

ROTEIRO PARA AVALIAÇÃO DE ESTABILIDADE DE ROCHAS E MACIÇOS ROCHOSOS

Geól. Dr. Nestor Kenji Yoshikawa

Para a compreensão do comportamento dos taludes rochosos e blocos rochosos é importante conhecer alguns parâmetros mecânicos das rochas. Cada tipo de solo ou rocha possui características físicas e mecânicas que correlacionadas com as condições do entorno, podem ser analisadas, visando um estudo de estabilidade.

- Tipo de rocha – A identificação do tipo de rocha nos dá informação dos seus constituintes minerais principais e de sua resistência.
- Grau de alteração das rochas – Fornece diretamente a resistência mecânica da rocha e, aliado ao conhecimento do tipo de rocha, pode-se estimar a velocidade de evolução da alteração.
- Ângulo de atrito – É um parâmetro relacionado diretamente com o coeficiente de atrito. Trata-se do ângulo pelo qual ocorre a ruptura do material por cisalhamento.
- Coesão – Fornece características de ligação das partículas constituintes da rocha, indicativas da resistência do material.
- Forma geométrica dos blocos rochosos – Possibilita determinar o centro de gravidade, para analisar se o bloco rochoso se encontra em equilíbrio instável ou estático (“balanço”).
- Condições de contato – É o comportamento do contato entre dois planos, podendo estar preenchidos por um terceiro material diferente ou permitindo a percolação de água. As condições de contato podem definir também a condição do escorregamento, estudando-se as condições de rugosidade e inclinação do plano basal.
- Plano basal – Superfície planar constituída de solo ou rocha, na qual pode ocorrer uma movimentação de materiais rochosos ou terrosos.
- Descontinuidades – São fraturas naturais ou mecânicas (por intervenção), seladas ou não (preenchimento de material na fratura aberta).

CONSIDERAÇÕES SOBRE OS PROBLEMAS MAIS COMUNS COM INSTABILIDADE DE ROCHAS EM ÁREAS DE RISCO

As áreas de encostas onde afloram blocos e maciços rochosos, principalmente no litoral do sudeste brasileiro, têm sido ocupadas por moradias originando diversas situações de risco. Nestes locais, o intenso intemperismo e as intervenções humanas ao longo do processo de ocupação têm dado origem a grandes afloramentos e exposição de blocos rochosos que se movimentam ao longo do tempo. Os casos mais comuns de instabilidade ocorrem conforme mostram as Figuras 1 e 2, nas quais os sucessivos cortes na encosta produzidos pelo processo desordenado de ocupação podem causar o afloramento e a instabilização de matacões inicialmente imersos no solo.

A partir da geração de uma situação potencialmente instável, a ação posterior de águas pluviais e servidas pode deflagrar processos erosivos e mudanças na condição de estabilidade do bloco rochoso, provocando sua movimentação ao longo do tempo, até sua ruptura (queda). A Figura 3 mostra um perfil esquemático com os processos mais comuns de instabilização de blocos rochosos e o risco para moradias. A situação se agrava quando o bloco possui descontinuidades (fratura), conforme mostrado na Figura 4.

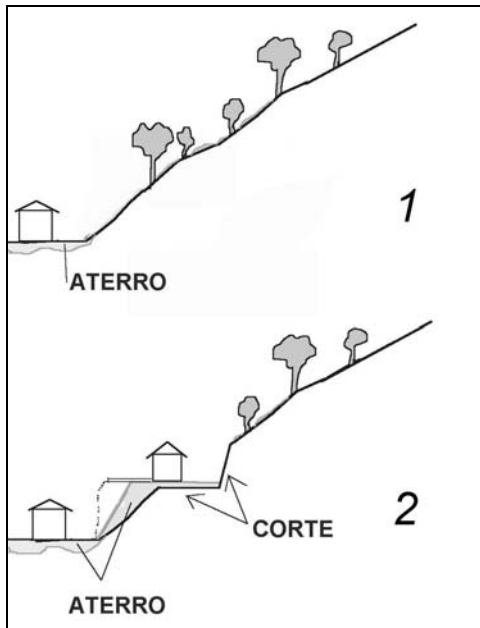


FIGURA 1 - (1) Ocupação de base de encosta, (2) evolução da ocupação.

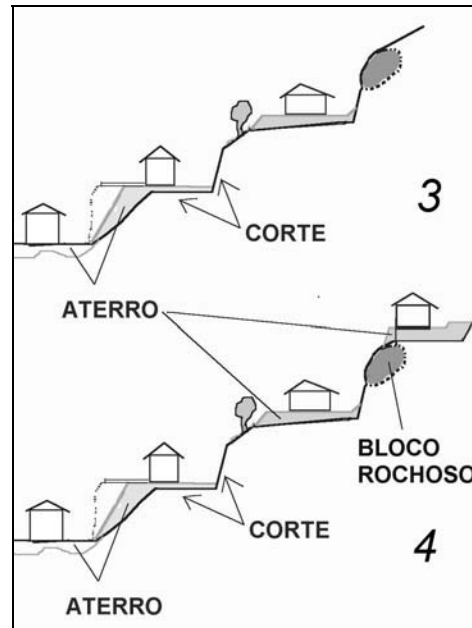


FIGURA 2 - (3) Execução de cortes e aterros aflorando blocos rochosos, (4) Instabilização do bloco rochoso.

