

Análise estrutural aplicada à estabilidade de taludes

Antonio Liccardo

Taludes

- **Superfícies inclinadas que delimitam um maciço terroso ou rochoso.**
- **Naturais ou Artificiais**

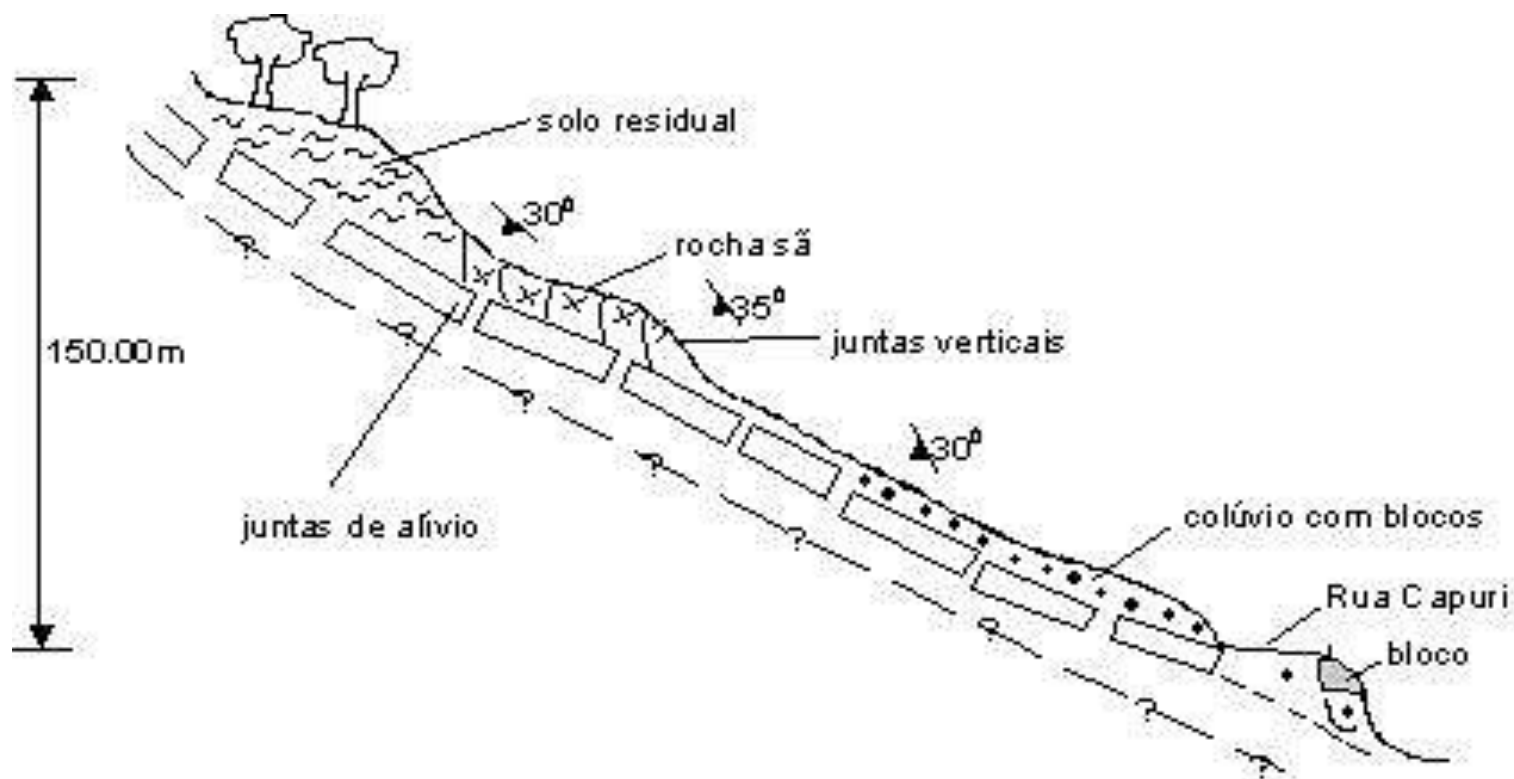
Taludes naturais ou encostas



