

PARTE

B

## PORQUE CAEM AS BARREIRAS

CAPÍTULO 3

Risco Geológico

CAPÍTULO 4

Processos que Causam Acidentes



## CAPÍTULO 3

# Risco Geológico

Conceitos 3.1

Elementos de risco 3.2

Classes de risco 3.3

Fatores de risco 3.4



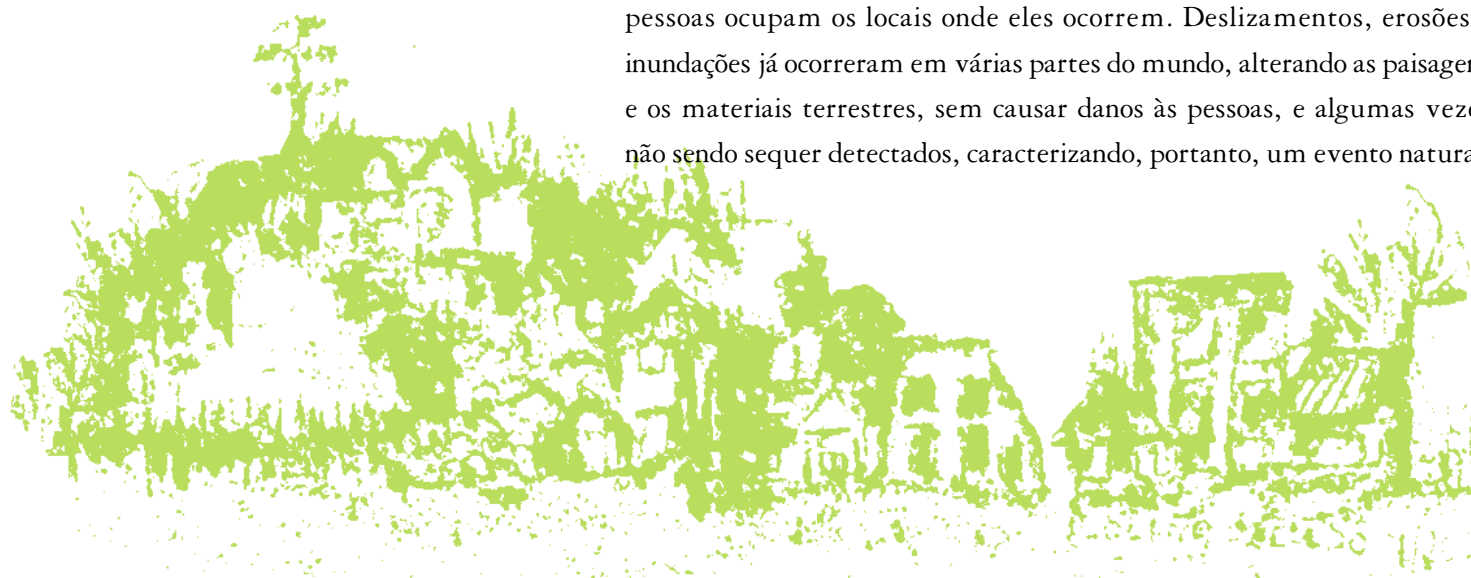
### 3.1 Conceitos

#### *Risco de deslizamento*

Essa é uma expressão corriqueira para a Região Metropolitana do Recife. A cada inverno ela retorna às manchetes dos noticiários e jornais, porém o seu entendimento tem-se mostrado bem diverso quando expresso por moradores, gestores públicos, técnicos e população em geral; não há um consenso quanto ao entendimento do risco.

O risco expressa a possibilidade de perdas materiais ou sociais, através da ocorrência de um acidente. Algumas vezes, uma área onde ocorreu um deslizamento pode ficar naturalmente estabilizada, cessando o movimento da encosta ou reduzindo a sua intensidade. Nesse caso, o próprio acidente pode eliminar ou reduzir o risco.

Para existir o risco, é necessário que haja alguma ocupação do espaço. Os processos geológicos naturais só criam situações de risco quando as pessoas ocupam os locais onde eles ocorrem. Deslizamentos, erosões e inundações já ocorreram em várias partes do mundo, alterando as paisagens e os materiais terrestres, sem causar danos às pessoas, e algumas vezes não sendo sequer detectados, caracterizando, portanto, um evento natural.



## CONCEITOS FUNDAMENTAIS

*Adaptado de UNESP - IGCE/DGA/PROIN/CAPEs, 2000*

## Risco

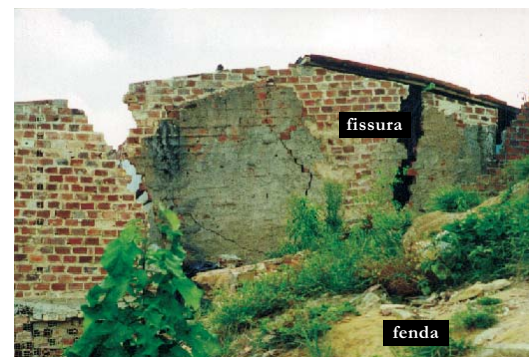
Possibilidade de ocorrência de um acidente, ou seja, possibilidade de perdas materiais ou de vidas.

## Acidente

Fato já ocorrido, no qual foram registradas perdas econômicas e/ou sociais relacionadas diretamente ao fato.

## Evento

Fato já ocorrido, no qual não foram registradas perdas sociais e/ou econômicas relacionadas diretamente ao fato.