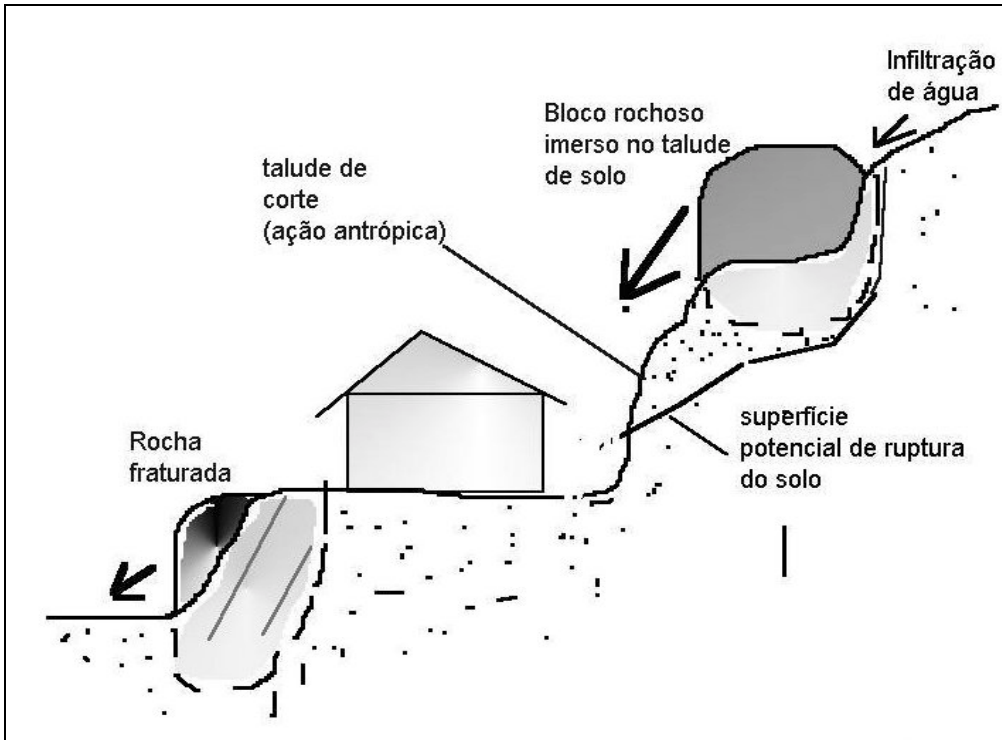


FIGURA 3 – Alguns exemplos de processos que instabilizam o bloco rochoso e criam uma situação de risco para a moradia.

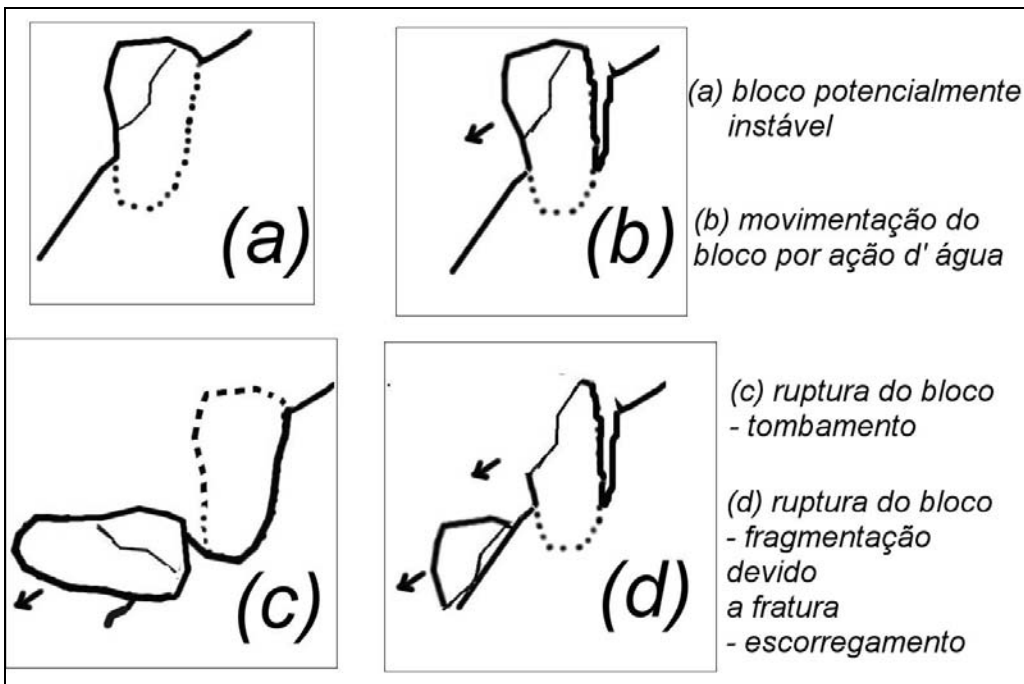


FIGURA 4 - Sequência dos processos de instabilização até a ruptura de uma bloco rochoso fraturado.

Os casos mais comuns de instabilidade em rocha são mostrados esquematicamente na Figura 5.

