadas na cidade do Rio de Janeiro com a finalidade de priorizar as medidas de eliminação do risco.

Os procedimentos de avaliação de risco adotados por Tominaga *et al.* (2004) e Tominaga (2007) com base na equação de risco,  $R = [P \times (V \times D)]$ , contempla uma sequência de análises dos fatores do meio físico e do uso e ocupação do solo (sócio-econômico), conforme ilustrado na Figura 9.3 e na Figura 9.4 é apresentado o mapa de risco a escorregamentos resultante destas análises.

No Estado de São Paulo, o Instituto Geológico (IG) e o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) têm atuado, desde 1988, junto a Defesa Civil Estadual nas ações de prevenção de desastres naturais, como a operação do Plano Preventivo de Defesa Civil em diversas regiões do estado. Estas ações serão abordadas no próximo capítulo referente ao gerenciamento de desastres naturais.

A identificação e qualificação do risco é um dos principais suportes técnicos para operação destes planos. Assim, para os mapeamentos de risco efetuados com o propósito de fornecer subsídios à Defesa Civil e às prefeituras municipais para a identificação e o gerenciamento das situações de risco relacionadas a escorregamentos e inundações em áreas urbanas dos municípios, utilizou-se um procedimento de avaliação qualitativa conjugado com observações de campo, de forma a permitir uma rápida implementação de ações de prevenção e mitigação em áreas prioritárias (Faria *et al.*, 2005).

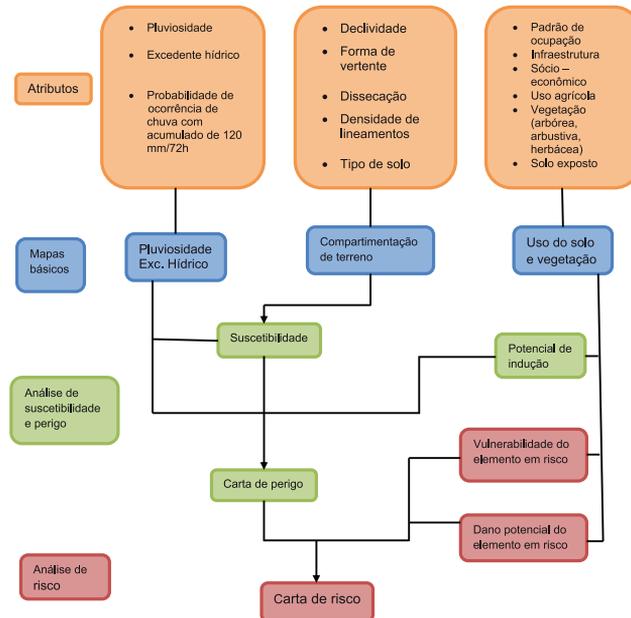


Figura 9.3 - Fluxograma da análise de perigo e risco (Fonte: modificado de Tominaga *et al.*, 2004).

Nestes mapeamentos, são avaliados os fatores considerados essenciais à análise do risco: a probabilidade ou possibilidade de ocorrência de escorregamentos e inundações/enchentes; a vulnerabilidade em relação às formas de uso e ocupação; e o potencial de dano. Estes fatores definem a setorização e o grau de risco. Na Figura 9.5 encontra-se um exemplo deste mapeamento.

#### 9.4.2. Métodos de mapeamento de risco aplicados às inundações

O mapeamento de riscos hidrológicos, segundo Souza (2004), baseia-se na expressão  $Risco = Perigo \times Danos\ Potenciais$ . O Perigo, neste caso, é função de: (a) suscetibilidade natural em desenvolver inundações; (b) interferências do uso antrópico como indutor de cheias e alagamentos; (c) probabilidade de ocorrência de eventos associados a inundações que é determinada por meio de cálculo dos períodos de retorno dos eventos. Na Figura 9.6 encontra-se um exemplo deste mapa.

Os principais condicionantes naturais da suscetibilidade a inundações podem ser agrupados em: (a) climático-meteorológicos; (b) geológicos; (c) características morfológicas da bacia de drenagem; (d) comportamento flúvio-hidrológicos. Quanto às interferências do homem nas bacias de drenagem podem ser de diversos tipos, tais como: ocupação de áreas marginais aos canais de drenagem; implantação de aterros e estruturas lineares; implantação de diques marginais e barragens; modificações dos canais de drenagem (canalizações, retificações); modificações nos fluxos de sedimentos causando assoreamento; lançamento de entulhos e lixos (Souza 2004).

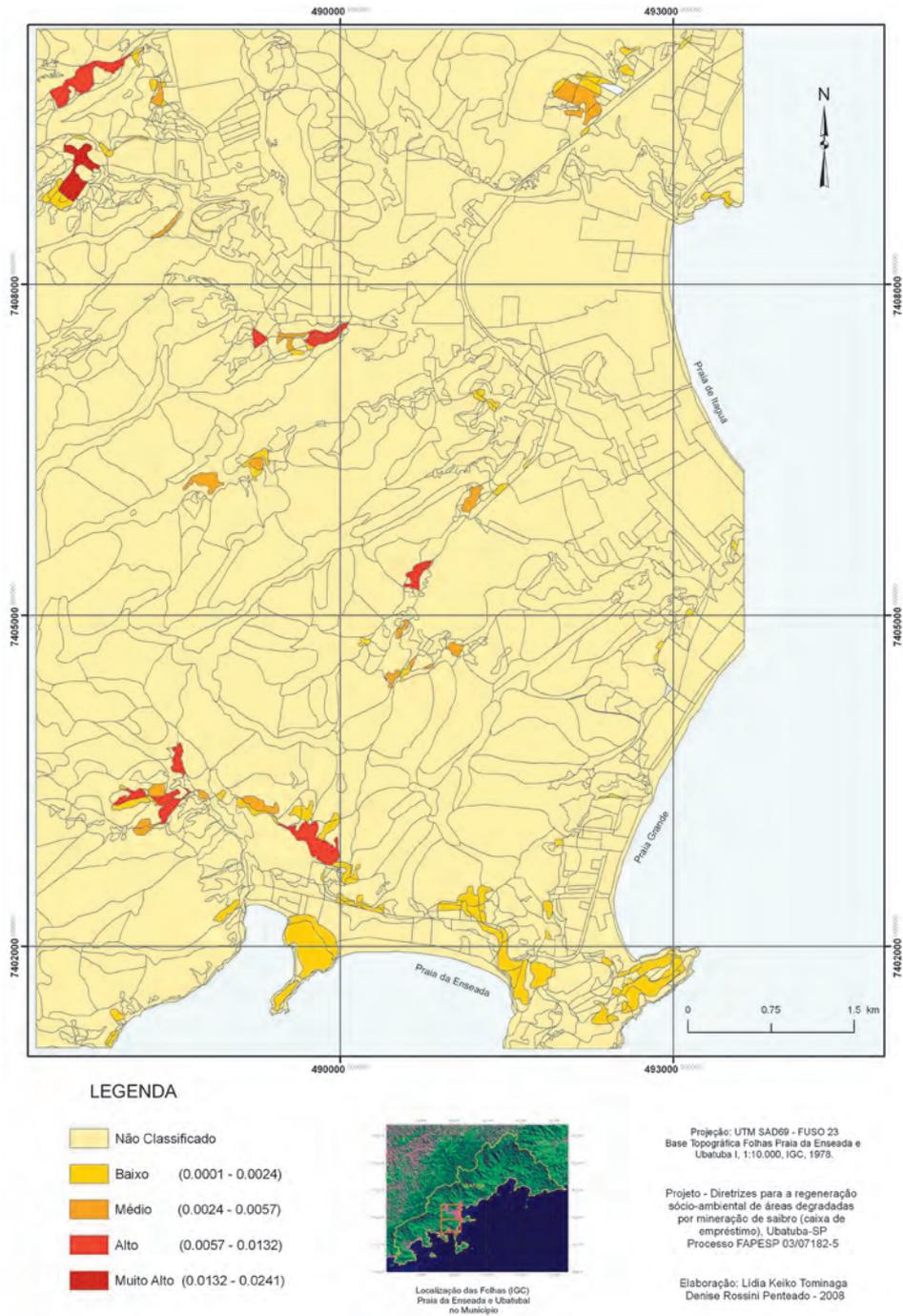


Figura 9.4 - Mapa de risco a escorregamentos da porção centro-sul de Ubatuba (Ferreira, 2008).



Figura 9.5 - Setorização do Risco em São Luiz do Paraitinga (IG, 2008).

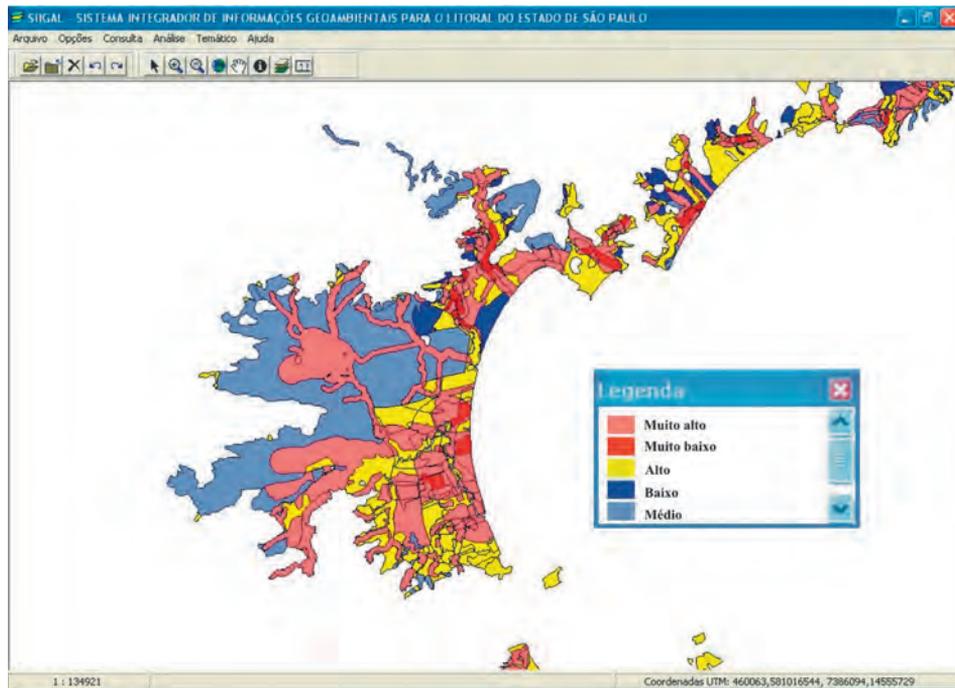


Figura 9.6 - Mapa de risco a inundações de Caraguatatuba, SP (Fonte: Souza, 2009).

De acordo com Pinheiro (2007), as intervenções humanas ao longo da bacia hidrográfica são os grandes causadores de danos, os quais podem agravar ou reduzir a magnitude das cheias. As principais intervenções são as decorrentes da urbanização e dos obstáculos ao escoamento da água. A urbanização impermeabiliza os solos provocando o aumento do volume de água de escoamento superficial, da velocidade de escoamento e a redução do tempo de resposta da bacia.

Enfatiza-se, assim, que a maior parte dos desastres decorrentes de fenômenos naturais pode ser reduzida, minimizada ou até mesmo evitada, se forem adotadas medidas de prevenção e de disciplinamento do uso e ocupação do solo. Os instrumentos legais para as ações de planejamento são os Planos Diretores Municipais, os Zoneamentos Ecológico-Econômicos (ZEEs), as Áreas de Proteção Permanentes (APPs), CONAMA e outros. Os mapas de suscetibilidade, de perigo e de risco são os instrumentos técnicos que fornecem subsídios a estas ações.

## 9.5. Conclusões

A avaliação de risco é de fundamental importância para o planejamento e desenvolvimento das estratégias de redução de desastres. Os procedimentos utilizados na avaliação de risco diferem conforme a natureza do fenômeno abordado. De modo geral, avaliação de risco envolve o uso sistemático de informações para determinar a probabilidade de que certos eventos ocorram e a dimensão de suas possíveis consequências.

Em relação aos riscos geológicos sugerem-se os seguintes procedimentos:

Definir o fenômeno em potencial (localização, dimensão, mecanismos) e as ocorrências anteriores (mapa de inventário ou cadastro);

Análise e mapeamento dos fatores condicionantes do meio físico e dos tipos de uso e ocupação do solo, os quais interferem, aumentando ou reduzindo a probabilidade de ocorrência do processo potencialmente perigoso (mapas de perigo);

Análise do risco das áreas de perigo em conjunto com a vulnerabilidade e dano potencial do elemento em risco (mapas de risco).

## Bibliografia recomendada

- BRASIL. Ministério das Cidades / Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT – Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios. Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007. 176 p.
- CARVALHO, C. S. & GALVÃO, T. (Org) 2006. Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais. Brasília: Ministério das Cidades; Cities Alliance, 2006.
- KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D.A.; MARCELINO, I.P.V.O.; MARCELINO, E.V.; GONÇALVES, E.F.; BRAZETTI, L.L.P.; GOERL, R.F.; MOLLERI, G.; RUDORFF, F. Prevenção de desastres naturais: Conceitos básicos. Curitiba: Organic Trading, 2006. 109 p. Disponível em [www.labhidro.ufsc.br](http://www.labhidro.ufsc.br)