RISCO de DESLIZAMENTO



ACIDENTE SOTERRANDO PARCIALMENTE a CASA



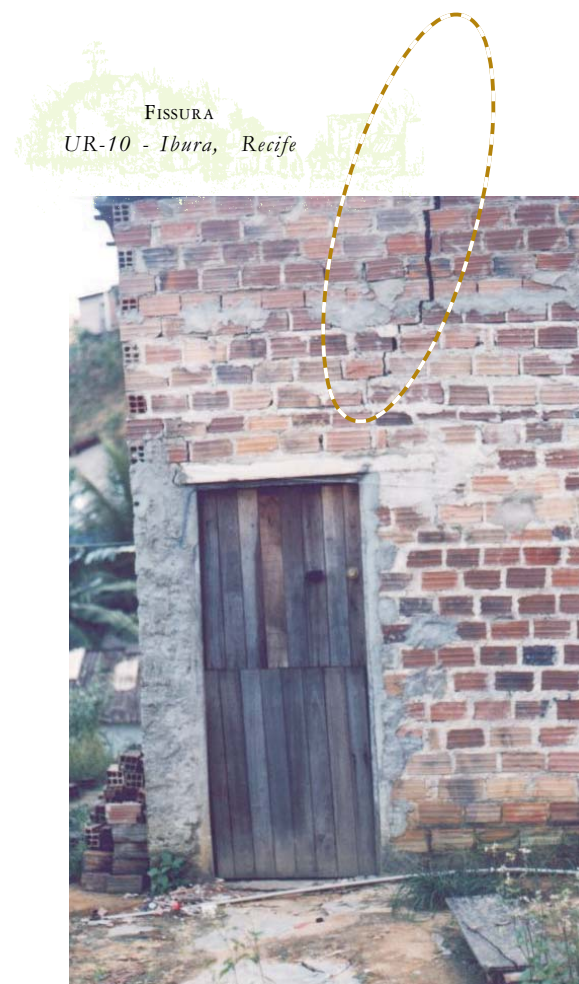
EVENTO de DESLIZAMENTO

### *Pontos de risco*

São assim denominados taludes de corte ou encostas naturais que apresentam problemas de estabilidade, podendo vir a causar acidentes. São definidos por uma análise local do problema, que se dá no dia-a-dia da Defesa Civil, voltada para as condições da barreira e da moradia. A atenção se volta para as evidências de erosão e de movimentos de massa como fissuras e fendas, ressaltos no terreno, rupturas de tubulações, inclinação de árvores, surgências de água, embarrigamento de muros, entre outros. A análise é feita caso a caso e a solução deve ser indicada levando em conta o contexto geral da encosta, para evitar que a intervenção venha a induzir novos pontos de risco nas proximidades.

Aos pontos de risco não se aplicam escalas de intensidade, como se faz para os Mapas de risco. Os locais mais perigosos são identificados simplesmente como “Ponto de risco” (ou “Ponto de alto risco”), e aqueles com alta probabilidade de ocorrência de acidente em curto prazo, identificados como “Ponto de risco iminente”.

Os mapas de risco mostram os graus de risco (alto, médio, baixo) atribuídos às áreas ocupadas dos morros, com base na análise dos fatores geológicos, morfológicos, climáticos, hidrológicos e antrópicos. Os dados são obtidos através de levantamento de campo e posteriormente integrados pela aplicação de modelos qualitativos e/ou quantitativos. Têm grande importância para o planejamento da cidade, permitindo indicar as áreas mais seguras para o crescimento, fundamentar projetos para captação de recursos destinados a obras para a segurança dos morros e negociar prioridades com as lideranças locais.



### 3.2 Elementos de risco

O Risco resulta da interação de vários componentes, destacando-se as características do meio físico (geologia, morfologia, hidrologia, clima) que expressam a suscetibilidade e as alterações antrópicas (densidade ocupacional, infra-estrutura), que por sua vez expressam a vulnerabilidade.

ELEMENTOS para a ANÁLISE de RISCO

*Adaptado de Hays, 1991*



*Perigo* indica a probabilidade de ocorrência do acidente.

*Vulnerabilidade* é a predisposição de um sujeito, sistema ou elemento, ser afetado por ocasião de um acidente. Expressa o grau das perdas (vidas humanas, bens materiais, infra-estrutura), refletindo a fragilidade dos sistemas implantados na área. Áreas mais vulneráveis implicam maiores perdas, e, conseqüentemente, em maior grau de risco.

*Grau de Exposição* reflete a duração ou intensidade do acidente.

*Suscetibilidade* é uma característica inerente ao meio e representa a fragilidade do ambiente frente aos processos geológicos (deslizamento, erosão). Áreas mais suscetíveis a esses processos terão maior grau de risco.

#### PREVISÃO DE RISCO

Identificação das áreas de risco com a indicação dos locais onde poderão ocorrer acidentes e o estabelecimento das condições e circunstâncias para a ocorrência dos processos, ou seja: como e quando eles poderão ocorrer.

#### PREVENÇÃO DO RISCO

Adoção de medidas preventivas visando inibir a ocorrência dos processos; ou reduzir suas magnitudes; ou minimizar os seus impactos sobre o ambiente.

*Adaptado de UNESP - IGCE/DGA/PROIN/CAPEs, 2000*



### 3.3 Classes de risco

As Classes de Risco têm por base a natureza do processo gerador. De um modo geral, todas as modalidades de risco aqui tratadas são ambientais, tendo em vista resultarem de fenômenos que afetam o meio ambiente.