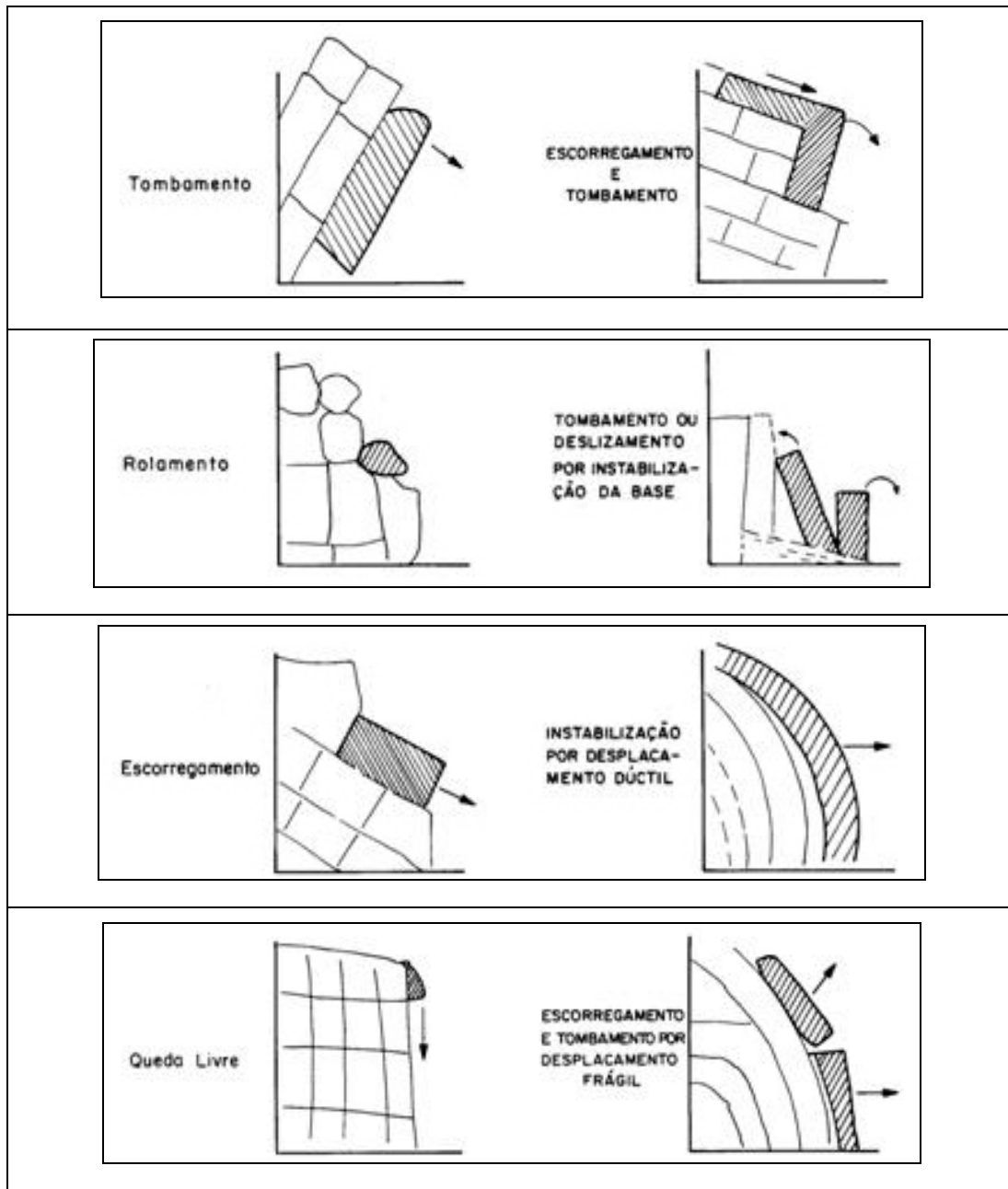


FIGURA 5 – Casos comuns no processo de instabilização

Na Figura 6, é mostrado por meio do Fluxograma, a seqüência ideal a ser adotada, a partir de uma situação encontrada até a avaliação de risco. O procedimento após esta etapa consiste em fases até a execução de obras definitivas, o que não foi abordado neste texto por se tratar de ações emergenciais. (modificado de Yoshikawa, 1997 - Fluxograma 1).