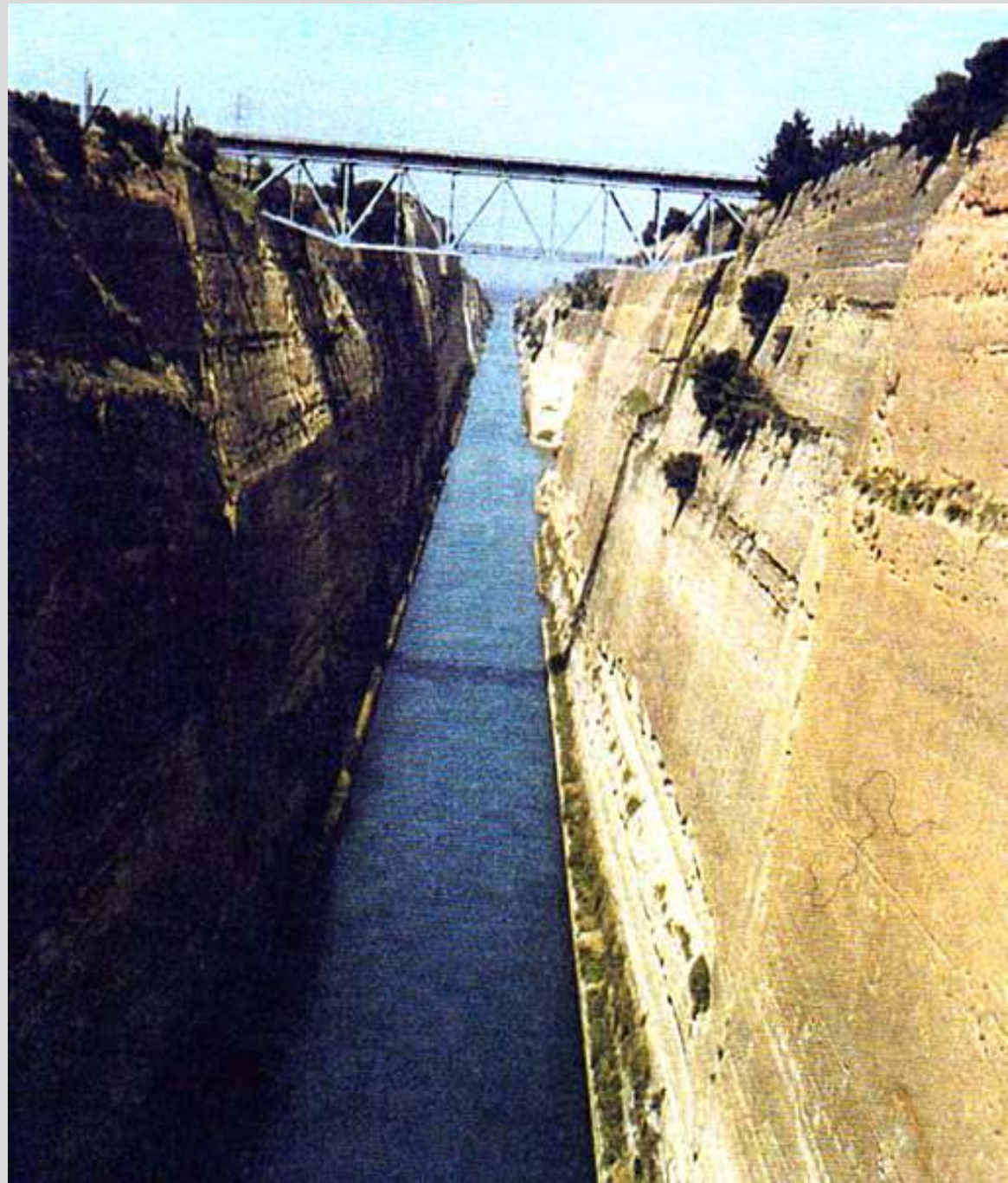
Taludes naturais ou encostas



Perfil típico de talude natural



Talude
artificial
- canal -



Talude artificial em mineração



Talude artificial em rodovias



Componentes de um talude