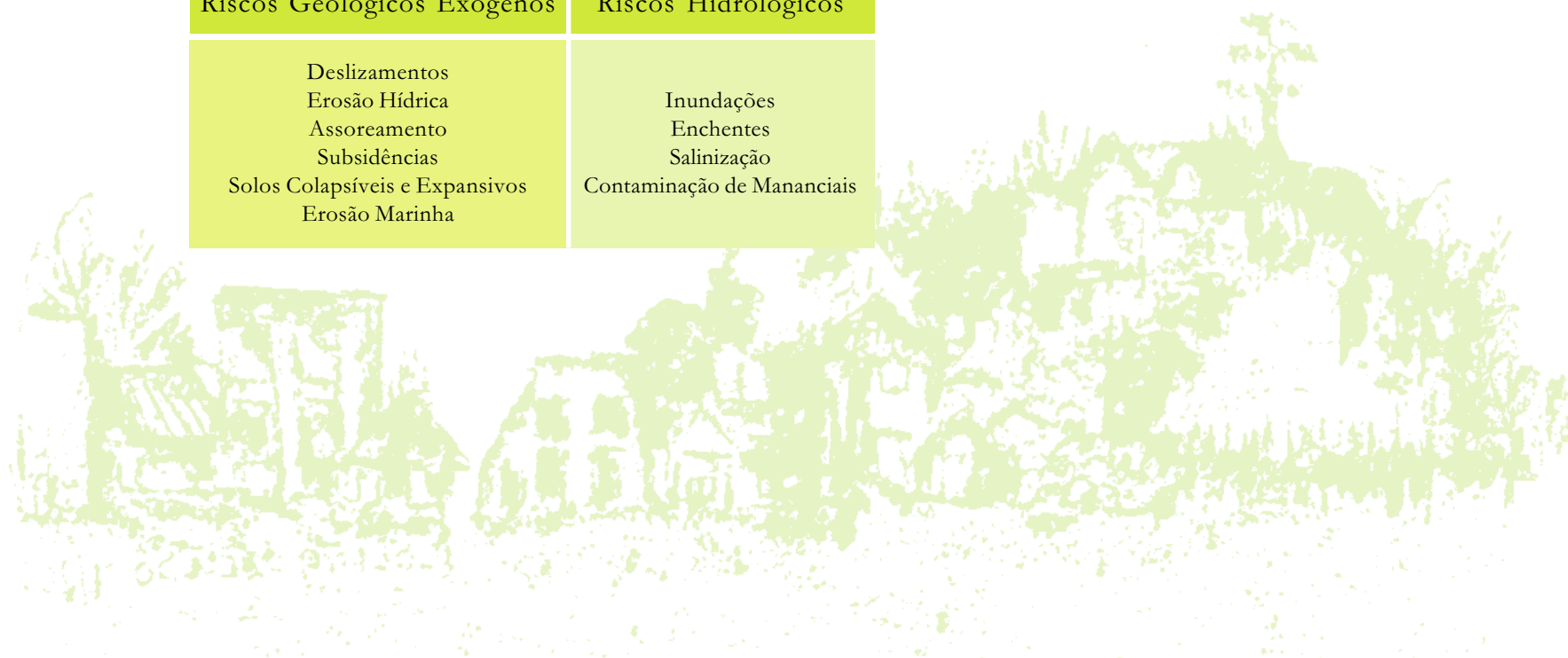


Quando resultam de eventos espontâneos da natureza, são chamados de Riscos Naturais.



Quando decorrem de intervenções humanas, são considerados Riscos Induzidos.

Riscos Naturais mais Frequentes na Região Metropolitana do Recife	
Riscos Geológicos Exógenos	Riscos Hidrológicos
Deslizamentos Erosão Hídrica Assoreamento Subsidências Solos Colapsíveis e Expansivos Erosão Marinha	Inundações Enchentes Salinização Contaminação de Mananciais



### 3.4 Fatores de risco

São elementos ou características que determinam a Suscetibilidade do Meio e a Vulnerabilidade do Sistema e contribuem para a composição do risco.

#### *Grau de risco*

Dimensiona a probabilidade de perdas em decorrência de acidentes, considerando individualmente o risco para cada fator.

A escala para o grau de risco usualmente contém três a cinco intervalos:

MUITO BAIXO

BAIXO

MÉDIO

ALTO

MUITO ALTO

Fatores de Suscetibilidade	Geológicos	Litologia Textura Estrutura Pré-adensamento
	Morfológicos	Altura da encosta Forma da encosta ( <i>perfil</i> ) Extensão da encosta Declividade da encosta Sinuosidade da encosta
	Climáticos	Chuva acumulada Chuva concentrada Umidade Temperatura
	Hidrológicos	Densidade da rede de drenagem Concentração das linhas d'água Altura do nível freático
	Antrópicos	Densidade populacional Frequência de cortes e aterros Taxa de solo exposto Focos de lançamento de águas servidas Número de fossas nas encostas Focos de lançamento de lixo

Fatores de Vulnerabilidade	Densidade populacional	
	Equipamentos públicos	
	Redes de infra-estrutura existentes	Viária Água Esgoto Luz Telefone Gás
	Tipologia das edificações	