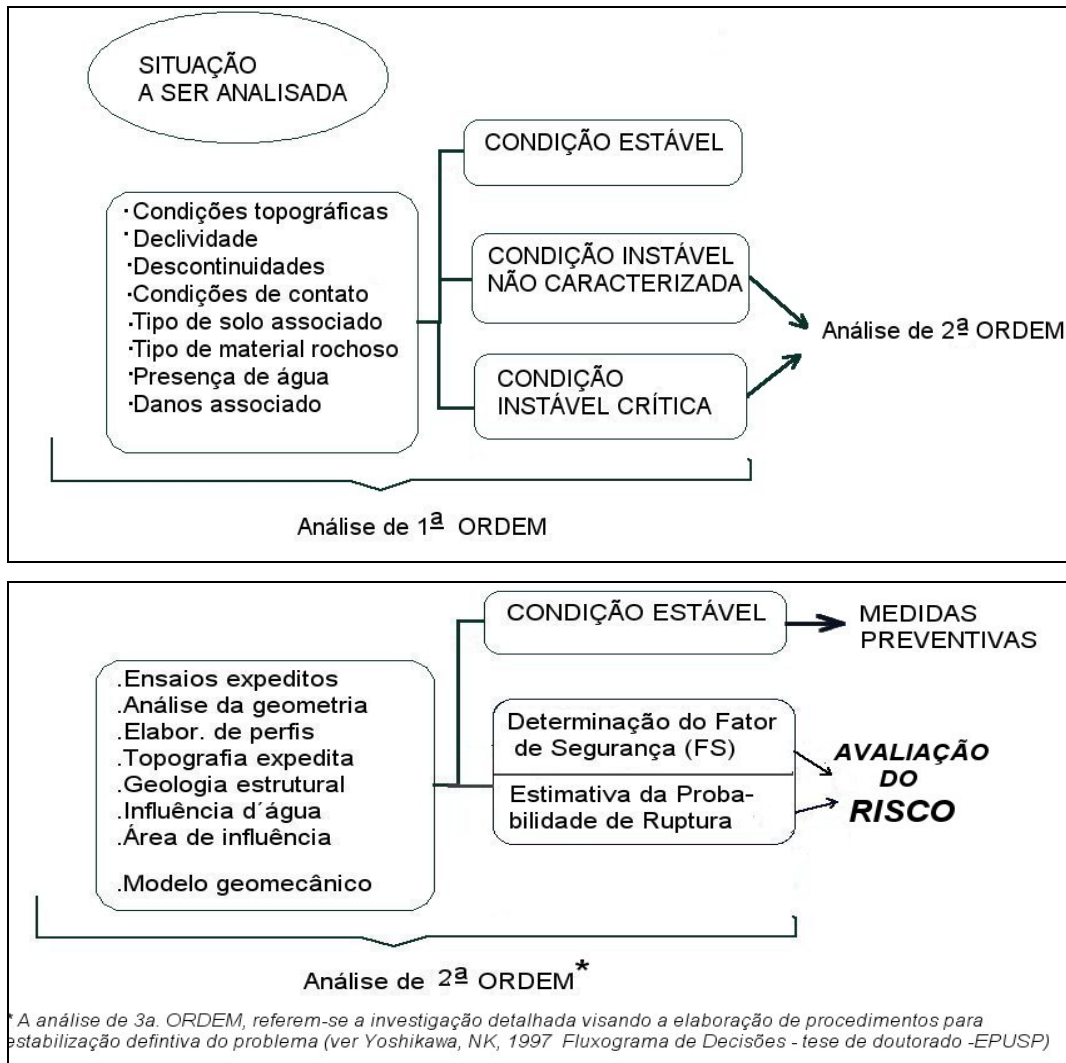


Figura 6 - Fluxograma parcial para avaliação de encostas rochosas. (Yoshikawa, 1997)

Para identificação de uma situação de instabilidade devem ser seguidos os seguintes passos:

Análise pós-ruptura

Normalmente as análises são feitas somente após um acidente, quando o ideal seria a identificação das condições desfavoráveis para a tomada de ações de prevenção. Na maioria dos casos, quando ocorre a ruptura, a situação remanescente é de difícil análise e geralmente a solução por contenção exige um alto custo.

A investigação de um acidente pressupõe identificar se o talude é de solo ou de rocha:

Talude em solo (superfície do plano basal em solo):

1. Verificar se há outros blocos na massa terrosa;
2. Verificar se o talude remanescente é vertical, inclinado ou negativo;
3. Medir a altura em que encontra o bloco rochoso em relação à base
4. Verificar a forma geométrica do bloco rochoso;
5. Identificar se o solo é de aterro ou solo natural;
 - solo residual – apresenta estruturas e granulometria homogênea;
 - solo coluvionar – apresenta uma heterogeneidade de grãos; e
 - solo de aterro – desagrega facilmente e geralmente apresenta entulhos na massa terrosa.
6. Identificar se há condução de água de chuva para o talude, e identificar surgência d'água;
7. Verificar a direção preferencial de queda do bloco;
8. Interditar as casas na faixa de influência (faixa de espera);
9. Se a base for uma berma de talude, construir alambrado provisório para amortecimento; e
10. Verificar se a remoção instabiliza o talude.

Talude em rocha (superfície do plano basal em rocha):

1. Classificar se o talude é vertical, inclinado ou negativo;
2. Verificar os planos da fratura e se possível medir os ângulos basais de inclinação e sua direção (acima de 30 graus);
3. Verificar se há percolação de água pelas fraturas;
4. Determinar o nível de alteração;
5. Identificar se há intercalações de rocha mais alteradas;
6. Identificar se há blocos em “balanço”;
 - plano basal inclinado, e porção do bloco em contato maior que 80%;
 - plano basal subhorizontal a horizontal – porção bloco em contato maior que 60%; e
 - blocos com altura maior que 1,5 vezes a largura de base.
7. Verificar a dimensão do bloco rochoso, ou talude rochoso instável, pois normalmente o volume envolvido de material é fundamental para se ter uma idéia do poder de destruição no caso de ruptura, bem como

questão de custo e dificuldades associadas a sua remoção ou estabilização.

Como foi citado anteriormente, são quatro os tipos distintos na qual podem ocorrer as rupturas:

1. Queda de blocos;
2. Queda e rolamento;
3. Deslizamento (escorregamento); e
4. Deslizamento e rolamento.

Os casos típicos encontrados no litoral paulista são mostrados na Figura 7.