# Capítulo 10

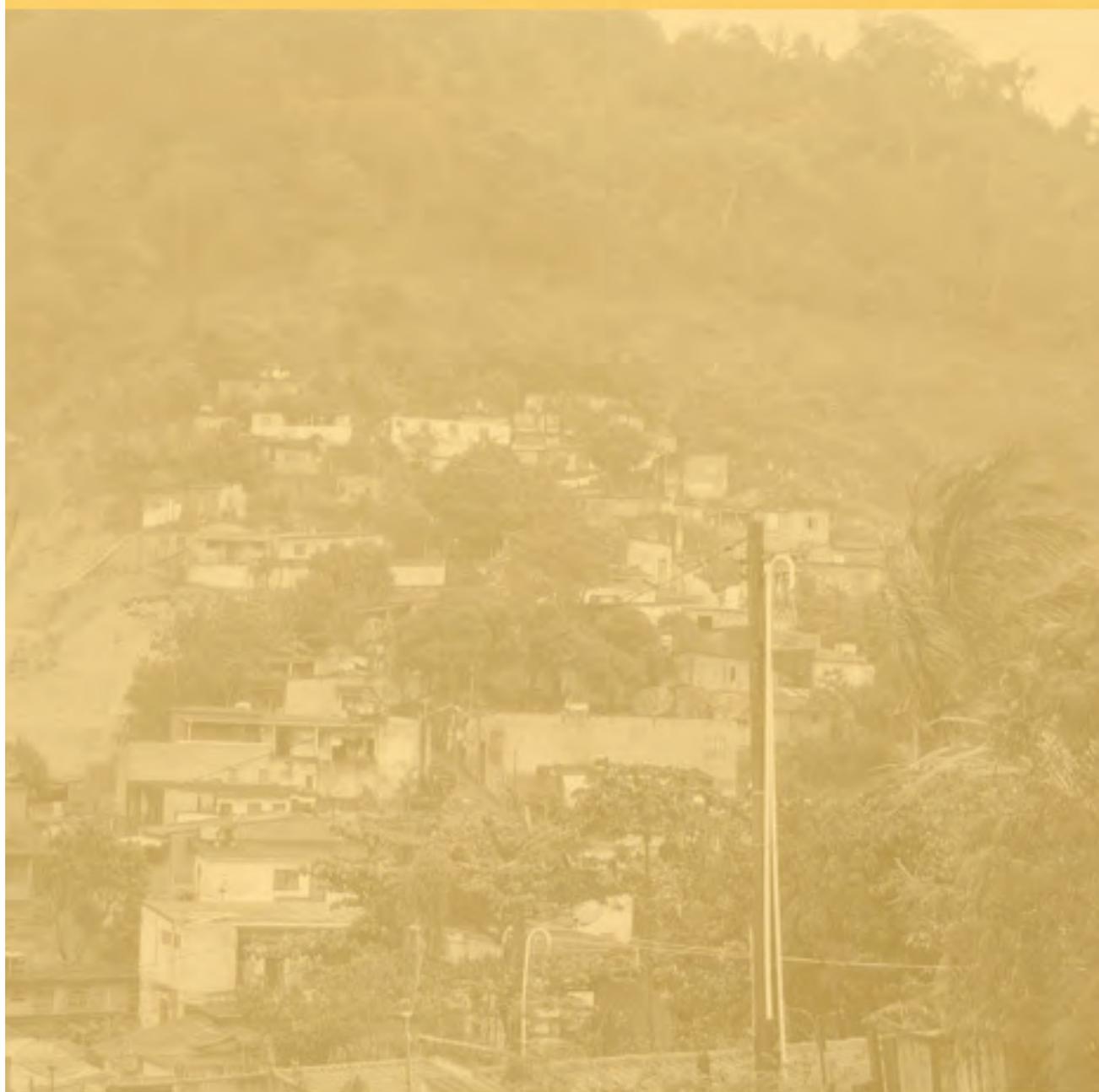
## Gerenciamento de Desastres Naturais

Daniela Girio Marchiori Faria  
Jair Santoro

“O risco, objeto social que se define como a percepção do perigo, da catástrofe possível, vem adquirindo lugar de destaque nas sociedades. Ele está por toda parte. Para o homem – vítima e agressor do meio ambiente – prevalece um sentimento de insegurança, alimentado pelo próprio progresso da segurança.



O risco é assumido, vivido, recusado; ele é estimado, avaliado, calculado. A gestão dos riscos – quer sejam eles ambientais, econômicos ou até mesmo sociais – se traduz por escolhas políticas e por decisões em termos de organização do território” (Yvette Veyret)



## CAPÍTULO 10

### GERENCIAMENTO DE DESASTRES NATURAIS

O gerenciamento de desastres é um dos instrumentos de gestão urbana, que integrado a outras políticas públicas, tem finalidade de reduzir, prevenir e controlar de forma permanente o risco de desastres na sociedade (Nogueira, 2002; Lavell, 2003).

#### 10.1. As fases do gerenciamento de desastres

O Gerenciamento de Desastres Naturais (GDN) tem um caráter amplo, pois compreende uma diversidade de enfoques, interpretações e práticas.

Cardona (1996) define oito etapas que compõem o gerenciamento dos desastres, do ponto de vista institucional, salientando a existência de uma sequência cíclica onde essas etapas se interrelacionam de forma simbiótica e devem ser tratadas de forma coerente e específica. As etapas são: **Prevenção, Mitigação, Preparação, Alerta, Resposta, Reabilitação, Reconstrução e Desenvolvimento.**

Essas etapas correspondem ao esforço de prevenir a ocorrência do desastre, mitigar as perdas, preparar-se para as consequências, alertar, responder as emergências e recuperar-se dos efeitos dos desastres. Estão presentes em três momentos do desastre: antes, durante e depois, conforme Tabela 10.1.

**Tabela 10.1.** Atividades de gerenciamento de riscos e respostas a desastres, segundo Cardona (1996)/SNPAD – Colômbia (*apud*, Nogueira, 2002).

Antes do desastre	Durante o desastre	Depois do desastre
<b>Prevenção:</b> objetiva evitar que ocorra o evento.	Atividades de <b>resposta</b> ao desastre: são aquelas que se desenvolvem no período de emergência ou imediatamente após de ocorrido o evento. Podem envolver ações de evacuação, busca e resgate, de assistência e alívio à população afetada e ações que se realizam durante o período em que a comunidade se encontra desorganizada e os serviços básicos de infraestrutura não funcionam.	<b>Reabilitação:</b> período de transição que se inicia ao final da emergência e no qual se restabelecem os serviços vitais indispensáveis e os sistemas de abastecimento da comunidade afetada.
<b>Mitigação:</b> pretende minimizar o impacto do mesmo, reconhecendo que muitas vezes não é possível evitar sua ocorrência.		
<b>Preparação:</b> estrutura a resposta		<b>Reconstrução:</b> caracteriza-se pelos esforços para reparar a infraestrutura danificada e restaurar o sistema de produção, revitalizar a economia, buscando alcançar ou superar o nível de desenvolvimento prévio ao desastre.
<b>Alerta:</b> corresponde à notificação formal de um perigo iminente.		

No Brasil, as ações de redução de Desastres adotadas pela Defesa Civil Nacional (Brasília, 2007) compõem-se de: **Prevenção; Preparação para Emergências e Desastres; Resposta e Reconstrução.**

### 10.1.1. Prevenção

O refrão aplicado à gestão de Desastres: “Mais vale prevenir do que lamentar” (Cardona, 1996) significa que, pode-se evitar a ocorrência do Desastre mediante a intervenção direta do perigo, ou seja, impedir que ocorra a causa primária do Desastre.

A ação de Prevenção compreende duas etapas:

a) Avaliação de riscos: onde os problemas são conhecidos, ou seja, é a fase de identificação e análise dos riscos (UNDRO, 1991). Nesta etapa ocorre a identificação dos processos perigosos, indicação dos locais ameaçados, quantificação e estabelecimento de prioridades.

A análise das áreas de risco permite a elaboração de bancos de dados e de mapas temáticos sobre ameaças, vulnerabilidades e riscos de desastres. Como exemplos, temos: as cartas geotécnicas, os mapas de suscetibilidade, de perigo e de risco, além do cadastramento e zoneamento de risco.

A proposição das medidas de redução dos riscos deve ser realizada em seguida à fase de identificação e análise dos riscos.

b) Redução de riscos: objetiva adotar medidas para a redução da magnitude dos processos geológicos perigosos para eliminar ou reduzir as consequências sociais e/ou econômicas (Augusto Filho & Virgili, 1998). Existem dois conjuntos de medidas preventivas:

- medidas não-estruturais, que contemplam o planejamento do uso e ocupação do solo, em função da definição das áreas de risco (medidas de convivência com o risco), bem como o aperfeiçoamento da legislação de segurança contra desastres e;
- medidas estruturais, que englobam obras de engenharia.

Como exemplos de medidas não-estruturais, temos os planos de contigência, sistemas de alerta e planos preventivos. As medidas estruturais são obras de contenção em taludes; diques, barragens, obras de controle a inundações e erosões, entre outros.

As medidas de prevenção devem ter como objetivos (Cerri, 1993): a) eliminar e/ou reduzir os riscos instalados; b) evitar a instalação de novas áreas de risco e c) conviver com os riscos atuais.

A Figura 10.1 mostra um exemplo de medidas de prevenção de acidentes geológicos associados a escorregamentos (Cerri, 1993).

### 10.1.2. Preparação para emergências e desastres

Esta fase objetiva otimizar as ações preventivas, de resposta aos desastres e de reconstrução através de projetos de:

- Desenvolvimento Institucional;
- Desenvolvimento de Recursos Humanos;
- Desenvolvimento Científico e Tecnológico;
- Mudança Cultural;
- Motivação e Articulação Empresarial;
- Informações e Estudos Epidemiológicos sobre Desastres;

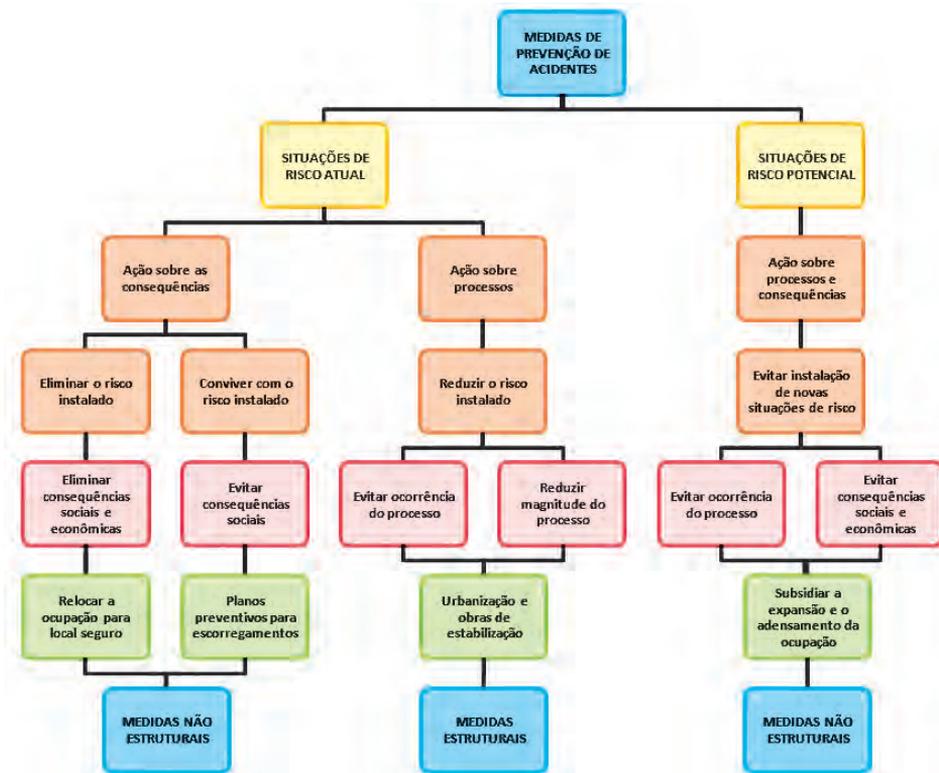


Figura 10.1 - Medidas de prevenção de acidentes geológicos associados a escorregamentos (modificado de Cerri, 1993).

- Monitoramento, Alerta e Alarme;
- Planejamento Operacional e de Contingência;
- Planejamento de Proteção de Populações contra Riscos de Desastres;
- Mobilização;
- Aparelhamento e Apoio Logístico.

Nesta etapa também fazem parte os planos de contingência, sistemas de alerta e planos preventivos, além dos cursos de capacitação em Desastres e o desenvolvimento de pesquisas no tema.

### 10.1.3. Resposta ao desastre

Compreende as ações de:

- Socorro às vítimas;
- Assistência às populações vitimadas: compreende as atividades de logística; assistenciais e de promoção da saúde;
- Reabilitação do cenário do desastre: compreende as atividades de avaliação de danos; vistoria e elaboração de laudos técnicos; desobstrução e remoção

de escombros; sepultamento, limpeza, descontaminação, desinfecção e desinfestação do ambiente; reabilitação de serviços essenciais; recuperação de unidades habitacionais de baixa renda.

#### 10.1.4. Reconstrução

A fase de reconstrução tem por finalidade restabelecer em sua plenitude:

- os serviços públicos;
- a economia da área;
- o moral social;
- o bem-estar da população.

Para isso é necessário recuperar os ecossistemas; reduzir as vulnerabilidades; promover o ordenamento do uso e ocupação do solo; realocar as populações em áreas de menor risco; modernizar as instalações e reforçar as estruturas.

A reconstrução além de restabelecer a normalidade, visa à prevenção a novos desastres, caracterizando assim a sequência cíclica das etapas de gerenciamento dos desastres (Figura 10.2).

#### 10.2. Experiências de prevenção e mitigação de desastres no Brasil

A seguir são apresentadas as principais experiências em gestão de risco de desastres no Brasil, com especial atenção às atividades desenvolvidas no Estado de São Paulo.



Figura 10.2 - Sequência cíclica das fases de gerenciamento de desastres (modificado de Thouret, 2007).

### 10.2.1. Plano municipal de redução de riscos (PMRR)

O Plano Municipal de Redução de Risco (PMRR) pertencente ao Programa de Urbanização, regularização e integração de assentamentos precários - Ação de Apoio a Programas Municipais de Redução e Erradicação de Riscos do Ministério das Cidades – Governo Federal (Carvalho & Galvão, 2006) que envolve: a) o treinamento das equipes municipais para elaboração do diagnóstico, prevenção e gerenciamento de risco; b) apoio financeiro para elaboração, pelo município, do plano de redução de risco, instrumento de planejamento que contempla o diagnóstico de risco, as medidas de segurança necessárias, a estimativa de recursos necessários, o estabelecimento de prioridades e a compatibilização com os programas de urbanização de favelas e regularização fundiária; e, c) apoio financeiro para elaboração de projetos de contenção de encostas em áreas de risco consideradas prioritárias nos Planos Municipais de Redução de Riscos.

Para os municípios que não possuem um diagnóstico das suas áreas de risco, o PMRR inclui como etapa inicial, o mapeamento (ou atualização) dos setores em risco (Alheiros, 2006) cuja metodologia é apresentada em Cerri (2006) e Cerri *et. al.* (2007).

### 10.2.2. Plano preventivo de defesa civil (PPDC)

O Plano Preventivo de Defesa Civil (PPDC) é aplicado no Estado de São Paulo pela Coordenadoria Estadual de Defesa Civil (CEDEC) a processos associados a escorregamentos (Cerri, 1993; Cerri & Barbosa, 1990; Cerri & Carvalho, 1990; Macedo *et al.*, 1999; Macedo *et. al.*, 2002; Macedo *et. al.*, 2004; Macedo *et. al.*, 2006).

O PPDC é considerado uma eficiente medida não-estrutural no gerenciamento de áreas de riscos associados a escorregamentos. O objetivo principal é subsidiar as equipes municipais nas situações de risco de modo a reduzir a possibilidade de perdas de vidas humanas.

A concepção do PPDC é a prevenção, ou seja, a implantação de medidas antes de ocorrer a deflagração dos processos associados a escorregamentos. A operação do PPDC baseia-se no acompanhamento de três parâmetros: o acumulado de chuvas (72 horas); a previsão meteorológica e as vistorias de campo e está estruturada em quatro níveis: observação, atenção, alerta e alerta máximo, conforme a Tabela 10.2.

Este Plano entra em operação anualmente (Decreto Estadual n° 42.565 de 01.12.97) no período de verão, sob a coordenação da CEDEC e conta com o apoio técnico das equipes do Instituto Geológico (IG) e do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT).

A Figura 10.3 (a) apresenta o atendimento emergencial realizado em fevereiro de 2009, no município de Guarujá (SP) devido a ocorrência de escorregamento atingindo várias moradias.

No período que antecede a implantação do PPDC, as equipes municipais recebem treinamento por meio de cursos ministrados pela CEDEC, IG e IPT (Figura 10.3 (b)).