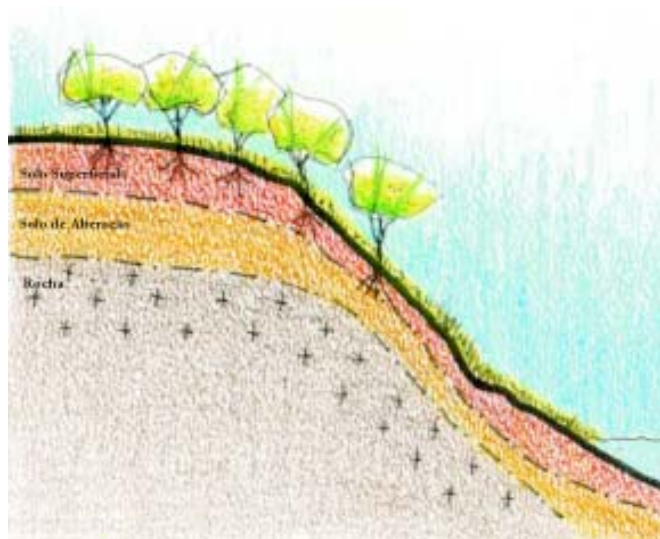


## *Fatores geológicos*

São fatores de suscetibilidade por se referirem às características dos materiais sobre os quais ocorrem os processos. Ou seja, os terrenos serão mais ou menos suscetíveis a um determinado fenômeno (deslizamento ou erosão) a depender de suas características litológicas, texturais ou estruturais. Cada um dos fatores (Litologia, Textura, Estrutura, Pré-adensamento) deve ser analisado quanto à sua maior ou menor suscetibilidade aos deslizamentos e erosões e associado aos graus de risco.

### **Litologia**

*tipo de rocha, sedimento ou solo*



Os solos residuais são produzidos sobre as rochas a partir da sua alteração, aumentando a espessura com o tempo.

A faixa do solo que ainda mostra detalhes estruturais e texturais da rocha chama-se saprolito ou solo de alteração.

Os sedimentos e rochas sedimentares podem ser formados:

pelo transporte e acumulação de fragmentos;  
 (exemplo: arenito)

pela precipitação de um composto químico;  
 (exemplo: calcário)

pela acumulação de restos orgânicos.  
 (exemplo: turfa)

PERFIL DE SOLO RESIDUAL

*Adaptado do Manual de Recuperação de Áreas Degradadas em Loteamentos  
 IPT e Governo do Estado de São Paulo, 1986*

## Textura

### *granulometria dos sedimentos e solos*

A Textura controla a porosidade e a permeabilidade do solo ou sedimento. Materiais arenosos são mais porosos e permeáveis e apresentam baixa suscetibilidade a deslizamentos e alta suscetibilidade à erosão. Já os materiais argilosos, embora possam apresentar boa porosidade, são praticamente impermeáveis e se mostram mais resistentes à erosão e muito mais suscetíveis aos deslizamentos.

## Estrutura

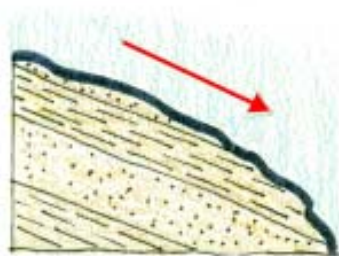
### *disposição espacial das camadas ou dos planos das fraturas e falhas*

A Estrutura pode ser expressa pelo arranjo de camadas (horizontais, inclinadas e até verticais), estratificações de origens diversas e fraturas e falhas geológicas. Estruturas com camadas inclinadas podem determinar diferentes suscetibilidades para o maciço, em função da posição do talude; quando o declive fica no sentido do mergulho das camadas, há maior suscetibilidade de deslizamento; quando a posição do talude é contrária ao mergulho das camadas, a suscetibilidade é bem menor.

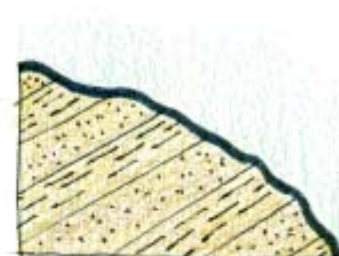
## Pré - adensamento

### *soterramento a que foi submetido o sedimento ou solo*

O Pré-adensamento confere maior compacidade ao solo ou sedimento, aumentando a sua resistência ao cisalhamento. Portanto, quanto mais pré-adensado, maior será o coeficiente de atrito, e o solo mais resistente à ruptura.



Camadas concordantes com o talude

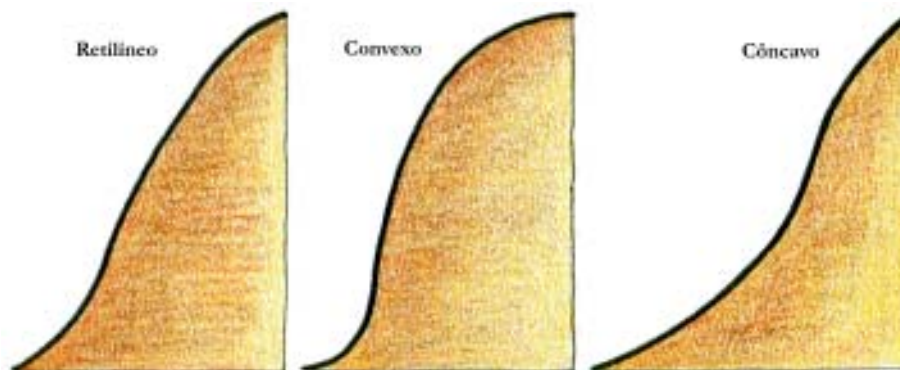
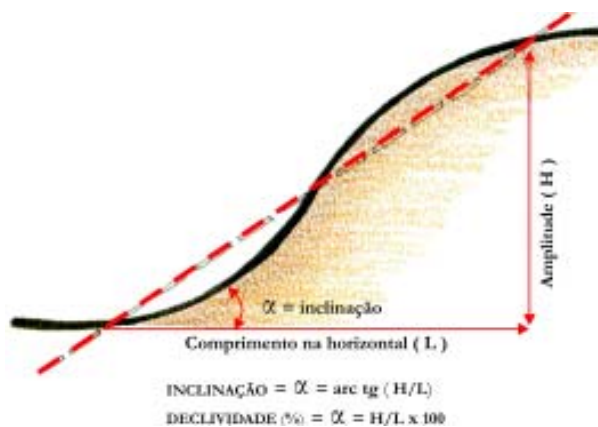