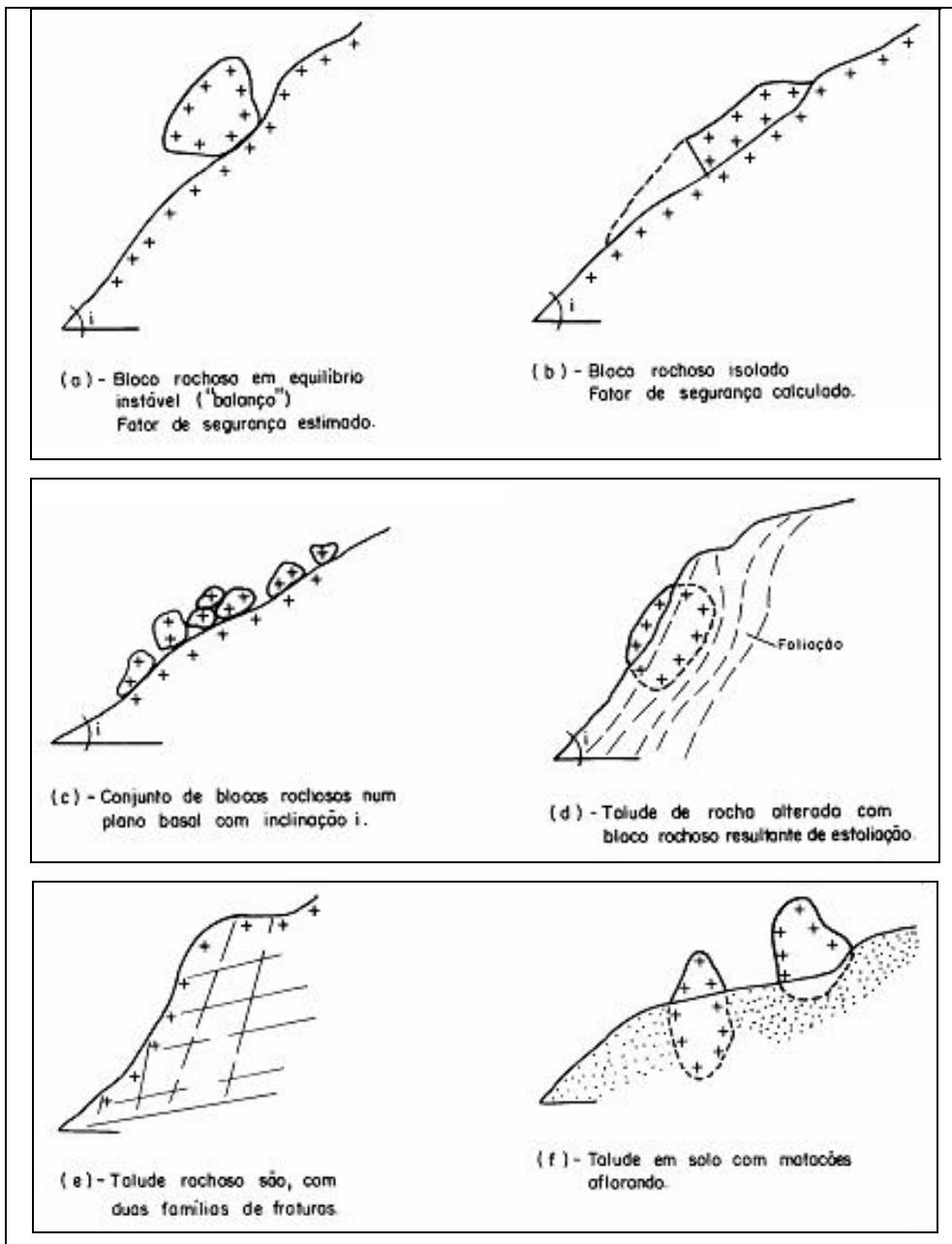


Figura 7 - Casos típicos encontrados nos morros do litoral paulista (in Yoshikawa, 1997)

Geralmente a ruptura em rocha, seja qual for a natureza do processo mecânico, ocorrerá somente nos casos onde o Fator de Segurança (FS) já se encontra baixo (próximo de 1,0). Em uma análise, para se garantir que a situação não se encontre nesta condição, conforme Yoshikawa (1997), devido às incertezas presentes na avaliação de encostas em área de risco, deve-se ter como referência um FS determinado bem acima de 1,0 (em torno de 3,5).

O processo de ruptura pode ser somente por queda de blocos, porém na maioria dos casos, o processo termina com o rolamento nas encostas até encontrar uma barreira suficiente para impedir sua progressão.

A queda sempre ocorre por um desequilíbrio do corpo rochoso, deflagrado por presença de água ou movimentos de solo. Pelo fato da rocha encontrar-se com um fator de segurança baixo, este se desequilibra e cai.

O deslizamento de rocha é deflagrado sempre que as condições de atrito são vencidas por influência da água e pela alteração do material de contato. No entanto, na maioria dos casos em que ocorrem estes processos de ruptura, observa-se condições de fraturamento bem como ângulos de mergulho destes planos desfavoráveis às características do material. A pressão neutra provocada pela vazão de água sempre é um fator desencadeador de um processo de ruptura.

No caso em que a rocha encontra-se em talude de solo, há que se verificar a forma geométrica, as condições de drenagem, e se a base do talude é vertical ou negativa.

No caso de talude em rocha, deve-se verificar primordialmente o ângulo de contato, o tipo de rocha, o grau de alteração e a presença de percolação de água nas fraturas.

Para taludes de rocha mediana a muito alterada, as condições de drenagem são desfavoráveis, possibilitando um processo de intemperização muito rápido. Sendo assim, há que se identificar e barrar a percolação de água e verificar o ângulo de inclinação do talude, que não poderá ultrapassar 45 graus.

A partir da adoção do método de equilíbrio limite, onde são contabilizadas as condições favoráveis e desfavoráveis traduzidas pelo balanço de forças na condição de estabilidade presente, pode-se determinar um Fator

de Segurança. Para um estudo detalhado é necessária a obtenção de dados para o cálculo do Fator de Segurança. As Figuras 8, 9 ,10 e 11 mostram exemplos de alguns levantamentos feitos para tal estudo.