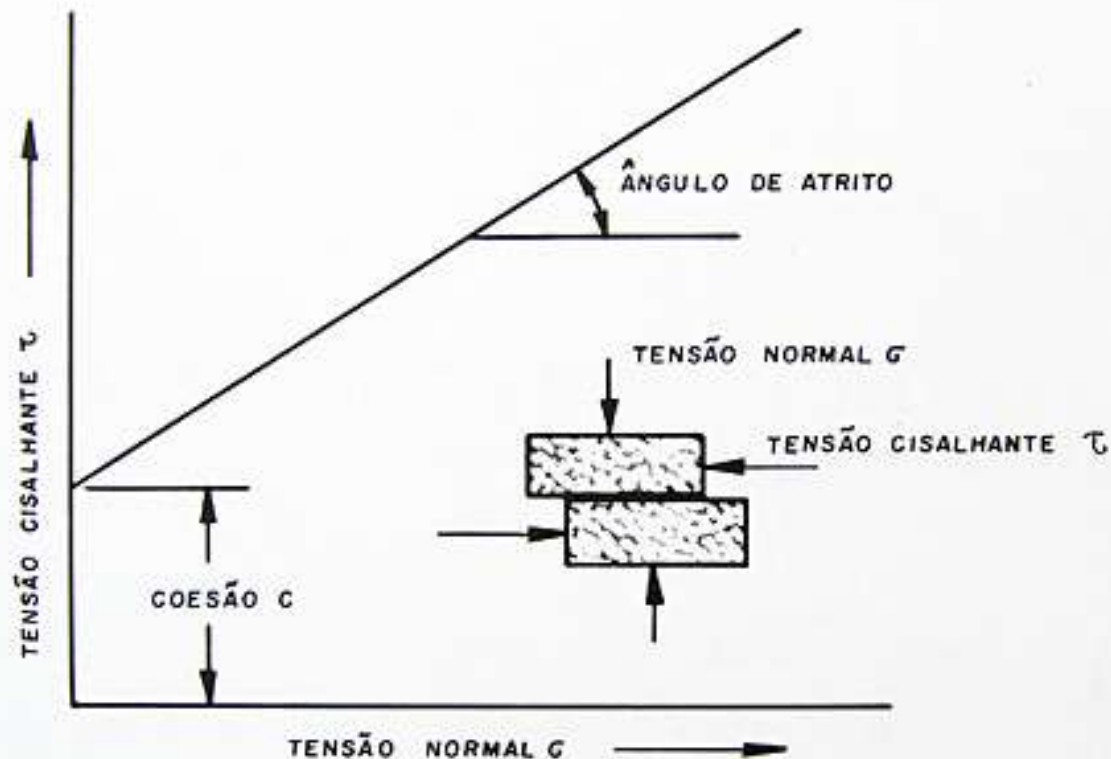
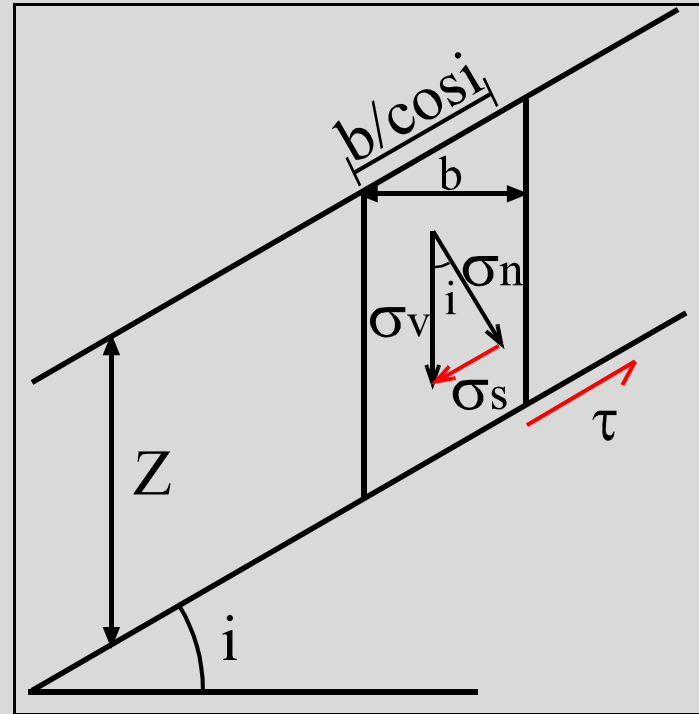


Figura 50 Correlação entre a tensão de cisalhamento τ necessária para produzir escorregamento ao longo da descontinuidade e a tensão normal σ , que atua ao longo da mesma (Hoek e Bray, 308)