Camadas opostas ao talude






## *Fatores morfológicos*

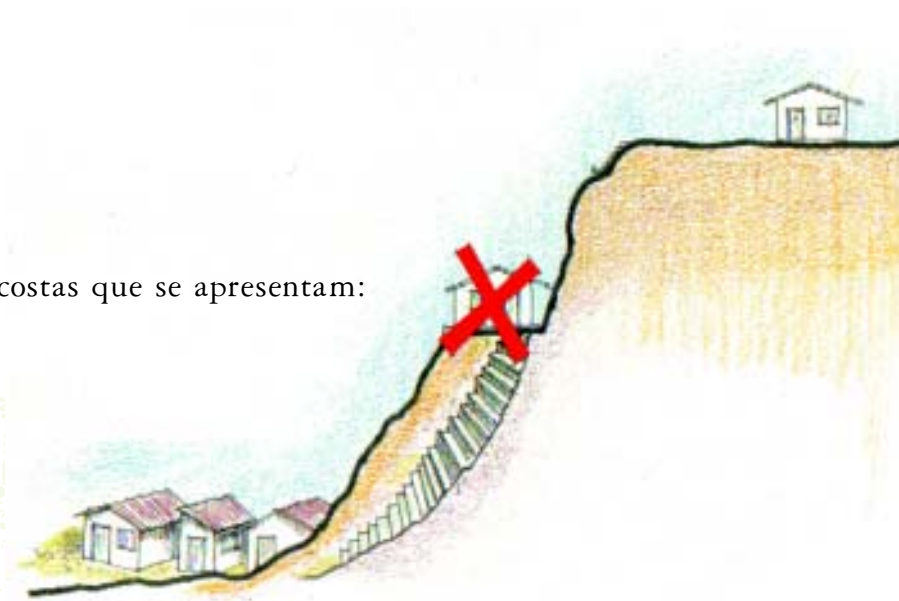
As formas do relevo expressam o estágio de equilíbrio entre os processos naturais exógenos e os tipos de materiais expostos às transformações, sob o controle do clima. Nos climas quentes e úmidos, os relevos maduros (estáveis) mostram formas sinuosas com colinas arredondadas e vales abertos em forma de “U”. Os relevos imaturos (instáveis, ainda em construção), mostram tabuleiros com vales verticalizados em forma de “V” e cabeceiras de drenagem ativas.

PERFIS das ENCOSTAS  
*Adaptado de Unesp, IGCE/DGA/PROIN/CAPEs, 2000*



São mais suscetíveis aos deslizamentos as encostas que se apresentam:

-  mais altas
-  mais extensas
-  com perfil côncavo
-  com baixa sinuosidade (rampas retilíneas)
-  com alta declividade



Do ponto de vista geotécnico, topos e encostas são áreas com diferentes graus de suscetibilidade a deslizamentos; enquanto as encostas exigem cortes e aterros para a sua ocupação, os topos podem ser ocupados com pouco, ou nenhum movimento de terras.

Embora situadas em topos, as áreas planas próximas a quebras abruptas de relevo, como bordas de tabuleiros e bordas de cortes íngremes, devem ser consideradas não edificáveis para uma faixa com pelo menos 5 metros a partir da linha de crista e 10 metros a partir da base do colúvio.

RELAÇÃO ENTRE MORFOLOGIA E SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS					
Unidades de Relevo RMR	Cotas Dominantes (m)	Amplitudes (m)	Declividades Médias (%)	Feições Morfológicas (características)	Grau de Suscetibilidade a Deslizamentos e Erosões
Serras	300	>300	> 45	cristas alinhadas	alto
Tabuleiros	100	75	> 45	topos planos	alto
Morros altos	200	150	30 - 45	topos alinhados	mediano
Morros baixos	100	100	30 - 45	forma irregular	baixo
Colinas suaves	50	30	< 30	formas isoladas	baixo

### *Fatores climáticos*

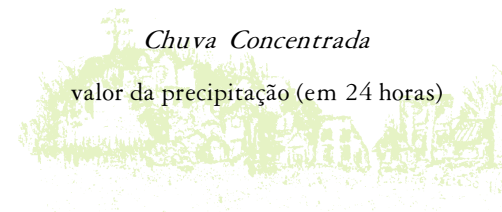
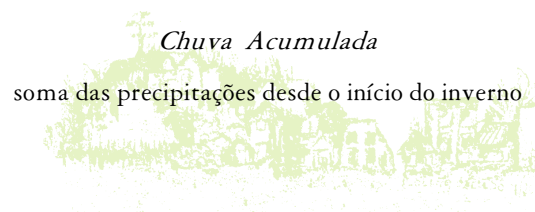
Umidade e Temperatura são aspectos do clima que favorecem os processos de intemperismo químico. Sob condições de calor e umidade elevados, ocorre a decomposição dos minerais mais frágeis como os feldspatos e micas, promovendo sua argilização.