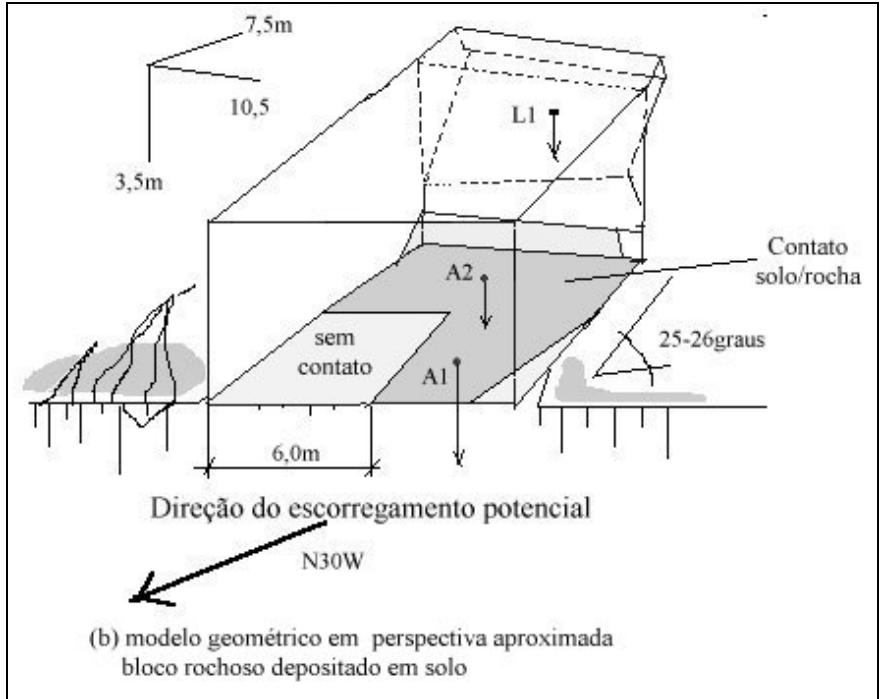


FIGURA 8 - Levantamento geométrico modelizado efetuado para um bloco rochoso (Ilhabela, 2000)

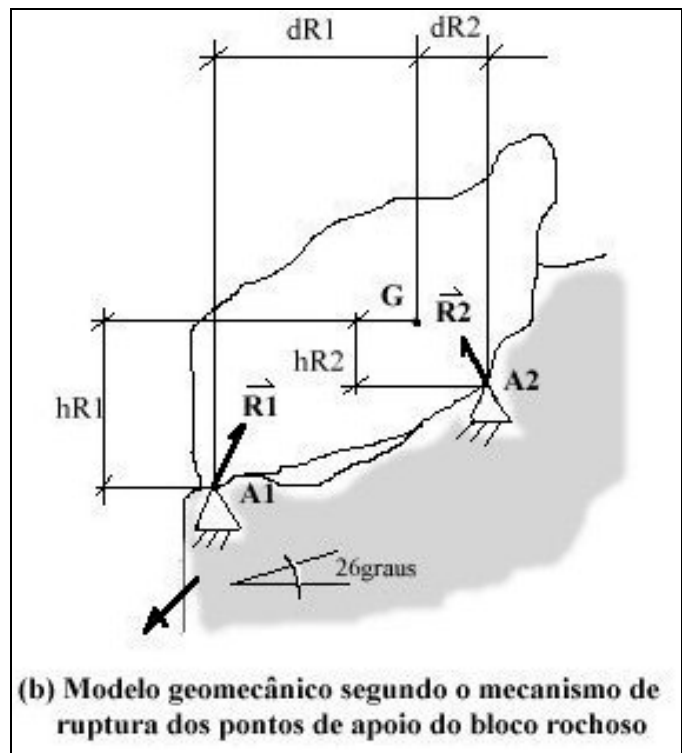


FIGURA 9 - Exemplo de um modelo geomecânico para estudo de estabilidade pelo método do equilíbrio limite.



FIGURA 10 - Blocos rochosos potencialmente instáveis.

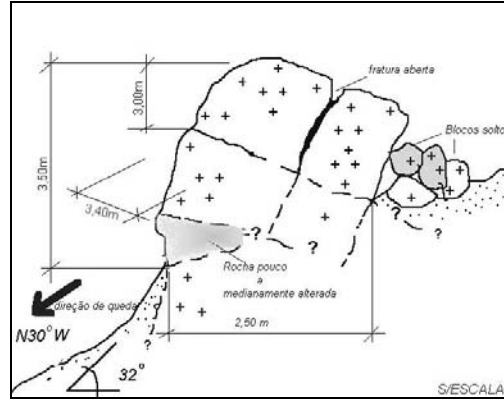


FIGURA 11 - Exemplo de ilustração para levantamento geométrico

Na avaliação expedita, ou de caráter emergencial, executa-se o levantamento dos parâmetros que em tese, são determinantes para se fazer o balanço de forças. Deve-se incluir ainda outros condicionantes geotécnicos considerados importantes baseados em observações estatísticas de muitos casos. Portanto, empiricamente, através de uma ficha de levantamento dos parâmetros relevantes, os casos analisados são classificados em estável ou instável.

AVALIAÇÃO DA INSTABILIDADE

Para o estudo de estabilidade de solo, temos na maioria dos casos, como processo deflagrador da ruptura, a ação das águas. Já no caso de rochas, podemos separar em 3 categorias:

1. Bloco rochoso depositado em talude de solo

Processo deflagrador:

- a) Ação das águas (perda de resistência por saturação, erosão na base, etc,)
- b) Mudança do estado de tensão no solo (escavações, progressão da vegetação no talude, etc).