Atualmente os municípios que operam o PPDC estão divididos em 12 regionais no Estado, representadas por 129 municípios (Figura 10.4).

Seguem abaixo as regionais e o número de municípios abrangidos.

Regional Baixada Santista: 4 municípios;

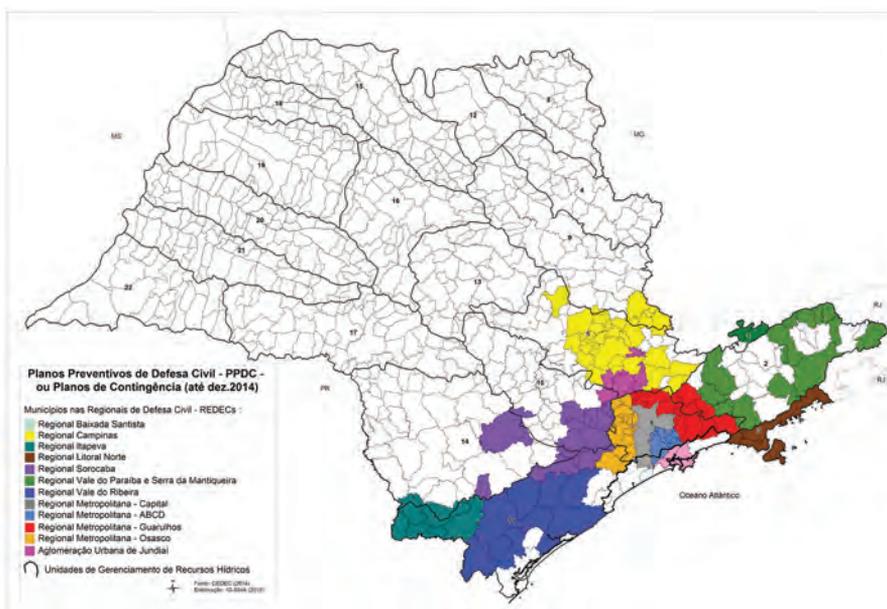
Regional Campinas: 31 municípios;

**Tabela 10.2.** Níveis operacionais do PPDC e suas ações correspondentes (Macedo *et. al.*, 2006).

Nível do Plano	Critério de Entrada no Nível	Ações a Serem Executadas pelo Município	Ações a Serem Executadas pelo Apoio Técnico
Observação	Início da operação do plano.	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Conscientização da população das áreas de risco;</li> <li>-Obtenção do dado pluviométrico;</li> <li>-Cálculo do acumulado de chuvas;</li> <li>-Recebimento da previsão meteorológica;</li> <li>-Transmissão para o apoio técnico do dado pluviométrico e nível vigente;</li> <li>-Avaliação da necessidade de MUDANÇA DE NÍVEL.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Manter técnicos em plantão para acompanhamento e análise da situação;</li> <li>-Enviar previsões meteorológicas.</li> </ul>
Atenção	Quando o acumulado de chuvas ultrapassar o valor de referência combinado com a previsão meteorológica.	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Declarar MUDANÇA DE NÍVEL;</li> <li>-Comunicar ao apoio técnico sobre MUDANÇA DE NÍVEL;</li> <li>-Realizar VISTORIAS de campo visando verificar a ocorrência de deslizamentos e feições de instabilização. Devem ser iniciadas pelas áreas de risco;</li> <li>-Obtenção do dado pluviométrico;</li> <li>-Cálculo do acumulado de chuvas;</li> <li>-Recebimento da previsão meteorológica;</li> <li>-Transmissão ao apoio técnico do dado pluviométrico e nível vigente;</li> <li>-Avaliação da necessidade de MUDANÇA DE NÍVEL.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Manter técnicos em plantão para acompanhamento e análise da situação;</li> <li>-Enviar previsões meteorológicas.</li> </ul>
Alerta	Quando as vistorias de campo indicarem a existência de feições de instabilidade ou mesmo deslizamentos pontuais.	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Declarar MUDANÇA DE NÍVEL;</li> <li>-Comunicar ao apoio técnico sobre MUDANÇA DE NÍVEL;</li> <li>-Realizar VISTORIAS de campo;</li> <li>-Retirada da população das áreas de risco iminente;</li> <li>-Obtenção do dado pluviométrico;</li> <li>-Cálculo do acumulado de chuvas;</li> <li>-Recebimento da previsão meteorológica;</li> <li>-Transmissão ao apoio técnico do dado pluviométrico e nível vigente;</li> <li>-Agilizar os meios necessários para POSSÍVEL retirada da população das demais áreas de risco;</li> <li>-Avaliação da necessidade de MUDANÇA DE NÍVEL.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Deslocamento de técnicos para acompanhamento da situação e avaliação da necessidade de medidas complementares;</li> <li>-Enviar previsões meteorológicas.</li> </ul>
Alerta Máximo	Quando ocorrerem deslizamentos generalizados.	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Declarar MUDANÇA DE NÍVEL;</li> <li>-Comunicar ao apoio técnico sobre MUDANÇA DE NÍVEL;</li> <li>-Proceder a retirada da população das áreas de risco e demais áreas necessárias;</li> <li>-Obtenção do dado pluviométrico;</li> <li>-Cálculo do acumulado de chuvas;</li> <li>-Recebimento da previsão meteorológica;</li> <li>-Transmissão ao apoio técnico do dado pluviométrico e nível vigente;</li> <li>-Avaliação da necessidade de MUDANÇA DE NÍVEL.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Deslocamento de técnicos para acompanhamento da situação e avaliação da necessidade de medidas complementares;</li> <li>-Enviar previsões meteorológicas.</li> </ul>



**Figura 10.3** - (a) Atendimento a ocorrência de escorregamento no Guarujá - SP em 26-02-2009 (Foto: Acervo IG); (b) Curso preparatório para o PPDC ministrado para a Defesa Civil de Santos - SP (Foto: Acervo IG);



**Figura 10.4** - Mapa com as regiões do Estado de São Paulo onde o PPDC é implantado durante o período chuvoso. Org. Antonio Carlos M. Guedes (IG).

Regional Itapeva: 7 municípios;  
 Regional Litoral Norte: 4 municípios;  
 Regional Sorocaba: 11 municípios;  
 Regional Vale do Paraíba: 16 municípios;  
 Regional Vale do Ribeira: 9 municípios;  
 Regional Metropolitana Capital: 1 município;  
 Regional Metropolitana ABCD: 7 municípios;  
 Regional Metropolitana Guarulhos: 15 municípios;  
 Regional Metropolitana Osasco: 16 municípios;  
 Aglomeração Urbana de Jundiaí: 8 municípios;

### 10.2.3. Mapeamento de riscos associados a escorregamentos, inundação e erosão

A partir de 2004, o Instituto Geológico (IG-SMA) vem elaborando o mapeamento de áreas de riscos geológicos e hidrológicos dos municípios do Estado de São Paulo. Estes mapeamentos subsidiam ações articuladas pela Coordenadoria de Defesa Civil do Estado de São Paulo (CEDEC), na identificação e gerenciamento das situações de riscos associados a escorregamentos, inundação e erosão, com vistas à minimização e à prevenção de acidentes e danos aos cidadãos moradores dessas áreas críticas.

A metodologia do mapeamento de risco é a adotada nos PMRRs pelo Governo Federal, ou seja, a metodologia apresentada por Cerri (2006) e Cerri *et. al.* (2007).

As Figuras 10.5 e 10.6 apresentam exemplos de municípios onde ocorreram eventos de inundação e erosão, respectivamente, justificando a necessidade do mapeamento de risco.



**Figura 10.5** - Mapeamento de risco associado a inundação no município de Jaboticabal, SP: (a) Setorização e classificação das áreas de risco (IG, 2005); (b) detalhe da ruptura do sistema de águas pluviais ocorrido em 1999, em consequência de evento de inundação (Fonte: Acervo PM Jaboticabal).



**Figura 10.6** - Mapeamento de risco associado a erosão no município de Monte Alto, SP: (a) Setorização e classificação das áreas de risco (IG, 2008); (b) detalhe do evento de erosão ocorrido em 2007 (Fonte: Acervo IG, 2007).



#### 10.2.4. Operação chuvas de verão

A “Operação Chuvas de Verão” é um plano de prevenção a escorregamentos e inundações, implantado pela Prefeitura Municipal de São Paulo e coordenado pela Defesa Civil Municipal (COMDEC). Tem como objetivo realizar ações de caráter preventivo, de socorro, assistencial e recuperativo. Sua operação baseia-se no monitoramento do índice pluviométrico, que é realizado pelo Centro de Gerenciamento de Emergências (CGE), que repassa para a COMDEC.

Os Núcleos de Defesa Civil das comunidades (NUDECs) também auxiliam na prevenção por meio da medição da quantidade de chuvas em pluviômetros instalados em pontos estratégicos nos bairros, que permitem alertar os moradores locais situados nas áreas de risco sobre o perigo de escorregamentos e inundações.

A COMDEC trabalha de forma integrada com a Secretaria Municipal de Coordenação das Subprefeituras, Secretaria Municipal dos Transportes, Secretaria de Infraestrutura Urbana, Secretaria Municipal de Assistência Social e a Secretaria da Habitação e Desenvolvimento Urbano, de forma a operacionalizar as ações de recuperação, socorro e assistência social às vítimas durante as emergências.

A vigência da operação ocorre durante o período de novembro a abril, podendo ser implantado fora desse período, quando necessário (PM São Paulo, 2009).

### 10.2.5. Sistema de alerta a inundações de São Paulo (SAISP)

Consiste na emissão de boletins sobre as precipitações e suas consequências no município de São Paulo, a cada cinco minutos, como medida preventiva para evitar danos sociais e econômicos.

O Sistema de Alerta a Inundações de São Paulo (SAISP) é operado pela Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH).

O monitoramento hidrológico do SAISP é feito pela Rede Telemétrica de Hidrologia do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE) e pelo Radar Meteorológico de São Paulo, de propriedade do DAEE, instalado na Barragem de Ponte Nova situada no município de Biritiba Mirim (SP).

Os principais produtos do SAISP são: a) mapas de chuva observada no radar de Ponte Nova (Figura 10.7); b) leituras telemétricas em postos de localização específica e c) mapas com previsões de inundações no município de São Paulo.

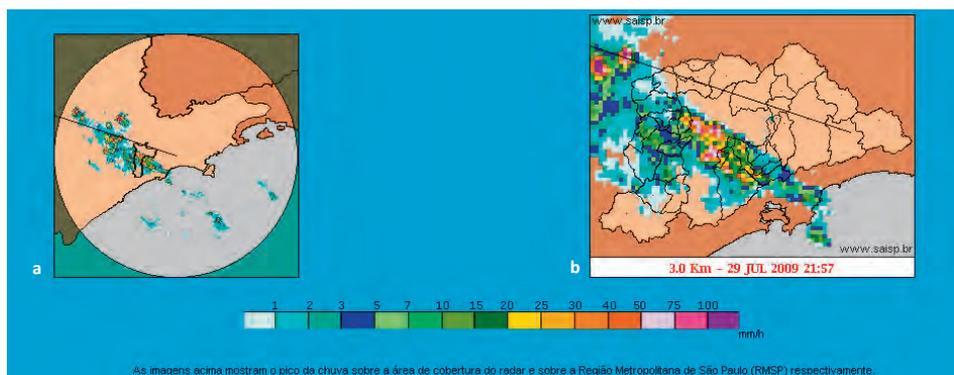
O SAISP possui atualmente em operação três modelos de previsão, sendo um de previsão de chuva e dois de previsão fluviométrica (medição do nível d' água em rios).

A previsão de chuva é feita a cada 30 minutos e o horizonte de previsão cobre três horas à frente. Para isso, são utilizadas imagens de chuva coletadas a cada cinco minutos. Essa previsão é quantitativa, isto é, o modelo prevê para uma região o volume esperado de precipitação nas próximas três horas. A Figura 10.8 apresenta um exemplo de previsão de chuva, mostrando uma sequência de mapas, observados e previstos. Esses dados podem ser visualizados sucessivamente em monitores de computador, possibilitando a animação das imagens.

Os resultados da previsão de chuva são empregados nos modelos de previsão de inundação.

Os dois tipos de modelos de inundação são:

- Modelo de previsão de vazões em rios onde a previsão é feita conhecendo-se a vazão observada num instante anterior e a chuva observada e prevista na bacia. Os resultados são apresentados em forma de tabelas e gráficos;



**Figura 10.7** - Imagens do pico de chuvas sobre: (a) a área de cobertura do Radar de Ponte Nova; (b) Região Metropolitana de São Paulo (fonte: SAISP, 2009).

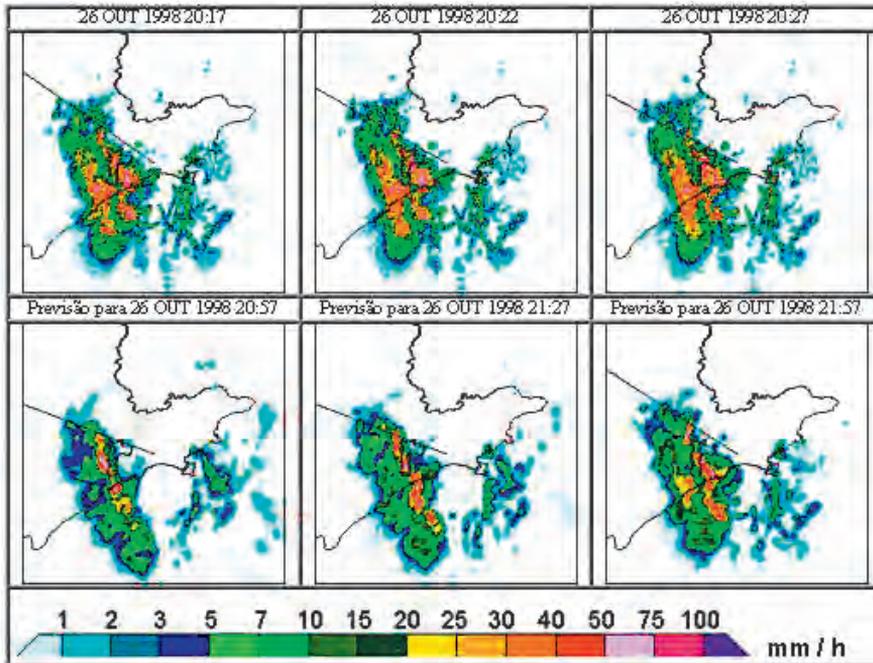


Figura 10.8 - Sequência de mapas de previsão de chuvas (Fonte: Barros, 1999).

- Modelo de estados hidrológicos para áreas urbanas sujeitas a inundações foi desenvolvido para regiões que inundam por deficiência de drenagem local. São pontos que tradicionalmente enfrentam problemas de inundação, de origem as mais diversas, galerias antigas sem capacidade de vazão, insuficiência de bocas de lobo, obras hidráulicas inadequadas, etc. Esse modelo trabalha com uma relação empírica para determinar a possibilidade da ocorrência de inundação, em função das chuvas observadas e previstas. Essas relações foram calculadas com base nas inundações passadas. As previsões são feitas a cada cinco minutos, quando se observam novos mapas de chuva e cobrem um horizonte de três horas a frente. O modelo estabelece para cada região três tipos de estados hidrológicos: **atenção**, **alerta** e **emergência**. O estado de **atenção** indica a possibilidade de extravasamento nas próximas três horas, o estado de **alerta** indica que a inundação é iminente nas próximas três horas e o estado de **emergência** indica que a inundação já está ocorrendo. A Figura 10.9 apresenta o mapa do município de São Paulo e um exemplo de resultado de previsão de inundação. As cores indicam os três estados hidrológicos possíveis.