Feldspatos e micas (entre outros minerais argilizáveis) são comuns tanto nas rochas graníticas do embasamento cristalino como nas coberturas sedimentares que ocorrem na área. Os depósitos originalmente arenosos da Formação Barreiras são formados principalmente por quartzo e feldspatos. Desse modo, a parte feldspática do material vai sendo gradativamente argilizada, favorecendo a ocorrência de deslizamentos.

As chuvas que caem ao longo dos períodos de inverno tanto podem escoar causando a erosão, como se infiltrar propiciando o umedecimento e a saturação dos solos.

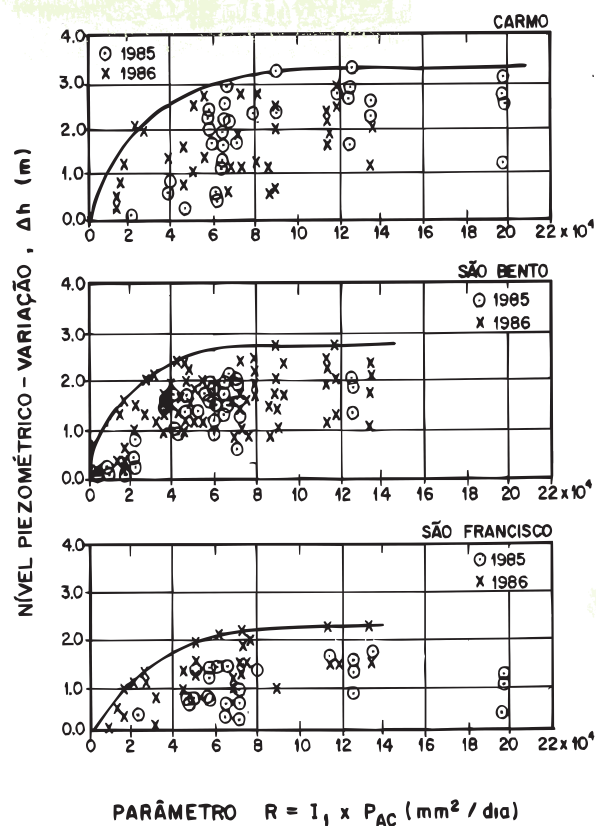
*Chuva Acumulada* satura os solos,

*Chuvas Concentradas* funcionam como gatilhos que deflagram os deslizamentos.



## RELAÇÃO CHUVA X SATURAÇÃO

Gusmão Filho, 1998



A partir do monitoramento de morros da Formação Barreiras, em Olinda, entre 1985 e 1986, foi feita uma relação entre precipitação e instabilidade de encostas, com base nos níveis piezométricos, sabidamente associados à estabilidade dessas encostas (Gusmão et al., 1987). Foi identificado um parâmetro para essa relação:

$$R = P_{ac} \times I_1$$

onde

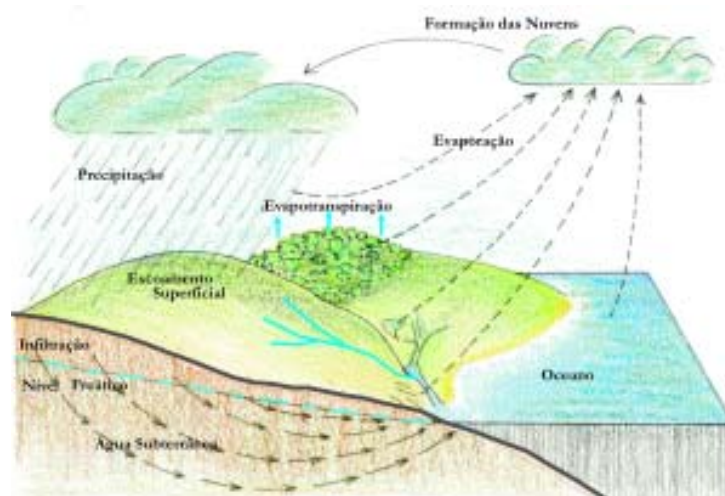
- R Relação entre os níveis piezométricos e a precipitação
- $P_{ac}$  Precipitação acumulada (mm)
- $I_1$  Intensidade da chuva concentrada (mm)

O valor encontrado para  $R = 60.000 \text{ mm}^2$  é o valor limite para a ocorrência de deslizamentos, pois representa o nível d'água máximo suportado, em condições de estabilidade.

Nessas circunstâncias, quando as chuvas acumuladas atingem 600mm, basta uma chuva de 100mm para que ocorram deslizamentos em grande escala. A pluviosidade tem um papel fundamental no desencadeamento dos processos de deslizamentos e de erosão; em áreas onde os movimentos de massa se dão espontaneamente, é possível estabelecer uma relação de causa e efeito entre chuvas e deslizamentos.