FATOR DE SEGURANÇA

$$F_s = \frac{\tau}{\sigma_s}$$



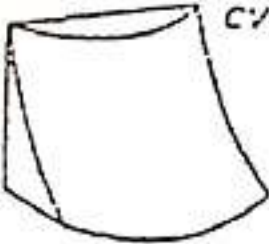
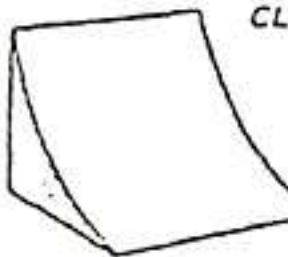
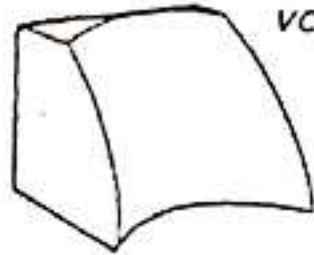
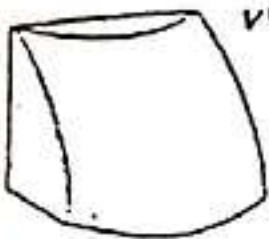
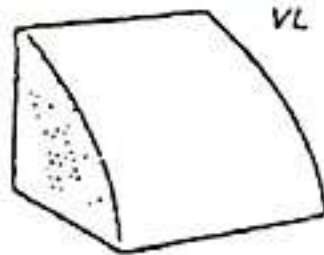
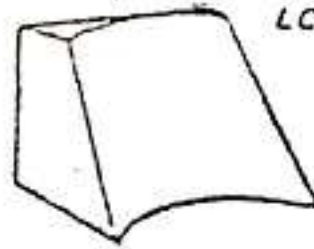
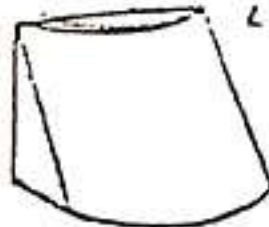
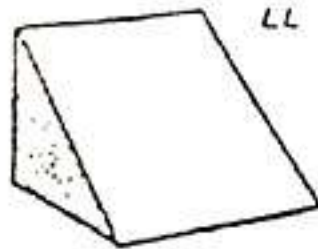
$$F_s = \frac{\text{forças resistentes}}{\text{forças sollicitantes}}$$

Tabela 15.9 Coeficientes de segurança determinísticos e as respectivas condições de estabilidade do talude (Carvalho, 1991)

COEFICIENTE DE SEGURANÇA (CS)	CONDIÇÃO DO TALUDE
$CS < 1,0$	Talude instável; caso o talude venha a ser implantado (corte ou aterro) nestas condições, deverá sofrer ruptura.
$CS = 1,0$	Condição limite de estabilidade associada à iminência de ruptura; também condição adotada geralmente nos cálculos de retroanálise.
$CS > 1,0$ (pouco maior)	Condição estável; quanto mais próximo de 1,0 for o CS, mais precária e frágil será a condição de estabilidade do talude.
$CS \gg 1,0$ (muito maior)	Condição estável; quanto maior for o CS, menores serão as possibilidades do talude vir a sofrer ruptura quando submetido a condições críticas (percolação d'água, etc.).

Tipos de taludes

L - LINEAR
V - CONVEXO
C - CÔNCAVO



Para que serve a análise da estabilidade de taludes?

- Projetar taludes mediante o cálculo do fator de segurança
- Definir o tipo de medidas corretivas ou estabilizadoras que devem ser aplicadas no caso de rupturas reais ou potenciais

Problemas em taludes artificiais



Escorregamento em talude natural



O que é necessário?

- Conhecimento geológico e geomecânico dos materiais que formam o talude
- Conhecimento dos possíveis modelos ou mecanismos de ruptura que possam atuar
- Conhecimento dos fatores que influenciam, condicionam e desencadeiam as instabilidades

Considerações

- As dimensões do talude
- A litologia e estrutura geológica
- A posição do nível freático e condições hidrogeológicas
- Tipo e espessura do solo
- Vegetação
- Lubrificação entre as partículas
- Os requisitos do projeto

Seqüência de investigações

- Detalhamento geológico
- Coleta de amostras
- Métodos sísmicos
- Sondagens
- Ensaios de permeabilidade

Fatores que influenciam a estabilidade dos taludes

- 1. Fatores geométricos – altura e inclinação
- 2. Fatores condicionantes - são intrínsecos aos materiais
- 3. Fatores desencadeantes – cargas dinâmicas, fatores climáticos, etc..