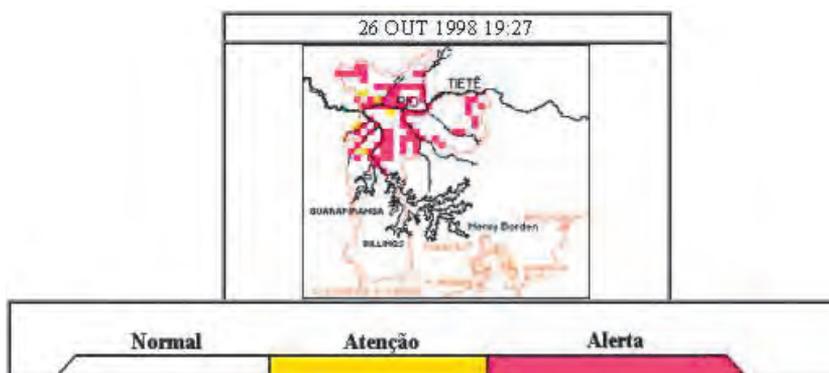


Figura 10.9 - Mapa do município de São Paulo com um exemplo de previsão de inundação (Fonte: Barros, 1999).

### 10.2.6. Plano de contingência às inundações na região do Vale do Ribeira (CONVAR)

Outro exemplo no Estado de São Paulo é o Plano de Contingência às inundações na região do Vale do Ribeira (CONVAR) que visa minimizar os efeitos das cheias nos municípios da região, desenvolvendo ações preventivas e emergenciais. É gerenciado pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) e CEDEC (DAAE, 2009).

Consiste no acompanhamento de rede telemétrica, via satélite, com postos instalados em localidades estratégicas da Bacia do Ribeira de Iguape, permitindo a obtenção de dados pluviométricos e fluviométricos (hidrometeorológicos), definindo assim, as áreas passíveis de inundação.

Foi criado um “Sistema de Alerta contra as cheias”, de forma a acionar a CEDEC e as Comissões Municipais de Defesa Civil (COMDEC’s) visando à implantação de medidas preventivas.

A Figura 10.10 apresenta as situações de risco a inundação e solapamento no Município de Iguape, SP.

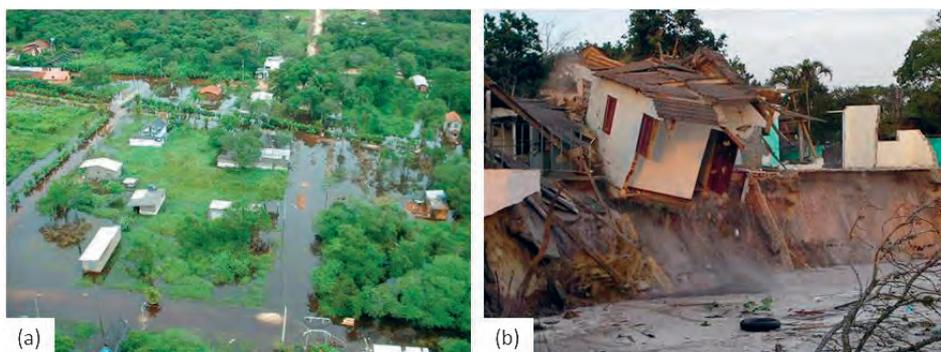


Figura 10.10 - Município de Iguape, SP: (a) Inundação no Bairro Santa Bárbara (Fonte: Ney Ikeda - DAEE), sobrevoo de 29/01/2005); (b) Solapamento de margem no Valo Grande (Fonte: Ney Ikeda - DAEE, 27/07/2006).

### 10.2.7. Outras experiências

- Em Recife (PE), os trabalhos de Gusmão Filho (1995) e Alheiros (1998), auxiliaram a criação do Programa “Viva o Morro” na Região Metropolitana, gerenciado pela Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco (CONDEPE/FIDEM). Este Programa envolve 14 municípios e tem o objetivo de melhorar o gerenciamento de risco através da implantação de medidas estruturais e não estruturais e formas mais participativas de redução de risco (CONDEPE/FIDEM, 2009).
- No Rio de Janeiro, a GEO-RIO (Fundação Instituto Geotécnica) tem se destacado na execução de obras de contenção e no desenvolvimento de trabalhos de gerenciamento de risco (GEO-RIO, 1996; Amaral, 1997; Brandão da Silva & Mendonça, 2006; entre outros), tais como o “Alerta Rio”, Sistema de Alerta de Chuvas Intensas e de Deslizamentos em Encostas da Cidade do Rio de Janeiro. O “Alerta Rio” emite boletins à população (via estações de rádio e televisão) sempre que houver previsão de chuvas intensas que possam gerar inundações em vias públicas e/ou processos associados a escorregamentos nas encostas (PM Rio de Janeiro, 2009).
- O Plano Diretor de Encostas (PDE) em Salvador, criado em 2004 pela Prefeitura com o objetivo de reduzir o risco de escorregamentos através da hierarquização das intervenções (obras) nas encostas (Mattos *et al.*, 2005). O PDE constitui um instrumento de planejamento das ações preventivas na gestão do risco geológico (CODESAL, 2009).
- Em Belo Horizonte (MG), no ano de 1994, após a realização do levantamento das áreas de risco associados a escorregamentos, foi criado o Programa Estrutural em áreas de Risco (PEAR) composto por três planos de ação: PAE – Plano de Atendimento Emergencial, que atua no período chuvoso (outubro a março) por meio do monitoramento das áreas de risco; PMS – Plano de Mobilização Social, que trabalha a sensibilização (percepção) e a orientação dos moradores, de lideranças comunitárias e de membros dos Núcleos de Defesa Civil (NUDEC) para garantir a prevenção de risco e o sucesso das intervenções e obras realizadas; PO – Plano de Obras, que objetiva executar obras de pequeno e médio portes nas áreas de risco geológico. O PEAR é coordenado pela Companhia Urbanizadora de Belo Horizonte (URBEL) e pelas Secretarias de Administração Regional do Município (Ministério das Cidades, 2009).
- O Sistema de Alerta do Vale do Itajaí (SC) foi criado em 1984. Inicialmente estava previsto o atendimento, em termos de previsão de enchentes, em todos os municípios de maior porte banhados pelo Rio Itajaí-Açú, mas com as dificuldades técnicas e as características hidrológicas da bacia, a previsão dos níveis das enchentes se restringiu ao município de Blumenau, SC. Este sistema de alerta foi o primeiro a ser implantado no Brasil e engloba os monitoramentos do tempo e dos níveis das águas do rio Itajaí-Açú; confecções de modelos de previsão hidrológica e cartas de risco a inundação.

O monitoramento das chuvas e dos níveis das águas é realizado através de redes telemétricas (Frank, 2003).

- Cumprindo com uma de suas atribuições: “planejar e promover ações destinadas a prevenir e minimizar os efeitos de inundações”, a Agência Nacional de Águas (ANA), assinou o convênio ANA Nº 0011/2002 com o Estado de Santa Catarina e a Secretaria do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente (SDM), por intermédio da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI). Este convênio possibilitou a ampliação e modernização das estações telemétricas (ANA, 2009).
- A Defesa Civil do Estado de Santa Catarina e o Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres da Universidade Federal de Santa Catarina (CEPED) criaram, em 2003, o Projeto denominado “Plano de Prevenção e Redução de Vulnerabilidade em Desastres” para os municípios do Estado afetados por adversidades climáticas. Tal projeto tem como objetivo não só trabalhar com o diagnóstico Geoambiental das áreas de risco nos municípios afetados pelas adversidades climáticas, mas também com a criação de um plano de prevenção e controle de desastres naturais nestes municípios (Dalmau et. al., 2004). O projeto divide-se em quatro etapas: a) Programa de Capacitação, Treinamento e Informatização das Comissões Municipais de Defesa Civil – COMDECs; b) Programa Catarinense de Gerenciamento de Múltiplas Agências em Acidentes com Produtos Perigosos; c) Diagnóstico Geoambiental das Áreas de Risco nos Municípios de Santa Catarina; e d) Aspectos operacionais do Plano de Prevenção e Controle de Desastres Naturais.
- O Plano de Contingência do município de Vitória (ES) tem como objetivo o atendimento e aperfeiçoamento das situações de risco a desastres ambientais e/ou humanos, associados a processos de escorregamentos e inundações do município. O Plano de Contingência é operado no início da primavera até o final do verão (setembro a março) e está dividido em cinco estados: observação (com pluviosidade de zero a 36 mm); atenção (chuvas esparsas, com pluviosidade de 36 a 86,7 mm); alerta (chuvas contínuas e solo parcialmente saturado) e emergência (chuvas contínuas e concentradas e solo saturado). O plano não especifica a resolução temporal do total pluviométrico (se é horário, diário ou mensal) (PM Vitória, 2009).

### 10.3. Experiência de resposta a desastres naturais no Brasil

#### Sistema de comando em operações (SCO)

O Sistema de Comando em Operações é baseado no *Incident Command System*, criado na década de 70 nos EUA. É uma ferramenta gerencial que visa treinar, planejar, organizar, dirigir e controlar os grupos atuantes nas ações de resposta, ou seja, socorro e assistência às vítimas de um desastre, especialmente quando o auxílio é realizado por

múltiplas agências, jurisdições ou equipes (CEDEC/MG, 2009). Está sendo adotado em vários estados do Brasil, pela Defesa Civil Nacional e por empresas privadas.

Como exemplos de casos em que o SCO foi aplicado no Brasil, podemos citar:

- No rompimento da barragem da Mineração Rio Pomba Cataguases, em Miraiá (MG), em 10 de janeiro de 2007. O desastre provocou o vazamento de cerca de dois bilhões de litros de lama, que atingiram rios, inundaram vários bairros, atingiram Muriaé e Patrocínio do Muriaé, em Minas Gerais e Lajes do Muriaé e Itaperuna, no Estado do Rio de Janeiro. Além de deixar famílias desabrigadas e desalojadas, o incidente também causou danos ambientais. Na ocasião, órgãos federais, estaduais e municipais trabalharam em conjunto e foi necessária a implementação dos princípios do SCO para integrar as equipes de apoio (CEDEC/MG, 2009);

- No terremoto ocorrido na madrugada de 09 de novembro em Caraíbas, distrito de Itacarambi, no Norte do Estado de Minas Gerais. Como consequência do desastre, 76 famílias foram atingidas e uma criança morreu. O SCO foi aplicado pela Coordenadoria Estadual de Defesa Civil (CEDEC/MG) que obteve sucesso na agilidade das respostas às ocorrências (CEDEC/MG, 2009);

- Entre os dias 21 e 23 de novembro de 2008, na região do Vale do Itajaí, em Santa Catarina, choveu em dois dias, aproximadamente 600 mm, aumentando os níveis pluviométricos já acumulados desde o mês de agosto. Em consequência adveio uma situação histórica de desastre, registrando-se inundações generalizadas e um grande número de movimentos gravitacionais de massa. Foram registrados 135 mortes, 02 pessoas desaparecidas e milhares de desabrigados e desalojados, além de elevados prejuízos econômicos (DEDC/SC, 2009). Em função das dimensões do Desastre e dos vários órgãos envolvidos, foi aplicado o SCO como instrumento de resposta ao Desastre.

#### 10.4. Considerações finais

Os planos preventivos e de contingência são instrumentos eficazes, especialmente em áreas urbanas, uma vez que minimizam os danos humanos, materiais e sociais. São responsáveis pela implantação de uma cultura de caráter preventivo em relação aos desastres.

Estes planos têm como consequência principal a redução do número de vítimas fatais, além de resultados positivos como: a estruturação das COMDECs, capacitação das equipes técnicas municipais; maior fiscalização das áreas de risco pelo poder público municipal; controle e recuperação das áreas; conscientização das populações moradoras das áreas de risco por meio de informações, divulgação e da criação de núcleos de Defesa Civil comunitários.

A avaliação do plano (preventivo ou de contingência) ocorre na fase pós-operação e tem como finalidade realizar o balanço do período por meio do levantamento e organização dos dados (registros pluviométricos, números de ocorrências, de vítimas, interdições, remoções) e da apresentação dos problemas ocorridos durante a operação do plano. Nesta fase ocorre o aprimoramento técnico e operacional para ser aplicado no próximo período de implantação. Dessa forma a operacionalização do plano é constantemente avaliada e aprimorada.

Alguns aspectos quanto a necessidade de aprimoramentos na operação dos planos merecem destaque. São eles:

- Ampliação e melhoria na aquisição dos dados pluviométricos e fluviométricos (quando se tratar de monitoramento de níveis críticos de cheias);
- Criação e preparação de equipes técnicas municipais com formação adequada, com cargo e função com caráter permanente;
- Desenvolvimento de pesquisas voltadas ao estabelecimento e/ou revisão dos critérios técnicos operacionais.

O Plano Municipal de Redução de Riscos, criado pelo governo federal, é um instrumento importante para a elaboração de políticas de gerenciamento de risco, as quais devem estar articuladas aos programas habitacionais de interesse social, urbanização e regularização de assentamentos precários e com o Sistema Nacional de Defesa Civil. Entretanto, existe a necessidade de uma abrangência maior deste Plano nos municípios que apresentam ocupações em áreas de riscos no Brasil.

### **Bibliografia recomendada**

- CARVALHO, C. S. e GALVÃO, T. (orgs.). 2006. Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais. Brasília: Ministério das Cidades; Cities Alliance.
- FRANK, B. e PINHEIRO, A. (Orgs.). 2003. Enchentes na bacia do Itajaí: 20 anos de experiências. 1. ed. Blumenau: Editora da FURB.
- GEO-RIO. 1996. 30 anos de alta tecnologia em contenção de encostas. Rio de Janeiro: Fundação Instituto de Geotécnica. 50 p.
- GUSMÃO FILHO, J. A. 1995. A experiência em encostas ocupadas do Recife: integração técnica, institucional e comunitária. Revista do Instituto Geológico, São Paulo, volume especial, p.9-22.
- LAVELL, A. 2003. La gestión local del riesgo: nociones y precisiones en torno al concepto y la práctica. Guatemala: CEPREDENAC/PNUD, 2003. 101 p.
- VEYRET, Y (org.). 2007. Os Riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente. São Paulo: Contexto, 2007. 320 p.

# Referências

**Legenda das fotos do verso das capas dos capítulos:**

Capítulo 1 - Morro do Baú, município de Luis Alves, SC, 2008. Fonte: Acervo IG.

Capítulo 2 - Escorregamento em Osasco, 2006. Fonte: Acervo IG.

Capítulo 3 - Inundação em Ribeira de Iguape, SP, 2005. Fonte: Ney Ikeda (DAEE).