## *Fatores hidrológicos*



CICLO HIDROLÓGICO

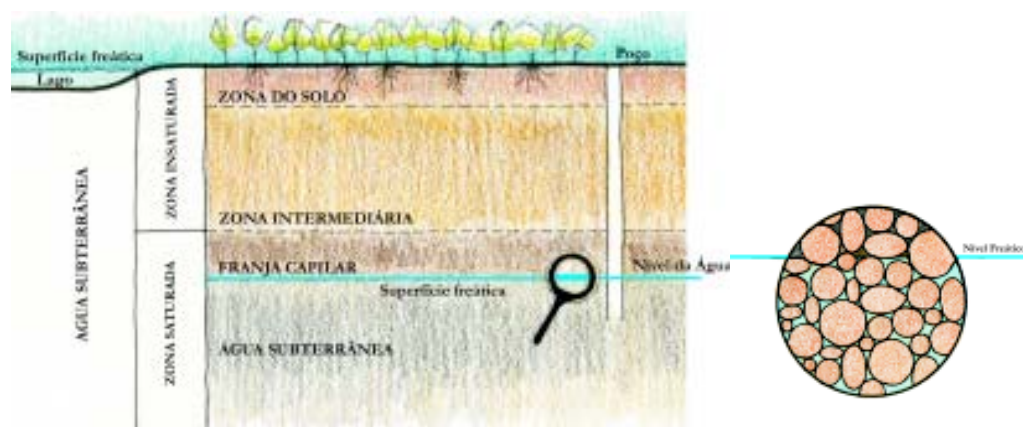
*Adaptado de [www.ana.gov.br/Bacias/ciclo/ciclo.htm](http://www.ana.gov.br/Bacias/ciclo/ciclo.htm) em 30.11.2001*

A água é um elemento natural indispensável à vida e exerce um importante papel de agente geológico modificador da superfície terrestre. Sua ocorrência na Terra obedece a um ciclo de transformações de estado e energia, chamado Ciclo Hidrológico. As águas correntes do escoamento superficial formam uma rede natural de drenagem (sistema fluvial), cuja densidade depende da morfologia da bacia, da permeabilidade do solo e da intensidade das chuvas.

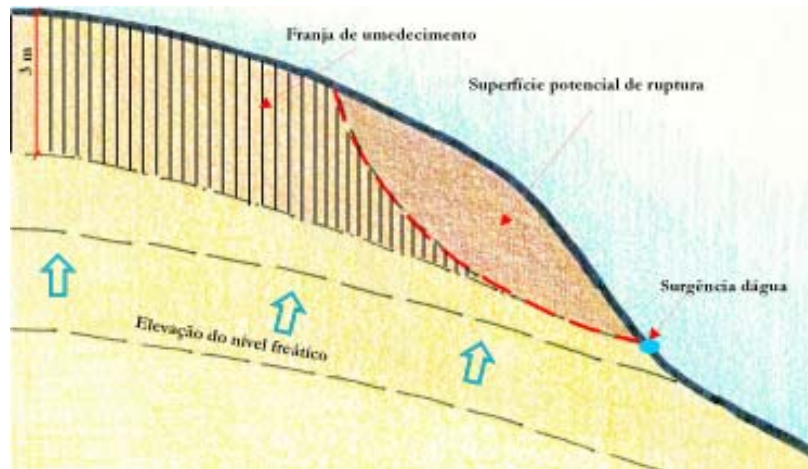
Quanto maior a densidade da rede de drenagem e a concentração das linhas d'água, mais suscetível de erosão será a área. As águas superficiais atuam principalmente nos processos de erosão-sedimentação, controlados pela gravidade: quanto maior a declividade, maior a velocidade de fluxo e, conseqüentemente, maior o poder de ação.

As águas de infiltração, ou águas subterrâneas, penetram nos poros dos solos e dos sedimentos ou nas fraturas e falhas das rochas, migrando para as zonas mais profundas onde se vão acumulando e saturando os espaços vazios, formando os mananciais subterrâneos, chamados aquíferos. Quando os solos ou sedimentos são mais argilosos, as águas subterrâneas

atuam principalmente nos processos de deslizamento: quanto maior a taxa de infiltração e a altura do nível freático, maior a suscetibilidade do terreno para deslizar. Por outro lado, quando o material é muito arenoso, quanto maior a infiltração e mais alto o nível freático, maior a probabilidade de erosão acelerada com a formação de voçorocas.



NÍVEL FREÁTICO  
 Adaptado de [www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br) em 18.10.2001



**NÍVEL FREÁTICO**  
*Adaptado de Cunha, 1991*

A superfície da zona saturada pela água é denominada de **Nível Freático**. Quanto mais elevado esse nível, mais saturados estão os terrenos e, conseqüentemente, maior o risco de deslizamento. O nível freático não alcança o topo dos morros. Nos períodos muito chuvosos, quando esse nível fica mais elevado, pode formar surgências ou fontes e ajudar a descalçar a base das encostas, facilitando o processo de ruptura, ou amplificando a erosão formando voçorocas.

Uma parte das águas que se infiltram não chega a recarregar os aquíferos. Fica retida nos poros dos solos, formando uma franja de umedecimento, que atinge, nos períodos de chuva, espessura aproximada de 3 metros. É principalmente nesse intervalo do solo onde se dão os deslizamentos na Formação Barreiras (Gusmão Filho, 1998).