2. Bloco rochoso depositado em talude de rocha

Processo deflagrador:

- a) Ação das águas (alteração diferencial no contato, pressão neutra nas fraturas, solitação mecânica por fluxo d'água).

b) Vegetação (abertura de fraturas, reposicionamento dos blocos, solicitação por movimentação de árvores, etc.).

3. Talude rochoso fraturado.

Processo deflagrador:

a) Ação das águas (pressão neutra nas fraturas, solicitação mecânica por fluxo d'água, alteração nas descontinuidades, remoção de materiais de preenchimento nos contatos, etc.).

b) Vegetação (abertura de fraturas, reposicionamento dos blocos, solicitação por movimentação de árvores, etc.).

Grau de instabilidade inerente a cada categoria

Considera-se que, para cada situação de instabilidade encontrada é necessária uma avaliação particular, no entanto, nos casos analisados pelo IPT, considerando-se o plano basal inclinado, observou-se que a instabilidade aumenta quando a rocha está associada a solo. Temos a instabilidade inerente decrescente nas categorias de 1 a 3.

Na Categoria 1, quando há contato de rocha com solo, a instabilidade resultante é sempre maior do que quando ocorrer contato rocha com rocha.

Utilização do Roteiro Sintetizado numa Ficha de Avaliação de Campo

Conforme citado anteriormente, todos os conceitos associados a estabilidade de taludes rochosos, tais como, condições de atrito, grau de fraturamento, alteração, coesão, equilíbrio instável estão previstos como fatores favoráveis e/ou desfavoráveis para estabilidade de um bloco rochoso ou de um talude rochoso.

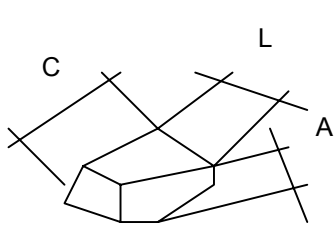
Como nos trabalhos emergenciais de campo, as análises são expeditas. Os estudos realizados visam distinguir basicamente duas condições:

- Estáveis
- Instáveis

O grupo de situações instáveis deverá ser subdividido em subgrupos, nos quais a tomada de decisão será de acordo com a situação encontrada após análise mais detalhada, a cargo de um profissional habilitado.

Adotando-se uma postura conservadora, todos os casos que recaírem na condição instável deverão ser considerados de risco quando vislumbrado o potencial de danos.

PPDC - PLANO PREVENTIVO DE DEFESA CIVIL		1/2	
VISTORIA TÉCNICA PARA BLOCOS ROCHOSOS		Cadastro	
EM ENCOSTAS		Número _____	
LOCALIZAÇÃO:		DATA: __/__/200__	
1. Tipologia			
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin-bottom: 10px;">TALUDE ROCHOSO</div> <p>A) VERTICAL <input type="checkbox"/> (80 A 90) B) INCLINADO <input type="checkbox"/></p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin-bottom: 10px;">TALUDE EM SOLO</div> <p>A) VERTICAL <input type="checkbox"/> B) INCLINADO <input type="checkbox"/></p>		
2. Localização dos blocos rochosos			
<p>IMERSO NO SOLO <input type="checkbox"/></p> <p>FAZ PARTE DO TALUDE EM ROCHA <input type="checkbox"/></p>	<p>DEPOSITADO NO TOPO DO TALUDE DE SOLO <input type="checkbox"/></p> <p>DEPOSITADO NO TOPO DO TALUDE EM ROCHA <input type="checkbox"/></p>		
3. Condições de contato do bloco (s) rochoso(s)			
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin-bottom: 10px;">1 Rocha/Rocha</div> <p>CONTATO LISO <input type="checkbox"/></p> <p>CONTATO PREENCHIDO <input type="checkbox"/></p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin-bottom: 10px;">2 Rocha /Solo</div> <p>SOLO SECO <input type="checkbox"/></p> <p>SOLO SATURADO <input type="checkbox"/></p> <p>EROSÃO NO CONTATO <input type="checkbox"/></p>		
4. Ângulo do Plano basal (GRAUS)			
A) 0 – 15 <input type="checkbox"/>	A) 15 – 35 <input type="checkbox"/>	B) MAIOR QUE 35 graus <input type="checkbox"/>	
<p>Bloco rochoso</p> <p>Talude</p> <p>ângulo do plano basal (ângulo do plano de contato)</p>	5. Condições de equilíbrio estático		
	70% EM CONTATO <input type="checkbox"/>		
	< 70% EM CONTATO <input type="checkbox"/>		
	6. Condições de alteração do material		
	SÃO <input type="checkbox"/>	MÉDIO A POUCO ALTERADO <input type="checkbox"/>	
	MUITO ALTERADO <input type="checkbox"/>	DESAGREGA MANUAL <input type="checkbox"/>	
<p>Bloco depositado no topo</p> <p>Bloco imerso no solo</p> <p>aterro</p> <p>Talude em solo (talude inclinado)</p>	<p>bloco depositado no topo</p> <p>bloco faz parte do talude</p> <p>família de fraturas</p> <p>Talude em rocha vertical ou subvertical</p>		