Capítulo 4 - Boçoroca em Mirassol, SP, 2008. Fonte: Acervo IG.

Capítulo 5 - Erosão costeira em Caraguatatuba (Praia de Massaguaçu), SP. Fonte: Acervo IG.

Capítulo 6 - Colapso de solos em Dracena, SP, 2009. Fonte: Acervo IG.

Capítulo 7 - Carste com cobertura de solo em Ribeirão Grande, SP, 2005. Fonte: William Sallun Filho (IG).

Capítulo 8 - Temporal em Camboriú, SC, 2008. Fonte: Acervo IG.

Capítulo 9 - Área de risco a escorregamentos em Santo André, SP, 2008. Fonte: Acervo IG.

Capítulo 10 - Área de risco em São Sebastião, SP, 2005. Fonte: Acervo IG.

Foto da página 8 - Escorregamentos em Blumenau, SC, 2008. Fonte: Acervo IG.

- ALCÁNTARA – AYALA, I. 2002. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. *Geomorphology* 47 (2002) p. 107-124.
- ALHEIROS, M. M. 1998. Riscos de escorregamentos na Região Metropolitana do Recife. Tese de Doutorado – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador 129 p.
- ALHEIROS, M. M. 2006. Plano Municipal de Redução de Risco In: BRASIL. CARVALHO, C. S. e GALVÃO, T. (orgs.). *Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais*. Brasília: Ministério das Cidades; Cities Alliance, 2006, p. 58-75.
- ALONSO, U.R. 1998. *Previsão e controle das fundações*. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda., 142p.
- AMARAL, C.; XAVIER, E.; SIQUEIRA, J.M.;.1997. Instrumentos técnico-científicos para o gerenciamento do risco a escorregamentos no Rio de Janeiro. In: Simpósio de Geologia do Sudeste, 5, 1997, Penedo-Itatiaia. Atas...Rio de Janeiro: SBG-ABGE, 1997. p. 270-72.
- ANA – Agência Nacional de Águas. 2009. Sistema de alerta contra enchentes na bacia do rio Itajaí. Disponível em: [http://www.ana.gov.br/gestaorechidricos/UsosMultiplos/arqs/Alerta\\_Itajaís.pdf](http://www.ana.gov.br/gestaorechidricos/UsosMultiplos/arqs/Alerta_Itajaís.pdf). Acesso em: Agosto de 2009.
- ARTE DE PRODUZIR ÁGUA. 2009. Disponível em: <http://www.artedeproduziragua.com.br/6.htm>. Acesso em 10/09/2009.
- ASTOLPHO, F. et al. Probabilidade de ocorrência de geadas no Estado de São Paulo. *O Agrônomo*. 2004. vol. 56. n.1, pp.10-11, ISSN 0365-2726 10.
- AUGUSTO FILHO, O. 1992. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, 1, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: ABMS/ABGE/PUCRJ, 1992, v.2, p.721-733.
- AUGUSTO FILHO, O. 1994. Cartas de Risco de Escorregamentos: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilhabela, SP. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil - Escola Politécnica – Universidade de São Paulo. São Paulo, 167p.
- AUGUSTO FILHO, O. 2001. Carta de risco de escorregamentos quantificada em ambiente de SIG como subsídio para planos de seguro em áreas urbanas: um ensaio em Caraguatatuba, SP. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE/UNESP), Rio Claro, 2001. 196p.
- AUGUSTO FILHO, O. ; VIRGILI, J.C. 1998. Estabilidade de Taludes. In: BRITO, S.N.A., OLIVEIRA, A.M.S (Ed.). *Geologia de Engenharia*. 1.ed. São Paulo: ABGE. Cap.15, p.243-69.
- AYOADE, J. O. 1991. *Introdução à climatologia para os trópicos*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 332 p.
- AYRES, Q. C. 1976. *Soil erosion and its control*. New York, MAGraw Hill Co. Inc.
- BARROS, M. T. L.; 1999. Sistema de Alerta a inundações da Região Leste do Estado de São Paulo. *Revista Água e Energia*. Edição abril de 1999. São Paulo: DAEE, abril de 1999. Disponível em: <http://www.dae.sp.gov.br>
- BERTONI, J. ; LOMBARDI NETO, F. 1990. *Conservação do solo*. São Paulo: Ícone. 355p.
- BIRD, E.C.F. 1999. *Beach Management*. John Wiley & Sons Inc., New York. 292p.
- BIZZI, L.A., SCHOBENHAUS, C., GONÇALVES, J.H., BAARS, F.J., DELGADO, I. M., ABRAM, M.B., LEÃO NETO, R., MATOS, G.M.M., SANTOS, J.O.S. 2001. *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: Sistema de Informações Geográficas – SIG e mapas na escala 1: 2.500.000*. Brasília, CPRM, 4 CD-ROM.
- BLAIR, T.A. *Meteorologia*. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1964. 406p.
- BOTELHO, R. G. M.; GUERRA, A. J. T. 2003. Erosão dos solos. In: CUNHA, S. B. da; GUERRA, A. J. T. *Geomorfologia do Brasil*. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 181-220.
- BRANDÃO DA SILVA, L. J. R. O.; MENDONÇA, J. A. F. de. 2006. Plano Municipal de Redução de Risco da cidade do Rio de Janeiro: uma abordagem através do IQR – Índice Quantitativo de Risco. In: Seminário Nacional de Controle de Riscos em Assentamentos Precários nas Encostas Urbanas, 2, Ministério das Cidades e Cities Alliance Belo Horizonte (MG), 2006. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/index.php>.

- BRASÍLIA. 2007. Política Nacional de Defesa Civil – Ministério da Integração Nacional. Disponível em: <http://www.defesacivil.gov.br/publicacoes>.
- BRAUN, W. A. G. 1961. Contribuição ao estudo da erosão no Brasil e seu controle. Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro, (4), p. 3 – 54.
- BROLLO, M. J. & FERREIRA, C. J. 2009. Indicadores de Desastres Naturais no Estado de São Paulo. In: Simpósio de Geologia do Sudeste, 11º. Anais do XI Simpósio de Geologia do Sudeste, São Pedro, SP. 2009. p.125.
- BROLLO, M. J. & FERREIRA, C. J.; TOMINAGA, L.K. 2015. **Gestão de Riscos de Desastres no Estado de São Paulo: cenário de 2014**. Trabalho produzido para São Paulo (Estado). Secretaria do Meio Ambiente / Coordenadoria de Planejamento Ambiental. 2015. **Meio Ambiente Paulista: Relatório de Qualidade Ambiental 2015**. São Paulo: SMA/CPLA. Disponível em: [www.ambiente.sp.gov.br](http://www.ambiente.sp.gov.br)
- BRUUN, p. & Schwartz, m. l. 1985. Analytical predictions of beach profile change in response to a sea level rise. Zeitschrift für Gemorphologie N.F., Supplement-Band, 57: 33-50.
- CAMARGO, R. A Zona de Convergência do Atlântico Sul. In: Tópicos de Ensino – Meteorologia Sinótica. São Paulo: Master/IAG/USP, 2004. Disponível em: <http://www.master.iag.usp.br/ensino/Sinotica/AULA14/AULA14.HTML>.
- CARDONA, O.D. 1996. El manejo de riesgos y los preparativos para desastres: compromiso institucional para mejorar la calidad de vida. In: MASKREY, A. (Ed.) Desastres: modelo para armar. Colección de piezas de un rompecabezas social. 1996, cap.9. Disponível em: <http://www.lared.org.pe/Publicaciones>.
- CARVALHO, C. S. e GALVÃO, T. 2006. Ação de Apoio à Prevenção e Erradicação de Riscos em Assentamentos Precários. In: BRASIL. CARVALHO, C. S. e GALVÃO, T. (orgs.). Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais. Brasília: Ministério das Cidades; Cities Alliance, 2006, p. 10-17.
- CARVALHO, J.R.P. e ASSAD, E.D. 2005. Análise espacial da precipitação pluviométrica no Estado de São Paulo: comparação de métodos de interpolação. Eng. Agríc. [online]. 2005, vol.25, n.2, pp. 377-384. ISSN 0100-6916.
- CASTRO, A. L. C. 1998. Glossário de defesa civil: estudo de riscos e medicina de desastres. Brasília: MPO/ Departamento de Defesa Civil. 283 p.
- CASTRO, A. L. C. 1999. Manual de planejamento em defesa civil. Vol.1. Brasília: Ministério da Integração Nacional/ Departamento de Defesa Civil. 133 p.
- CASTRO, A.L.C. 2003. Manual de desastres. Brasília: Ministério da Integração Nacional; Secretaria Nacional de Defesa Civil. V.1. 174p.
- CASTRO, A.L.C. 2008. Glossário de defesa civil estudos de riscos e medicina de desastres. Brasília, Ministério da integração nacional, Secretaria nacional de defesa civil, 173 p.
- CEDEC (Coordenadoria Estadual de Defesa Civil) – Casa Militar – Governo do Estado de São Paulo – Banco de Dados de Atendimentos – Período 2000 a 2014. Não Publicado. Acesso em: Fevereiro de 2015.
- CEDEC (Coordenadoria Estadual de Defesa Civil) – Casa Militar – Governo do Estado de São Paulo 2009. Municípios que decretaram Situação de Emergência ou Calamidade Pública em 2009 (até julho de 2009). Disponível em: <http://www.defesacivil.sp.gov.br/novo/documentos/homol130709.xls>. Acesso em: agosto de 2009.
- CEDEC/MG – Defesa Civil de Minas Gerais. 2009. Disponível em: <http://www.defesacivil.mg.gov.br> . Acesso em: Agosto de 2009.
- CEIVAP – Comitê para Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. 2002. Diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos. Rio de Janeiro: Fundação Coppetec/UFRJ/Agência Nacional das Águas (ANA). 8v.
- CEPAGRI. Vendavais. Campinas: CEPAGRI/UNICAMP, 2009. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/artigos-especiais/vendavais.html>.

- CERRI, L. E. S. & AMARAL, C. P. 1998. Riscos Geológicos. In: BRITO, S. N. A.; OLIVEIRA, A. M. S. Geologia de Engenharia. ABGE, São Paulo, 1998. p. 301-310.
- CERRI, L. E. S. 1993. Riscos geológicos associados a escorregamentos: uma proposta para prevenção de acidentes. Tese de Doutorado em Geociências e Meio Ambiente - Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP, Rio Claro. 197p.
- CERRI, L. E. S. 2006. Mapeamento de Riscos nos municípios. In: BRASIL. CARVALHO, C. S. e GALVÃO, T. (orgs.). Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais. Brasília: Ministério das Cidades; Cities Alliance, 2006, p. 48-55.
- CERRI, L.E.S.; BARBOSA, M.N.L. 1990. Os escorregamentos como riscos geológicos no Brasil: aspectos legais . In: Simpósio Latino-Americano sobre Risco Geológico Urbano, 1, 1990, São Paulo. Anais... São Paulo: ABGE, 1990, p.448-56.
- CERRI, L.E.S.; CARVALHO, C.S. 1990. Hierarquização de situações de risco em favelas do município de São Paulo, Brasil - critérios e metodologia. In: Simpósio Latino-Americano sobre Risco Geológico Urbano, 1, 1990, São Paulo. Anais... São Paulo: ABGE, 1990, p.150-57.
- CERRI, L. E. S.; NOGUEIRA, F. R.; CARVALHO, C. S.; MACEDO, E. S.; AUGUSTO FILHO, O. 2007. Mapeamento de risco em assentamentos precários do Município de São Paulo. Geociências, Rio Claro, SP, p. 143 - 150, 01 jun. 2007.
- CINTRA, J.C.A. 1995. Fundações em solos colapsíveis, Texto de Livre-Docência, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 124p.
- CINTRA, J.C.A. 1998. Fundações em solos colapsíveis, José Carlos A. Cintra, São Carlos: Serviço Gráfico da EESC/USP, 116p.
- CLARK, R.R. 1993. Beach conditions in Florida: a statewide inventory and identification of the beach erosion problem areas in Florida. Florida Department of Environmental Protection. Beaches and Shores Technical and Design Memorandum, 89-1 (5th ed.), 202 p.
- CODESAL – Defesa Civil de Salvador. 2009. Plano Diretor de Encostas. Disponível em: <http://www.defesacivil.salvador.ba.gov.br>. Acesso em: Agosto de 2009.
- CONDEPE/FIDEM – Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco. 2009. Programa Viva o Morro. Disponível em: <http://www2.condepefidem.pe.gov.br/>. Acesso em: Agosto de 2009.
- COOKE, R.U.; DOORNKAMP, J.C. 1990. Geomorphology in environmental management: a new introduction. 2ªed. New York: Claredon Press, 1990.
- COOPER, M. 2009. Erosão em áreas de cerrado. In: Encontro sobre pesquisa em Cerrado no Estado de São Paulo, 1. Itirapina, 2009. Anais em CD Rom.
- CPRM - CIA. DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. 2006. Geologia e Recursos Minerais do Estado de São Paulo: Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Brasília: Ministério das minas e energia, Programa Geologia do Brasil: Integração, Atualização e Difusão de Dados da Geologia do Brasil, Mapas Geológicos Estaduais escala 1:750000, CD-ROM, 2006.
- CUNHA, S. B. da; GUERRA, A. J. T. 2000. Degradação Ambiental. In: GUERRA, A. J. T & CUNHA, S. B. da. Geomorfologia e Meio Ambiente. 3. ed. 2000. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 181-220.
- DAAE – Departamento de Águas e Energia Elétrica. 2009. A modernização do sistema de alerta no Vale do Ribeira através da telemetria via satélite. Disponível em: <http://www.daae.sp.gov.br>. Acesso em: Agosto de 2009.
- DALMAU, M.; TANI, V. Z.; LEITE, I. P.; VALENTE, A. M. 2004. Contribuições do CEPED/UFSC e da Defesa Civil/SC na prevenção e redução de desastres: o caso do curso de capacitação a distância para o CODESUL. In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, 1. Anais... Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004. p. 920-931. (CD-ROM)
- DEDC/SC – Defesa Civil de Santa Catarina. 2009. Disponível em: <http://www.desastre.sc.gov.br>. Acesso em 08/2009.