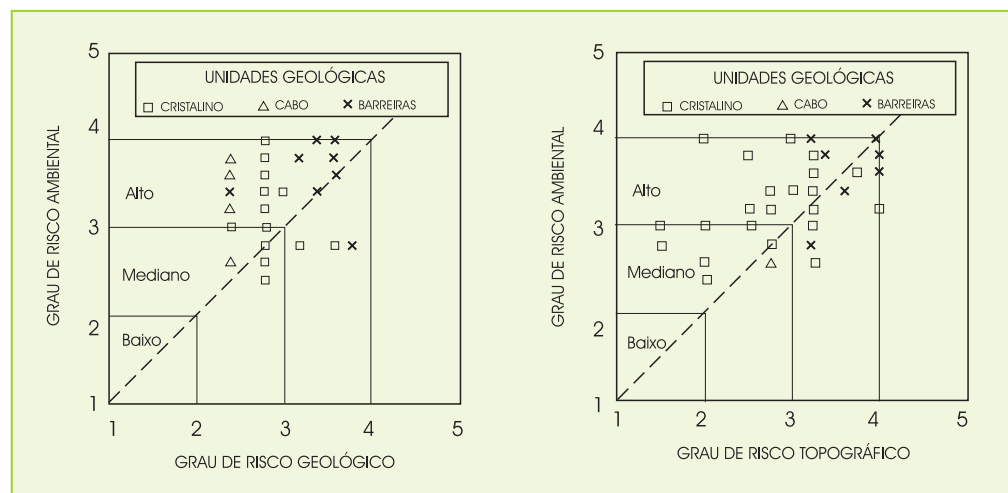
### *Fatores antrópicos*

Os fatores antrópicos têm um papel muito importante na composição do risco. A alta frequência de acidentes nos sedimentos da Formação Barreiras não se deve apenas às suas características geológicas, nem às suas feições topográficas, mas principalmente à forma como essas áreas são ocupadas, com cortes e aterros, lançamento de águas servidas e lixo.

Estudos sobre a importância relativa dos fatores de risco (Gusmão Filho et al., 1993a) mostraram que a frequência de riscos mais altos é maior para os fatores antrópicos, quando comparados aos fatores geológicos ou morfológicos.

#### IMPORTÂNCIA RELATIVA DOS FATORES ANTRÓPICOS sobre o RISCO

*Gusmão Filho et al., 1993a*



### Principais fatores antrópicos

Densidade populacional

Frequência de cortes e aterros

Taxa de solo exposto

Frequência de pontos de lançamento de lixo

Frequência de fossas nas encostas

Frequência de pontos de vazamentos/lançamento de águas

ÁREAS COM ALTA DENSIDADE POPULACIONAL

*Casa Amarela, Recife*



vista aérea

*Dois Irmãos, Recife*  
 Ocupação Espontânea



foto aérea fx18 foto 058 FIDEM/97

*Caetés, Abreu e Lima*  
 Ocupação Planejada



foto aérea fx100 foto 023 FIDEM/97



## Densidade populacional

O adensamento é um elemento de grande significado na formação do risco, particularmente nas Ocupações Espontâneas, que resultam da busca individual ou coletiva pela moradia, onde os próprios ocupantes são os agentes modificadores do espaço. A decisão de onde e como habitar é estabelecida à medida que o assentamento cresce. As necessidades vão criando o lugar e consolidando um tipo de ocupação desordenada considerada como o principal responsável pelo desequilíbrio das encostas.

Em contraposição, as Ocupações Planejadas, que têm no poder público o agente modificador do espaço, deveriam resultar em menor risco para a área. Entretanto os conjuntos habitacionais implantados nos morros adotam a terraplenagem generalizada, construindo nos topos e deixando sem tratamento as áreas das encostas, levando a sucessivas invasões por parte das camadas mais pobres da população, agravando a instabilidade das encostas.

### Frequência de cortes e aterros

As alterações que o processo de ocupação promove no relevo natural, através de cortes e aterros, são fortes indutores de deslizamentos e erosões. Quanto maior o número de moradias, maior o número de cortes/aterros e maior a probabilidade de verticalização dos taludes, por falta de espaço, aumentando o risco. Um caso particular de cortes são aqueles associados às atividades de mineração urbana, nas quais os grandes volumes de material de construção explorados deixam grandes e abruptos desníveis no relevo, gerando áreas suscetíveis de deslizamentos e transformando em áreas de risco as faixas ocupadas próximas à crista e ao pé desses cortes.

### Taxa de solo exposto

Este fator de risco é representado pela percentagem de cobertura vegetal removida em relação à área total da encosta. A remoção da vegetação expõe o solo ao choque direto da chuva e às águas correntes, permitindo uma maior infiltração de água nas encostas.

### Frequência de fossas nas encostas

As fossas absorventes (ou sumidouros) funcionam como pontos de concentração de água, de modo que quanto mais próximas e numerosas, maior o risco de deslizamentos que trazem para as moradias próximas.

### Frequência de pontos de lançamento de lixo

O acúmulo de lixo sobre uma encosta contribui para a saturação do solo. Sua progressiva acumulação pode levar a acidentes de deslizamento da massa de lixo, associada ou não à encosta. Quanto maior o número de pontos de concentração de lixo e maior o seu volume, maior a probabilidade de ocorrência de deslizamentos associados a esses maciços artificiais.

### Frequência de pontos de vazamentos/lançamento de águas

À semelhança das fossas, os pontos de lançamento de águas servidas e de vazamentos diretamente sobre o solo são fortes indutores de acidentes. Quanto mais bem servida de biqueiras, canaletas e outros condutos de água superficial, menor é o risco para os ocupantes da encosta.