<p>7. Forma geométrica</p> <p>LASCAS (Extremidades finas) <input type="checkbox"/></p> <p>LAJES (Largura ou espessura bem menor que o comprimento) <input type="checkbox"/></p> <p>ARREDONDADOS OU CÚBICOS <input type="checkbox"/></p> <div style="text-align: center;">  </div>	<p>8. Posição</p> <p>ÁREA MAIOR DO BLOCO EM CONTATO <input type="checkbox"/></p> <p>ÁREA MENOR DO BLOCO EM CONTATO <input type="checkbox"/></p> <p>9. Dimensões (aproximadas)</p> <p>LARGURA(L) _____</p> <p>COMPRIMENTO(C) _____</p> <p>ALTURA (A) _____</p> <p>A) Menor que 20x20x20cm <input type="checkbox"/></p> <p>B) Maior que 20x20x20cm <input type="checkbox"/></p>
<p>10. Estrutura</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 45%;"> <p style="text-align: center;">1 Talude em rocha</p> <p>01 família de fraturas <input type="checkbox"/></p> <p>02 família de fraturas <input type="checkbox"/></p> <p>03 ou mais famílias <input type="checkbox"/></p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 45%;"> <p style="text-align: center;">2 Talude em solo</p> <p>Associado a solo natural <input type="checkbox"/></p> <p>Associado a aterro <input type="checkbox"/></p> </div> </div>	<p>11. Desenho da situação</p> <div style="border: 1px solid black; height: 150px; width: 100%;"></div>
<p>Observações:</p> <p>(ex.: é caminho d'água)</p>	
<p>Quantidade de A) = _____</p> <p>Quantidade de B) = _____</p> <p>Se B > A INSTÁVEL</p> <p>Se B >>A MUITO INSTÁVEL</p> <p>Se B < A ESTÁVEL</p>	

- 1. ESTÁVEL (B<A).....**
- 2. MONITORAR(B=A OU B>A DIF. ATÉ 1**
- 3. INTERDITAR E SOLICITAR INSPEÇÃO TÉCNICA (B>>>A).....**

<p><u>Vistoria efetuada por:</u></p> <p>nome _____ ass _____</p>

Avaliação do risco

No roteiro aqui estabelecido, a caracterização do risco será puramente qualitativa, pois não se pretende fazer uma análise de risco propriamente dita, mas sim, ter uma noção do risco a partir de observações expeditas no campo, considerando-se o perigo existente, principalmente quanto a localização e a quantidade de moradias ou edificações.

Critério para estabelecimento de risco

No Quadro 1 abaixo é feito um resumo dos critérios para o estabelecimento do grau de risco e as ações correspondentes. Deve-se enfatizar que para os graus de risco médio, alto e muito alto, mesmo não ocorrendo indícios de movimentação da encosta ou talude, as moradias e outras áreas deverão ser interditadas.

Quadro 1 - Critério para estabelecimento do grau de risco

Grau de risco	Condição da rocha obtida na ficha de campo	Caracterização do risco	Condicionante	Ação
R1	Estável	Risco baixo ou inexistente	Sinais de escavação ou outra atividade antrópica	-
R2	Instável	Risco Médio	Já ocorreu a ruptura Remanescente em direção da área de influência	Alerta – Interdição
R3	Instável	Risco Alto	não ocorreu ruptura Direção de queda provavelmente na área de influência	Alerta – Interdição
R4	Muito Instável	Risco Muito Alto	Qualquer atividade de uso e ocupação no entorno.	Alerta – Interdição

AÇÕES EMERGENCIAIS E OBRAS DE ESTABILIZAÇÃO

Para ações emergenciais tendo em vista, uma ruptura ocorrida, ou a determinação de uma situação muito instável por meio da ficha de avaliação, pode-se lançar mão de algumas intervenções emergenciais.

TÉCNICAS DE CONTENÇÃO EMERGENCIAIS

1. Reforço de base com cascalhos ou rachão;
2. Impermeabilização contra águas pluviais na superfície do talude de solo;
3. Paliçadas de madeira com telas de alambrado;
4. Desvio das águas superficiais de cotas superiores com canaletas tipo meia-cana;
5. Suspensão por cabos de aço;
6. Escavação de “berços”.
7. Desvios de água por meio de meias-canas

TÉCNICAS DE ESTABILIZAÇÃO

Depois de definida a probabilidade do risco conforme análise anterior pode se definir o tipo de intervenção a ser adotada, tais como:

- Muros de arrimo;
- Atirantamento de blocos;
- Muros atirantados;
- Grelhas atirantadas;
- Contrafortes (Gigantes);
- Construção de pilares de concreto;
- Retaludamento do solo;
- Retaludamento do maciço rochoso; e
- Drenagem por barbacãs.

Conforme citado anteriormente, para eliminar o risco, caso o problema esteja restrito a blocos rochosos devidamente identificados como instáveis, pode se executar sua remoção ou sua fragmentação em dimensões menores. Os métodos mais comuns são:

- Cantaria,
- Métodos de desmonte por explosivos convencionais e plásticos;
- Argamassas ou lamas expansivas;
- Pólvora negra;

- “Boulder buster”; e
- Derrubada por alavancas (manual).

MONITORAMENTO EXPEDITO

Uma etapa de suma importância, porém pouco utilizada, é a observação contínua de situações potencialmente instáveis, que poderão gerar situações de risco. O processo sistemático de observação e medição, visando estabelecer o comportamento de uma rocha ou maciço rochoso, denomina-se monitoramento ou auscultação quando se utiliza equipamentos de precisão.

Recomenda-se a adoção de monitoramento expedito, devido a seu baixo custo e facilidade de operação.

Os métodos de monitoramento expedito mais comuns são:

- Indicadores de abertura de fraturas com colunas de gesso;
- Documentação fotográfica;
- Medida de deslocamento de blocos com trena;
- Verificação da movimentação de solo através da vegetação, em taludes com blocos imersos;
- Inspeção de surgências ou percolações de água; e
- Verificação de trincas ou abatimentos de solo.