- DEMILLO, R. 1998. Como funciona o clima. São Paulo: Quark Books, 1998. 226p.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. 1990. Plano Estadual de Recursos Hídricos: primeiro plano do Estado de São Paulo. São Paulo, DAEE. Disponível em <http://www.sigrh.sp.gov.br/sigrh>. Acesso em 26/08/2009.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. 1989. Controle de erosão: bases conceituais e técnicas; diretrizes para o planejamento urbano e regional; orientações para o controle de boçorocas urbanas. 2ª ed. São Paulo: DAEE/IPT. 92 p.il.
- EINSTEIN, H.H. 1988. Landslides risk assessment procedure. In: International Symposium on Landslides, 5, Lausanne, 1988. Vol. 2. p. 1075-1090.
- EM-DAT Emergency Database. OFDA/CRED – The Office of US Foreign Disaster Assistance/ Centre for Research on the Epidemiology of Disasters – Université Catholique de Louvain, Brussels, Belgium. Disponível em: <http://www.emdat.be/> Database. Acesso em julho de 2009.
- EPA – Environmental protection agency .2002. A lexicon of cave and karst terminology with special reference to environmental karst hydrology. Washinton (EUA), 214 p. Disponível em: [http://oaspub.epa.gov/eims/eimscomm.getfile?p\\_download\\_id=36359](http://oaspub.epa.gov/eims/eimscomm.getfile?p_download_id=36359).
- FERNANDES, M. C.; LAGÜENS, J. V. M.; COELHO NETTO, A. L. 1999. O processo de ocupação por favelas e sua relação com os eventos de escorregamentos no maciço da Tijuca/RJ. In: GEOVEG '99, IGU-GERTEC Meeting – Geomorphic responses to vegetation changes: problems and remedial works. Proceedings. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, 1999. 12 p.
- FERNANDES, N. F. & AMARAL, C. P. 1996. Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (org) Geomorfologia e Meio Ambiente. Bertrand, Rio de Janeiro. p. 123-194.
- FERNANDES, N. F.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; VIEIRA, B. C.; MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H. 2001. Condicionantes geomorfológicos dos deslizamentos nas encostas: avaliação de metodologias e aplicação de modelo de previsão de áreas susceptíveis. Revista brasileira de Geomorfologia, UGB, 2001. Vol. 2, Nº 1. p 51-71.
- FERREIRA, A.G. 2006. Meteorologia prática. São Paulo: Oficina de textos. 188p.
- FERREIRA, C.J. (coordenador). 2008. Diretrizes para a regeneração sócio-ambiental de áreas degradadas por mineração de saibro (caixas de empréstimo), Ubatuba, SP. Relatório final, 4. Processo FAPESP 03/07182-5.
- FERREIRA, M. D. & PEJON, O. J. 2004. Elaboração do mapa de materiais inconsolidados em áreas degradadas por processos erosivos: Bacia do Córrego do Tucum São Pedro (SP). In: PEJON, O. J. & ZUQUETTE, L. V.(Ed.). Cartografia Geotécnica e Geoambiental: conhecimento do meio físico: base para a sustentabilidade. São Carlos.
- FERREIRA, R.C., MONTEIRO, L.B., PERES, J.E.E., BENVENUTO, C. 1989. Some aspects on the behaviour of brasilian collapsible soils, XII International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engeneering, Rio de Janeiro, vol. suppl., p. 117-120.
- FORD, D. 2004. Karst. In: GUNN, J. (ed.) Encyclopedia of Caves and Karst Science, New York: Taylor and Francis Books, p. 1017-1019.
- FORSDYKE, A.G. 1969. Previsão do tempo e clima. São Paulo: Melhoramentos. 159p.
- FRANK, B. 2003. Uma história das enchentes e seus ensinamentos. In: FRANK, B. e PINHEIRO, A. (Orgs.). Enchentes na bacia do Itajaí: 20 anos de experiências. 1. ed. Blumenau: Editora da FURB, 2003, p.15-75.
- FREIRE, E. S. M. 1965. Movimentos coletivos de solos e rochas e sua moderna sistemática. Construção, Rio de Janeiro, n. 8, p. 10-18.
- GARES, P.A.; SHERMAN, D.J. & NORDSTROM, K.F. 1994. Geomorphology and natural hazards. Geomorphology, 10 (1-4): 1-18.

- GEO-RIO. 1996. 30 anos de alta tecnologia em contenção de encostas. Rio de Janeiro:Fundação Instituto de Geotécnica. 50 p.
- GIACHETTI, H.L., FERREIRA, C.V., LOBO, A.S., MARQUES, M.E.M. 2000. A Condutividade Hidráulica de um Solo Arenoso determinada a partir de Ensaios de Campo e de Laboratório, XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, Porto Alegre, RS, p. 01-08.
- GONÇALVES, G.; BORGES, D. 2007. Hidrologia Urbana. In: APMG - Associação Portuguesa de Meteorologia e Geofísica, 8p.
- GUIDICINI, G. & NIEBLE, C. M. 1984. Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação. São Paulo: 2a ed. Edgard Blücher, 194p.
- GUIDICINI, G. e IWASA, O.Y. Ensaio de correlação entre pluviosidade e escorregamentos em meio tropical úmido. São Paulo: IPT, 1972. 48p.
- GUSMÃO FILHO, J. A. 1995. A experiência em encostas ocupadas do Recife: integração técnica, institucional e comunitária. Revista do Instituto Geológico, São Paulo, volume especial, p.9-22.
- GUZZETTI, F.; CARRARA, A.; CARDINALI, M.; REICHENBACH, P. 1999. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology*, 31: 181-216.
- HACHICH, W. 1997. Notas de aula. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Geotécnica, Departamento de Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, POLI/USP, 26p.
- HANSEN, M. A. F.; SAUSEN, T. M.; SOUSA JÚNIOR, M. A.; SAITO, S. M.; FERREIRA, C. C. 2008. Terremoto atinge Estados do Sudeste e Sul do Brasil, no dia 22 de Abril de 2008. Publicação Didática 001 – Abril de 2008 9p. (INPE-15397-PUD/202). INPE, São José dos Campos. Disponível em: <http://www.inpe.br/crs/geodesastres/newsletters.php>.
- IKEDA, N. A. & BERTAGNOLI, R. R. 2000. A modernização do sistema de alerta no vale do Ribeira através da telemetria via satélite. *Revista Água e Energia*, fevereiro /2000. 6p. Disponível em: <http://www.daee.sp.gov.br/cgi-bin/Carrega.exe?arq=/acervoepesquisa/relatorios/revista/raee0002/riguape.htm>. Acesso em: agosto de 2009.
- INFANTI JR., N.; FORNASARI FILHO, N. 1998. Processos da Dinâmica Superficial. In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. (eds) *Geologia de Engenharia*. São Paulo: ABGE, 1998. p. 131-152.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. 1986. Orientações para o combate à erosão no Estado de São Paulo, Bacia do Peixe – Paranapanema. São Paulo. 6 V. (IPT. Relatório, 24 739). (CP; ME).
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. 1997. Orientações para o combate à erosão no Estado de São Paulo - Síntese. São Paulo: IPT, Relatório 36071.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS–IPT. 2009. Banco de dados de mortes por escorregamentos no Brasil. Banco de Dados Digital. São Paulo: IPT, 2009.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS-IPT/MINISTÉRIO DAS CIDADES. 2004. Identificação, Análise e Mapeamento de Áreas de Risco de Escorregamentos. Apostila de curso, Aula 3.
- INSTITUTO GEOLÓGICO - IG. 2005. Mapeamento de Áreas de Riscos Associados a Inundações no Município de Jaboticabal (Termo de Cooperação Técnica IG-CEDEC de 28/04/2005). São Paulo, 2005. Relatório Técnico.
- INSTITUTO GEOLÓGICO - IG. 2006. Mapeamento de Áreas de Riscos Associados a Escorregamentos e Inundações do Município de Cotia (Termo de Cooperação Técnica IG-CEDEC de 28/04/2006). São Paulo, 2006. Relatório Técnico. 38 p.
- INSTITUTO GEOLÓGICO - IG. 2006. Mapeamento de Áreas de Riscos Associados a Escorregamentos e Inundações no Município de Poá (Termo de Cooperação Técnica IG-CEDEC de 28/04/2006). São Paulo, 2006. Relatório Técnico. 38 p.

- INSTITUTO GEOLÓGICO – IG. 2008. Mapeamento de Áreas de Riscos Associados à Erosão do Município de Monte Alto (Termo de Cooperação Técnica IG-CEDEC de 01/11/2007). São Paulo, 2008. Relatório Técnico.
- INSTITUTO GEOLÓGICO – IG. 2008. Mapeamento das áreas de risco a escorregamentos e inundações no município de São Luiz do Paraitinga. (Termo de Cooperação Técnica IG-CEDEC de 01/11/2007). São Paulo, 2008. Relatório Técnico. Vol.1.
- IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. 2007. Climate Changes: The Physical Science Basis. Summary of Policymakers. (<http://www.ipcc.ch>).
- JENNINGS, J.N. 1971. Karst – An introduction to systematic geomorphology. Austrália: MIT Press, 252 p.
- KARMANN, I.; SALLUN FILHO, W. 2007. Paisagens subterrâneas do Brasil. *Ciência Hoje*, v. 40, p. 18-25.
- KOBIYAMA, M.; CHECCHIA, T.; SILVA, R.V.; SCHRÖDER, P.H.; GRANDO, A.; REGINATTO, G.M.P. 2004. Papel da comunidade e da universidade no gerenciamento de desastres naturais. In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, 1, 2004, Florianópolis. Anais... Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004, p.834-846. (CD-ROM).
- KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D.A.; MARCELINO, I.P.V.O.; MARCELINO, E.V.; GONÇALVES, E.F.; BRAZETTI, L.L.P.; GOERL, R.F.; MOLLERI, G.S.F.; RUDORFF, F.M. 2006. Prevenção de Desastres Naturais: Conceitos Básicos. Curitiba: Ed. Organic Trading. 109 p. Disponível em: <http://www.labhidro.ufsc.br/publicacoes.html>.
- LAVELL, A. 2003. La gestión local del riesgo: nociones y precisiones en torno al concepto y la práctica. Guatemala: CEPREDENAC/PNUD, 2003. 101 p. LOPES, E. S. S. 2006. Modelagem espacial dinâmica em Sistema de Informação Geográfica – uma aplicação ao estudo de movimentos de massa em uma região da Serra do Mar paulista. Tese de Doutorado em Geociências e Meio Ambiente. Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP (IGCE/UNESP), Rio Claro, 2006. 314p.
- LORANDI, R.; TAKEMOTO, F.; SALVADOR, N. N. B.; TORRESAN, F. E. 2001. Carta de potencial à erosão laminar da parte superior da bacia do córrego do Monjolinho, São Carlos, SP. *Revista Brasileira de Cartografia*, no 53. p. 111 – 117.
- MACEDO, E. S.; OGURA, A. T.; SANTORO, J. 1999. Defesa Civil e Escorregamentos: o Plano Preventivo do Litoral Paulista. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 9, São Pedro, 1999. Anais (em CD-ROM). ABGE, São Paulo.
- MACEDO, E. S.; SANTORO, J.; ARAUJO, R. E. 2004. Plano Preventivo de Defesa Civil (PPDC) para deslizamentos, estado de São Paulo, Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, 2004, Florianópolis. Anais do Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais. Florianópolis : Grupo de Estudos de Desastres Naturais - GEDN/UFSC. v. 1. 2004.
- MACEDO, E. S.; SANTORO, J.; CERRI, L. E. S.; OGURA, A. T. 2002. Plano Preventivo de Defesa Civil (PPDC) para escorregamentos no trecho paulista da Serra do Mar, SP. In: Santos, A. R.. (Org.). *Geologia de Engenharia: conceitos, método e prática*. 1 ed. São Paulo, 2002, v. 1, p. 42-46.
- MACEDO, E. S.; OGURA, A. T.; SANTORO, J. 2006. O que é um Plano de Contingência ou Preventivo de Defesa Civil. In: BRASIL. CARVALHO, C. S. e GALVÃO, T. (orgs.). *Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais*. Brasília: Ministério das Cidades; Cities Alliance, 2006, p. 78-91.
- MAFFRA, C.Q.T. & MAZZOLA, N. 2007. As razões dos desastres em território brasileiro. In: SANTOS, R. F. dos (org.) *Vulnerabilidade Ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos?* Brasília: MMA, 2007. 192p.
- MARCELINO, E. V. 2007. Desastres Naturais e Geotecnologias: Conceitos básicos. Santa Maria: CRS/INPE. 20p. (publicação interna). Disponível em: <http://www.inpe.br/crs/geodesastres/publicacoes.php>.
- MARCELINO, E. V. 2008. Desastres Naturais e Geotecnologias: Conceitos Básicos. Caderno Didático nº 1. INPE/CRS, Santa Maria, 2008

- MARCELINO, E. V.; NUNES, L. H.; KOBAYAMA, M. 2006. Banco de dados de desastres naturais: análise de dados globais e regionais. Uberlândia: Caminhos de Geografia. Outubro de 2006. Vol. 6, Nº 19. p 130 -149.
- FARIA, D.G.M.; FERREIRA, C.J.; ROSSINI-PENTEADO, D.; FERNANDES DA-SILVA, P.C.; CRIPPS J.C. 2005. Mapeamento de áreas de risco a escorregamentos e inundações em áreas habitacionais de Diadema (SP). In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 11, Florianópolis. Anais..., ABGE, São Paulo, 2005. Anais (ISBN 85-7270-017-X)... ABGE, CD-ROM: p. 892-907.
- MASSELINK, G. & SHORT, A.D. 1993. The effect of the tide range on beach morphodynamics and morphology: a conceptual beach model. *Journal of Coastal Research*, 9(3): 785-800.
- MATTOS, E. F. O.; CERQUEIRA NETO, J. X.; SILVA, F. R.; GOMES, R. L.; OLIVEIRA, S.M. 2005. Critérios de hierarquização de intervenções em áreas de risco definidas pelo Plano Diretor de Encostas do Município de Salvador. In: CONF.BRAS. SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 4, Salvador (BA), 2005. Anais... ABMS, CD-ROM: p. 3-15.
- MENDES, R.M. 2001. Mapeamento geotécnico da área central urbana de São José do Rio Preto (SP) na escala 1:10.000 como subsídio ao planejamento urbano. (Dissertação de Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, 2 Vol, 245p.
- MENDES, R.M., FARIA, D.G.M., SANTORO, J. 2009. Riscos Geológicos Urbanos: Análise de Processos Erosivos e de Colapso de solos no Oeste do Estado de São Paulo. In: V Seminário de Engenharia Geotécnica do Rio Grande do Sul, ABMS, Pelotas, pp. 1-12.
- MENDES, R. M., LORANDI, R. 2002. Engineering Geology Mapping of the urban center area of São José do Rio Preto (Brazil) as an aid to urban planning.. In: Congress of the International Association for Engineering Geology and Environment, 9th, Durban. Proceedings, South Africa, 2002. v. 1. p. 636-645.
- MENDES, R. M., LORANDI, R. 2004a. Análise espacial do maciço de solos de São José do Rio Preto (Brasil) para implantação de fundações profundas. In: 9º Congresso Nacional de Geotecnia, Aveiro (Portugal). Prospecção e Caracterização de Maciços e Materiais Geotécnicos. Aveiro : Universidade de Aveiro - Campus Universitário de Santiago, 2004. v. 2. p. 53-64.
- MENDES, R.M., LORANDI, R. 2004b. Emprego da cartografia digital para mapear o potencial de colapso do maciço de solos de São José do Rio Preto (SP). In: 5º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, São Carlos-SP. SIG aplicado a Cartografia Geotécnica e Geoambiental. São Carlos-SP: Suprema Gráfica, 2004. v. único, p. 485-491.
- MENDES, R. M., LORANDI, R. 2006. Indicative kriging geostatistical methodology applied to geotechnics project planning. In: IAEG2006 - Engineering geology for tomorrow's cities, 2006, Nottingham. 10th International Association Engineering Geology Congress, 2006
- MENDES, R.M., LORANDI, R. 2008. Analysis of spatial variability of SPT penetration resistance in collapsible soils considering water table depth. *Engineering Geology*, v. 101, pp. 218-225.
- MENDONÇA, F.A. e DANNI-OLIVEIRA, I.M. 2007. Climatologia: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos. 206p.
- MESQUITA, A.R. 2003. Sea-level variations along the Brazilian coast: a short review. *Journal of Coastal Research*, SI35:21-31. Disponível em: <http://www.mares.io.usp.br/praias/praias.html>.
- MILITITSKY, J., CONSOLI, N.C., SCHNAID, F. 2008. Patologia das fundações - São Paulo: Oficina de Textos, 1ª Edição, 208p.
- MINISTÉRIO DAS CIDADES / INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT – Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios. Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007. 176 p.
- MINISTÉRIO DAS CIDADES. 2009. Gestão do risco geológico em Belo Horizonte/MG. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/secretarias-nacionais/programas-urbanos/biblioteca>. Acesso em: Agosto de 2009.

- MODAELLI, S. D. O., SABBAG, E. G., PRANDI E. C., FELIX, U. T., CARNESSECA, L. F. 2009. Controle das erosões urbanas no Estado de São Paulo. In: Anais do 8º Simpósio Nacional de Controle de Erosão, CD-ROM, São Paulo.
- MONTEIRO, C.A.F.1973. A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo. Atlas. São Paulo: Instituto de Geografia/USP. 129p.
- MOTA, F. S.1983. Meteorologia agrícola. São Paulo: Nobel. 376p.
- MUEHE, D. (org.). 2006. Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro. Brasília, Ministério do Meio Ambiente. 475p.
- NAKAZAWA, V. A. & CERRI, L. E. S. 1990. Os escorregamentos ocorridos em Petrópolis, RJ, em fevereiro de 1988: ações emergenciais. In: Simpósio Latino-Americano sobre Risco Geológico Urbano, 1, São Paulo, 1990. Anais... ABGE, São Paulo. p. 325-333.
- NIMER, E. 1989. Climatologia do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE. 421p.
- NOGUEIRA, F.R. 2002. Políticas públicas municipais para gerenciamento de riscos ambientais associados a escorregamentos em áreas de ocupação subnormal. Tese de Doutorado em Geociências e Meio Ambiente. Universidade Estadual Paulista – UNESP. Rio Claro. 256p.
- NUNES, A. J. C. et al. 1990. Contribuição ao conhecimento do risco geológico da cidade de Petrópolis, RJ. In: Simpósio Latino-Americano sobre Risco Geológico Urbano, 1, São Paulo, 1990. Anais... ABGE, São Paulo. p. 102-114.
- OFDA/CRED – The Office of US Foreign Disaster Assistance/Centre for Research on the Epidemiology of Disasters – Université Catholique de Louvain – Annual Disaster Statistical Review 2008 – The numbers and trends, Brussels, Belgium, 2009. Disponível em: [www.emdat.be/Documents/Publications/ADSR\\_2008.pdf](http://www.emdat.be/Documents/Publications/ADSR_2008.pdf).
- OKA-FIORI, C. & SOARES, P. C. 1976. Aspectos evolutivos das vossorocas. Notícia Geomorfológica, Campinas, 16(32), p. 114 – 124.
- OLIVEIRA, C.M.G. 2002. Carta de risco de colapso de solos para a área urbana do município de Ilha Solteira – SP, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, UNESP, 128p.
- OLIVEIRA, L.L.; VIANELLO, R.L.; FERREIRA, N.J. Meteorologia fundamental. Erechim/RS: Edifapes, 2001. 432p.
- OLIVEIRA, M. A. T. 1989. Erosion disconformities and gully morphology: a threedimensional approach. Catena, volume 16, n ° 4/5, p.413-423.
- PAULA e SILVA, F., CHANG, H.K., CAETANO-CHANG, M.R. 2003. Perfis de Referência do Grupo Bauru (K) no Estado de São Paulo, Geociências, UNESP, Vol. 22, nº Especial, p. 21-32.
- PINHEIRO, A. 2007. Enchente e Inundação. In: SANTOS, R. F. dos (org.) Vulnerabilidade Ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos? Brasília: MMA, 2007. 192p.
- PINTO JUNIOR, O. e PINTO, I.C.A. 2008. Relâmpagos. São Paulo: Brasiliense. 95p.
- PINTO, H.S. 2000. O que fazer durante os temporais: raios, alagamentos, granizo, tornados, vendavais. Campinas: Cepagri/Unicamp. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/artigos-especiais/temporais.html>. Acesso em 30/06/2009.
- PINTO, H.S. e ZULLO JR., J. Geadas: Condições de Ocorrência e Cuidados. Campinas: Cepagri/Unicamp, 2009. <http://www.cpa.unicamp.br/artigos-especiais/geadas.html>. Acesso em 29/06/2009.
- PM RIO DE JANEIRO – Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro. 2009. Alerta Rio. Disponível em: <http://www2.rio.rj.gov.br/georio/site/alerta/alerta.htm>. Acesso em: Agosto de 2009.
- PM SÃO PAULO – Prefeitura Municipal de São Paulo. 2009. Operação chuvas de verão. Disponível em: [http://portal.prefeitura.sp.gov.br/secretarias/seguranca\\_urbana/defesa\\_civil/trabalhos/0003/](http://portal.prefeitura.sp.gov.br/secretarias/seguranca_urbana/defesa_civil/trabalhos/0003/). Acesso em: Agosto de 2009.
- PM VITÓRIA – Prefeitura Municipal de Vitória. 2009. Plano de Contingência. Disponível em: <http://www.vitoria.es.gov.br/diario/2007/0710/contingencia.asp> . Acesso em: Agosto de 2009.

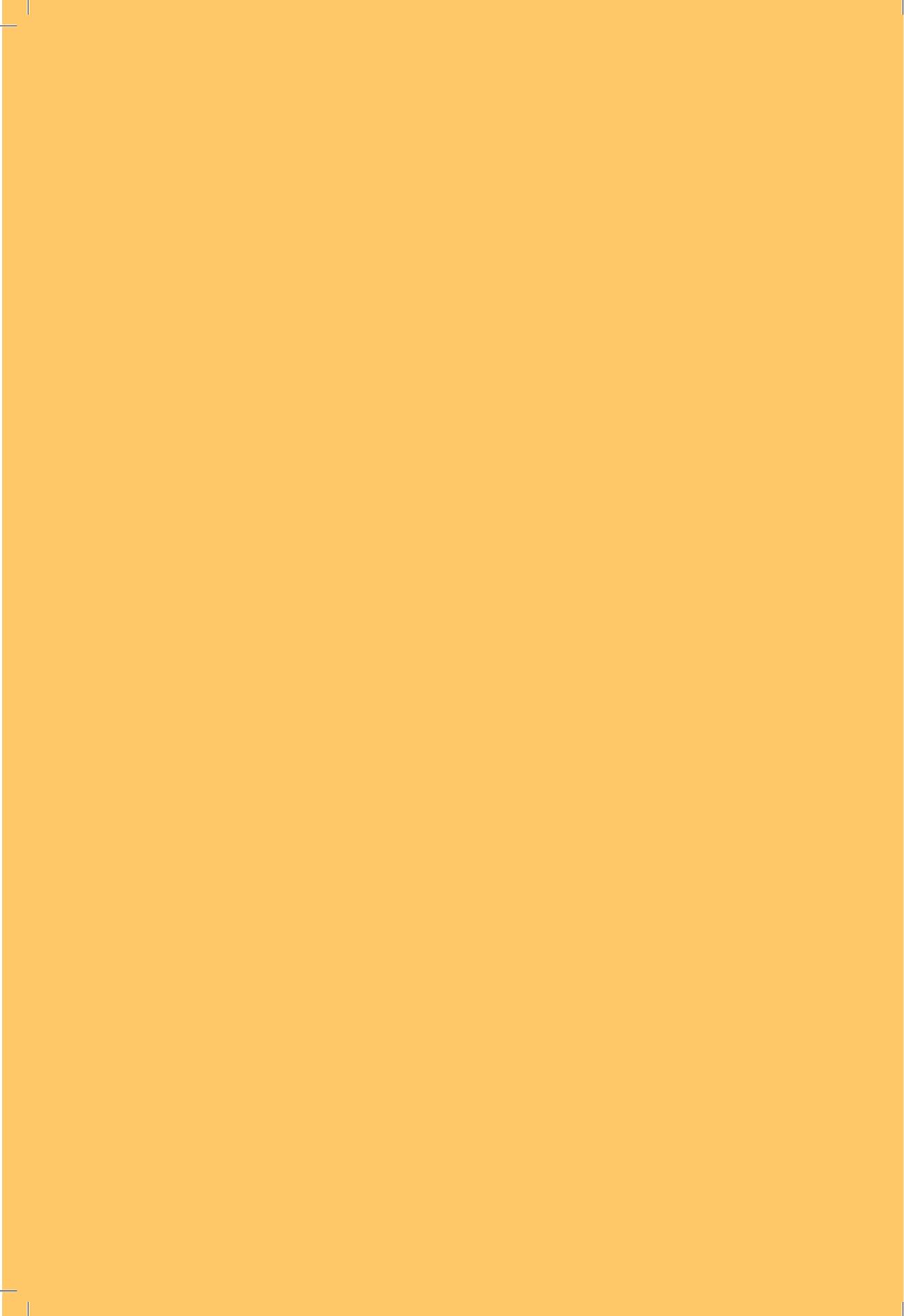
- PRANDINI, F.L.; NAKAZAWA, W.A.; ÁVILA, I.G.; OLIVEIRA, A.M.S.; SANTOS, A.R. 1987. Cajamar – carst e urbanização: zoneamento de risco. V Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, Anais, São Paulo, p. 461-470.
- PROIN/CAPEs e UNESP/IGCE. 1999. Material Didático: arquivos de transparências (CD). Rio Claro: Departamento de Geologia Aplicada.
- PRUSKI, F.F. 2006. Conservação do solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica. Viçosa: UFV, 240p.
- RODRIGUES, R.A. 2007. Modelação das deformações por colapso devidas à ascensão de lençol freático, Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 262p.
- RODRIGUES, R.A., LOLLO, J.A. 2004. Características estruturais, fisiográficas e mecânicas de dois perfis de solos colapsíveis de Ilha Solteira-SP, Brasil. Solos e Rochas, São Paulo, 27 (2):131-146.
- ROHLING, E.J.; GRANT, K.; HEMLEBEN, C.H.; SIDDALL, M.; HOOGAKKER, B.A.A.; BOLSHAW, M. & KUCERA, M. 2007. High rates of sea-level rise during the last interglacial period. Nature Geoscience (published online in 16 December 2007), doi:10.1038/ngeo.2007.28.
- ROSS, J.L.S. 2001. Inundações e deslizamentos em São Paulo. Riscos da relação inadequada sociedade-natureza. Revista Territorium. Lousã (Portugal) nº 8, p. 15-23, 2001.
- SAISP – Sistema de Alerta a Inundações do Estado de São Paulo. 2009. Disponível em: [www.saisp.br](http://www.saisp.br). Acesso em: Agosto de 2009.
- SALLUN FILHO, W.; KARMANN, I. 2007. Dolinas em arenitos da Bacia do Paraná: evidências de carste subjacente em Jardim (MS) e Ponta Grossa (PR). Revista Brasileira de Geociências, v. 37, p. 551-564.
- SALOMÃO, F. X. de T. & IWASA, O. Y. 1995. Erosão e a ocupação rural e urbana. In: Curso de geologia aplicada ao meio ambiente. ABGE/IPT – DIGEO. p. 31-57.
- SANTORO, J. 1991. Fenômenos erosivos acelerados na região de São Pedro – SP. Estudo da fenomenologia com ênfase geotécnica. Rio Claro – SP (Dissertação de Mestrado). IGCE-UNESP-Campus de Rio Claro. 140 p.il.
- SANTORO, J. 2000. Análise da ocorrência de processos erosivos no município de Campinas (SP), a partir da interação entre a suscetibilidade natural à erosão hídrica e o uso e ocupação do solo. Rio Claro – SP. (Tese de Doutorado). IGCE-UNESP-Campus de Rio Claro.
- SANTOS, A.R. 2008. Terrenos Calcários: Áreas de risco geológico para a Engenharia e para o Meio Ambiente. Disponível em: <http://noticias.ambientebrasil.com.br/noticia/?id=37974>.
- SAVAGE, W.Z.; GODT, J.W. & BAUM, R. L. 2004. Modeling time-dependent areal slope stability. In: Landslide: Evaluation and Stabilization, Lacerda, Ehrlich, Fontoura & Sayão (eds). Proceedings of the ninth International Symposium on Landslides. Rio de Janeiro, A A Balkema, 2004. v. 1, p. 23-36.
- SCHEUREN, J.M; POLAIN, O.; BELOW, R.; GUHA-SAPIR, D.; PONSERRE, S. 2008. Annual Disaster Statistical Review – The Numbers and Trends 2007. CRED - Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. 2008, Université Catholique de Louvain, Brussels, Belgium. Disponível em: <http://www.emdat.be/Documents/Publications>. Último acesso em agosto de 2009.
- SECRETARIA DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Notícia Disponível em: <http://www.agricultura.sp.gov.br/noticias2.asp?buscar=praticasconservacionistas&cid=2885>. Notícia de 15/04/2009. Acesso em: 20/08/2009.
- SECRETARIA DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Notícia Disponível em: <http://www.agricultura.sp.gov.br/noticias2.asp?buscar=praticasconservacionistas&cid=2243>. Notícia de 2007, acesso em 20/08/2009.
- SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO. 2009. Programa Nacional de Meio Ambiente II. Disponível em: [www.ambiente.sp.gov.br/aguaPNMAIIAgricultura.php](http://www.ambiente.sp.gov.br/aguaPNMAIIAgricultura.php). Acesso em 14/09/09.

- SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO. Relatório de Qualidade Ambiental do Estado de São Paulo. 2007. Governo do Estado de São Paulo – SMA – Solo. Disponível em: [www.ambiente.sp.gov.br/uploads/arquivos/relatorioqualidade2007/relatorio2007.zip](http://www.ambiente.sp.gov.br/uploads/arquivos/relatorioqualidade2007/relatorio2007.zip). Acesso em 22/08/2009.
- SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO. 2002. Informações Básicas para o Planejamento Ambiental. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. Coordenadoria de Planejamento Ambiental, São Paulo. 84p.
- SEDEC - Secretaria Nacional de Defesa Civil. 2009. Disponível em: <http://www.defesacivil.gov.br/publicacoes/index.asp>. Acesso em julho de 2009
- SGGES - School of Geography, Geology and Environmental Science 2008. World map of carbonate rock outcrops v3.0. University of Auckland, New Zealand. Disponível em: [http://www.sges.auckland.ac.nz/sges\\_research/karst.shtm](http://www.sges.auckland.ac.nz/sges_research/karst.shtm).
- SHORT, A.D. 1999. Beaches. In: A.D. Short (ed). Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics. John Wiley and Sons. p. 3-20.
- SOBREIRA, F. G. 1989. Estudo das encostas ocupadas desordenadamente na Cidade do Rio de Janeiro. A favela do Vidigal. Dissertação de Mestrado. Depto. de Geologia da UFRJ. Rio de Janeiro, 1989.
- SOUZA, C.R. de G. 1997. As Células de Deriva Litorânea e a Erosão nas Praias do Estado de São Paulo. São Paulo. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. Volume I – Texto (184 p.) e Volume II – Anexos (174 p.).
- SOUZA, C.R. de G. 1998. Flooding in the São Sebastião region, northern coast of São Paulo state, Brazil. *Anais Academia Brasileira Ciências*, 70 (2): 353-366, 1998.
- SOUZA, C.R. de G. 2001. Coastal erosion risk assessment, shoreline retreat rates and causes of coastal erosion along the State of São coast, Brazil. *Revista Pesquisas em Geociências*, 28 (2): 459-475.
- SOUZA, C.R. de G. 2004. Risco a Inundações, enchentes e alagamentos em regiões costeiras. In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais - SIBRADEN, I, Florianópolis (SC), 27-30/09/2004, GEDN/UFSC. *Anais*,... p. 231-247 (CD-ROM).
- SOUZA, C.R. de G. 2007. Atualização do Mapa de Risco à Erosão Costeira para o Estado de São Paulo. In: XI Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário – ABEQUA, Belém, (PA). *Anais*, CD-ROM.
- SOUZA, C.R. de G. 2008. Erosão na Praia do Gonzaguinha-Milionários (São Vicente, SP): Causas e Projeções. In: VII Simpósio Nacional de Geomorfologia e II Encontro Latino-americano de Geomorfologia, Belo Horizonte (MG). *Anais*, CD-ROM.
- SOUZA, C.R. de G. 2009a – A Erosão nas Praias do Estado de São Paulo: Causas, Consequências, Indicadores de Monitoramento e Risco. In: V.L.R. Bononi & N.A. Santos Júnior (orgs.). *Memórias do Conselho Científico da Secretaria do Meio Ambiente: A Síntese de Um Ano de Conhecimento Científico Acumulado*. São Paulo, Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo.
- SOUZA, C.R. de G. 2009b. A erosão costeira e os desafios da gestão costeira no Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 9(1): 17-37. ISBN: 1677-4841 (também disponível em <http://www.aprh.pt/rgci/revista9f1.html>).
- SOUZA, C.R. de G. 2009c. Flood risk assessment in coastal drainage basins through a multivariate analysis within a gis-based model. *Journal of Coastal Research, Special Issue* 56, 2009.
- SOUZA, C.R. de G. & SUGUIO, K. 1996. Coastal erosion and beach morphodynamics along the state of São Paulo (SE Brazil). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 68: 405-424.
- SOUZA, C.R. de G. & SUGUIO, K. 2003. The coastal erosion risk zoning and the São Paulo Plan for Coastal Management. *Journal of Coastal Research, Special Issue* 35, p. 530-547.
- SOUZA, C.R. de G.; SOUZA FILHO, P.W.M.; ESTEVES, S.L.; VITAL, H. DILLENBURG, S.R.; PATCHINEELAM, S.M. & ADDAD, J.E. 2005. Praias Arenosas e Erosão Costeira. In: C.R. de G. Souza et al. (eds.). *Quaternário do Brasil*. Holos, Editora, Ribeirão Preto (SP). p. 130-152.

- SOUZA, C.R. de G., HIRUMA, S.T., SALLUN, A.E.M., RIBEIRO, R.R. & AZEVEDO SOBRINHO, J.M. 2008. "Restinga" - Conceitos e Empregos do Termo no Brasil e Implicações na Legislação Ambiental. Instituto Geológico, Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo. São Paulo. 104p. (também disponível em [http://www.igeologico.sp.gov.br/ps\\_down\\_outros.asp](http://www.igeologico.sp.gov.br/ps_down_outros.asp)).
- SRTM 2009. Shuttle Radar Topographic Mission. Disponível em: <http://strm.usgs.gov>.
- TATIZANA, C. et al. 1987. Modelamento numérico da análise de correlação entre chuvas e escorregamentos aplicado às encostas da Serra do Mar no município de Cubatão. In 5º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE. v. 2, p. 237-248.
- TATIZANA, C.; OGURA, A. T.; CERRI, L.E. DA S.; ROCHA, M.C.M. 1987. Análise de Correlação entre Chuvas e Escorregamentos na Serra do Mar, Município de Cubatão. In: Cong. Bras. de Geol. Eng., V, São Paulo. Anais, ABGE, Vol. 2. p 225-236.
- TAVARES, A.C; SILVA, A.C.F. 2008. Urbanização, chuvas de verão e inundações: uma análise episódica. Climatologia e Estudos da Paisagem. Rio Claro. Vol. 3, n.1, 2008.
- TAVARES, R., SANT'ANNA NETO, J.L., TOMMASELLI, J.T.G., PRESSINOTTI, M.M.N., SANTORO, J. 2004. Análise da variabilidade temporal e espacial das chuvas associadas aos movimentos de massa no litoral norte paulista. In Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, 1, 2004, Florianópolis. Anais do I SIBRADEN. Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004. p.680-696. (CD-ROM).
- TAYLOR, D. 1948. Fundamentals of Soil Mechanics. New York: John Wiley & Sons.
- THOURET, J C. 2007. Avaliação, Prevenção e gestão dos riscos naturais nas cidades da América Latina. In: VEYRET, Y (org.). 2007. Os Riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente. São Paulo: Contexto, 2007 p. 83-112.
- TOBIN, G. A; MONTZ, B. E. 1997. Natural hazards: explanation and integration. New York: The Guilford Press. 388 p.
- TOMINAGA, L. K. 2007. Avaliação de Metodologias de Análise de Risco a Escorregamentos: Aplicação de um Ensaio em Ubatuba, SP. Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo. Tese de Doutorado 220 p + Mapas
- TOMINAGA, L.; FERREIRA, C.J.; VEDOVELLO, R.; TAVARES, R.; SANTORO, J.; SOUZA, C.R. de G. 2004. Cartas de perigo a escorregamentos e de risco a pessoas e bens do Litoral Norte de São Paulo: conceitos e técnicas In: PEJON, O.; ZUQUETTE, L. eds. Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 5: 2004: São Carlos. p. 205-216.
- TOMINAGA L. K. ; ROSSINI-PENTEADO D.; FERREIRA C. J; VEDOVELLO R.; ARMANI G. 2008. Avaliação de perigo a escorregamentos por meio da análise de múltiplos fatores geoambientais. Ipojuca, PE. In: 12º CBGE – Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, Ipojuca, PE, 23 a 27 de novembro de 2008. Anais..., CD-ROM.
- UNDRO – UNITED NATIONS DISASTER RELIEF OFFICE. 1991. UNDRO's approach to disaster mitigation. UNDRO News, jan.-febr.1991. Geneva: Office of the United Nations Disasters Relief Co-ordinator. 20p.
- UN-ISDR – United Nations International Strategy for Disaster Reduction – Living with Risk. A Global Review of Disaster Reduction Initiatives. United Nations. Geneva, Suíça. 2002. Disponível em [http://www.unisdr.org/eng/about\\_isdr/bd-lwr-2004-eng.htm](http://www.unisdr.org/eng/about_isdr/bd-lwr-2004-eng.htm)
- UN-ISDR - International Strategy for Disaster Reduction. 2004. Living with Risk. A global review of disaster reduction initiatives. Inter-Agency Secretariat International Strategy for Disaster Reduction (ISDR), Geneva, Suíça. 152pp. Disponível em <http://www.unisdr.org>. Acesso em setembro de 2006.
- UN-ISDR - International Strategy for Disaster Reduction. 2009. Terminology on Disaster Risk Reduction. Disponível em <http://www.unisdr.org>. Acesso em agosto de 2009.
- VAN WESTEN, C. J. 1993. Application of geographic information system to landslide hazard zonation. ITC Publication, Enschede, The Netherlands, 15: 245p.

- VAREJÃO-SILVA, M.A. 2006. Meteorologia e climatologia. Versão Digital 2. Recife: 2006. 449p.  
Disponível em: <http://www.agritempo.gov.br>
- VARGAS, M. 1966. Estabilização de taludes em encostas de gneiss decompostas. Anais do 3º Congresso Brasileiro de Mecânica de Solos, Belo Horizonte, 1966.
- VARNES, D. J. 1978. Slope movement types and processes. In: SCHUSTER & KRIZEK (eds.). Landslides: analysis and control. Transportation Research Board Special Report 176, National Academy of Sciences, Washington DC. p. 11-33.
- VARNES, D.J. 1984. Landslide Hazard Zonation: Review of Principles and Practice. UNESCO Press, Paris. 56 p.
- VEDOVELLO, R. & MACEDO, E. S. 2007. Deslizamento de Encostas. In: SANTOS, R. F.dos (org.) Vulnerabilidade Ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos? Brasília: MMA, 2007. 192p.
- VESTENA, L.R. 2008. A importância da hidrologia na prevenção e mitigação de desastres naturais. In: *Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais*. Guarapuava: v.4, nº1, p.151-162, 2008.
- VEYRET, Y. 2007. Riscos: O homem como agressor e vítima do meio ambiente - São Paulo: Contexto. 1ª Edição, 1ª Reimpressão. 320 p.
- VIANELLO, R. L; ALVES, A. R. 2002. Meteorologia básica e aplicações. Viçosa: UFV, 2002. 449p.
- VILAR, O.M., RODRIGUES, J.E., NOGUEIRA, J.B. 1981. Solos colapsíveis: um problema para a engenharia de solos tropicais. In: Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia, Rio de Janeiro, v. 1, pp. 209-224.
- WEILL, M. A. M. & PIRES NETO, A. G. 2007. Erosão e Assoreamento. In: SANTOS, R. F. (org.) 2007. Vulnerabilidade Ambiental. Brasília, MMA, 192 p.
- WOLLE, C. M. 1980. Taludes naturais: mecanismos de instabilização e critérios de segurança. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1980. 245p

# Autores



**Celia Regina de Gouveia Souza**

Geóloga (1983), com mestrado em Oceanografia Geológica (1990) e doutorado em Geologia Sedimentar (1997), todos pela Universidade de São Paulo. É Pesquisadora Científica VI do Instituto Geológico desde 1992. Ocupou cargos na Diretoria Executiva (Secretário e Presidente) da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário (ABEQUA) de 1995 a 2005. É editora e autora dos livros “Quaternário do Brasil” e “Restinga: Conceitos e Empregos do Termo no Brasil e Implicações na Legislação Ambiental”. É professora-orientadora do Programa de Pós-Graduação do Departamento de Geografia Física da FFLCH-USP desde 2006. Principais linhas de pesquisa em: Geomorfologia Costeira (Erosão Costeira), Geologia e Geomorfologia de Ambientes Costeiros (Risco a Inundações/Enchentes/Alagamentos), Biogeografia Costeira e Gerenciamento Costeiro.

**Daniela Gírio Marchiori Faria**

Enga. Geóloga (1990) e Enga. de Minas (1992) pela Universidade Federal de Ouro Preto - MG (UFOP), com Mestrado (1997) e doutorado em Geotecnia (2011) pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP). É Pesquisadora Científica do Instituto Geológico desde 2004. Atua na área de Geotecnia e Meio Ambiente.

**Jair Santoro**

Geólogo (1983) pela UNESP – Universidade Estadual Paulista – Campus de Rio Claro, com Mestrado (1991) e Doutorado (2000) em Geociências e Meio Ambiente pela UNESP de Rio Claro. É Pesquisador Científico VI do Instituto Geológico, Diretor do Núcleo de Geologia de Eng. e Ambiental. Área de Atuação: Pesquisas e trabalhos nas áreas de escorregamentos de encostas, processos erosivos, mapeamento de áreas de risco, elaboração de laudos e pareceres técnicos para a Defesa Civil Estadual, Ministério Público, etc. Coordenador pelo IG, junto à Defesa Civil Estadual, do Plano Preventivo de Defesa Civil, para escorregamento de encostas no Estado de São Paulo.

**Lídia Keiko Tominaga**

Geóloga pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP, com Mestrado (2000) e Doutorado em Geografia Física (2007) pela Universidade de São Paulo – Depto de Geografia - FFLCH/USP. É Pesquisadora Científica VI do Instituto Geológico do Estado de São Paulo desde 1985. Atua nas áreas de Geomorfologia e Geologia de Engenharia e Ambiental, desenvolvendo os seguintes temas: cartografia geoambiental, riscos geológicos e geomorfológicos, prevenção de desastres naturais, planejamento territorial e ambiental.

**Renato Tavares**

Geógrafo pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP - (1991) e mestre em Geografia Física pela Universidade de São Paulo – Depto de Geografia – FFLCH/USP (1997). Doutor em Geografia pela UFPR - Universidade Federal do Paraná (2010). É Pesquisador Científico V do Instituto Geológico do Estado de São Paulo, onde atua desde 1993 na área de Geografia e Climatologia. Os principais temas estudados referem-se à caracterização climatológica para subsidiar planos de manejo de unidades de conservação, ações de prevenção a desastres e planejamento territorial.

**Rodolfo Moreda Mendes**

Engenheiro Civil (1997) pela Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP, com Mestrado (2001) em Engenharia Urbana pela UFSCar – Universidade Federal de São Carlos e Doutorado (2008) em Engenharia Geotécnica pela Escola Politécnica da USP. Foi Pesquisador Científico do Instituto Geológico – SMA/SP no período de 2005 a 2014 e Diretor do Laboratório de Análises Geológicas de 2007 a 2014. Atua na linha de pesquisa Geotecnia e Planejamento do Meio Físico, relacionada aos seguintes temas: SIG, planejamento territorial urbano e regional, cartografia temática geotécnica e ambiental, prevenção de desastres naturais, riscos geológicos, solos não saturados, estudos experimentais de campo e laboratório, estabilidade de encostas e taludes.

**Rogério Rodrigues Ribeiro**

Geógrafo (2000) e Mestre (2003) em Geociências e Especialista em Controle da Poluição Ambiental (2006), todos pela Universidade de São Paulo. É Pesquisador Científico do Instituto Geológico desde 2006. Sua atuação profissional e interesses científicos estão ligados às áreas de Geomorfologia e Planejamento Territorial, Riscos Geológicos e Geomorfológicos, Prevenção de Desastres Naturais, Legislação Ambiental e Monumentos Geológicos do Estado de São Paulo.

**Rosângela do Amaral**

Geógrafa (2000) e Mestre em Geografia Física (2005) pela Universidade de São Paulo – USP. É Pesquisadora Científica no Instituto Geológico, da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Sua atuação profissional e interesses científicos estão ligados às áreas de geomorfologia e planejamento territorial, relacionadas aos seguintes temas: cartografia geoambiental, riscos geológicos e geomorfológicos, prevenção de desastres naturais, planejamento territorial e ambiental.

**William Sallun Filho**

Geólogo (1996), Mestre (1999) e Doutor (2005) em Geociências pelo Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo – USP. Desde 2005 é Pesquisador Científico VI do Núcleo de Geologia Geral do Instituto Geológico da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Tem como áreas de atuação a Paleontologia do Pré-cambriano e a Geologia de Terrenos Cársticos.