Fatores condicionantes

- Geológicos - litológicos e estruturais
- Hidrogeológicos
- Geotécnicos

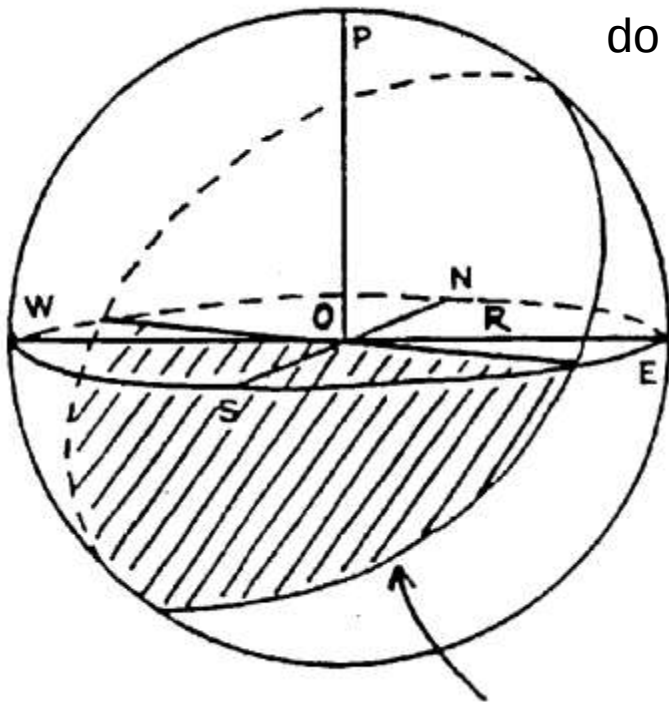
Valores intrínsecos para as rochas - geotecnia

Tabela 15.6 Valores de atrito para rochas intactas, juntas e juntas cisalhadas (Hoek, 1972)

TIPO DE ROCHA	ÂNGULO DE ATRITO (°)		
	INTACTA	JUNTA	RESIDUAL
Andesito	45	31-35	28-30
Basalto	48-50	47	-
Gesso	-	35-41	-
Diorito	53-55	-	-
Granito	50-64	-	31-33
Grauwaca	45-50	-	-
Calcário	30-60	-	33-37
Monzonito	48-65	-	28-32
Pórfiro	-	40	30-34
Quartzito	64	44	26-34
Arenito	45-50	27-38	25-34
Xisto	26-70	-	-
Folhelho	45-64	37	27-32
Siltito	50	43	-
Ardósia	45-60	-	24-34

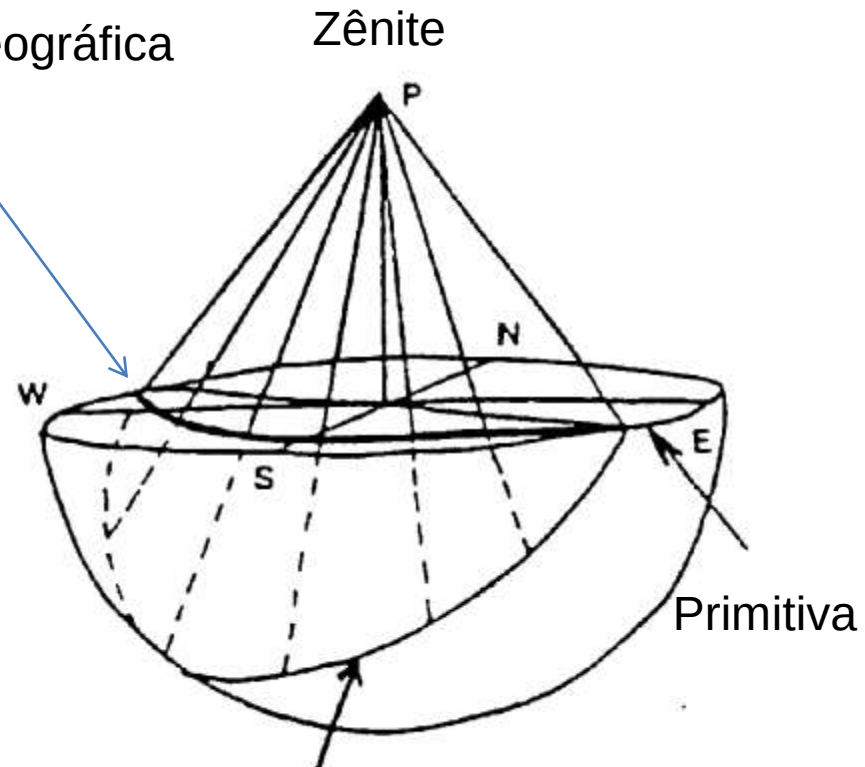
A análise geológica estrutural

Projeção estereográfica



Projeção esférica
do plano

Projeção estereográfica
do plano



Projeção esférica
do plano

Zênite

P

N

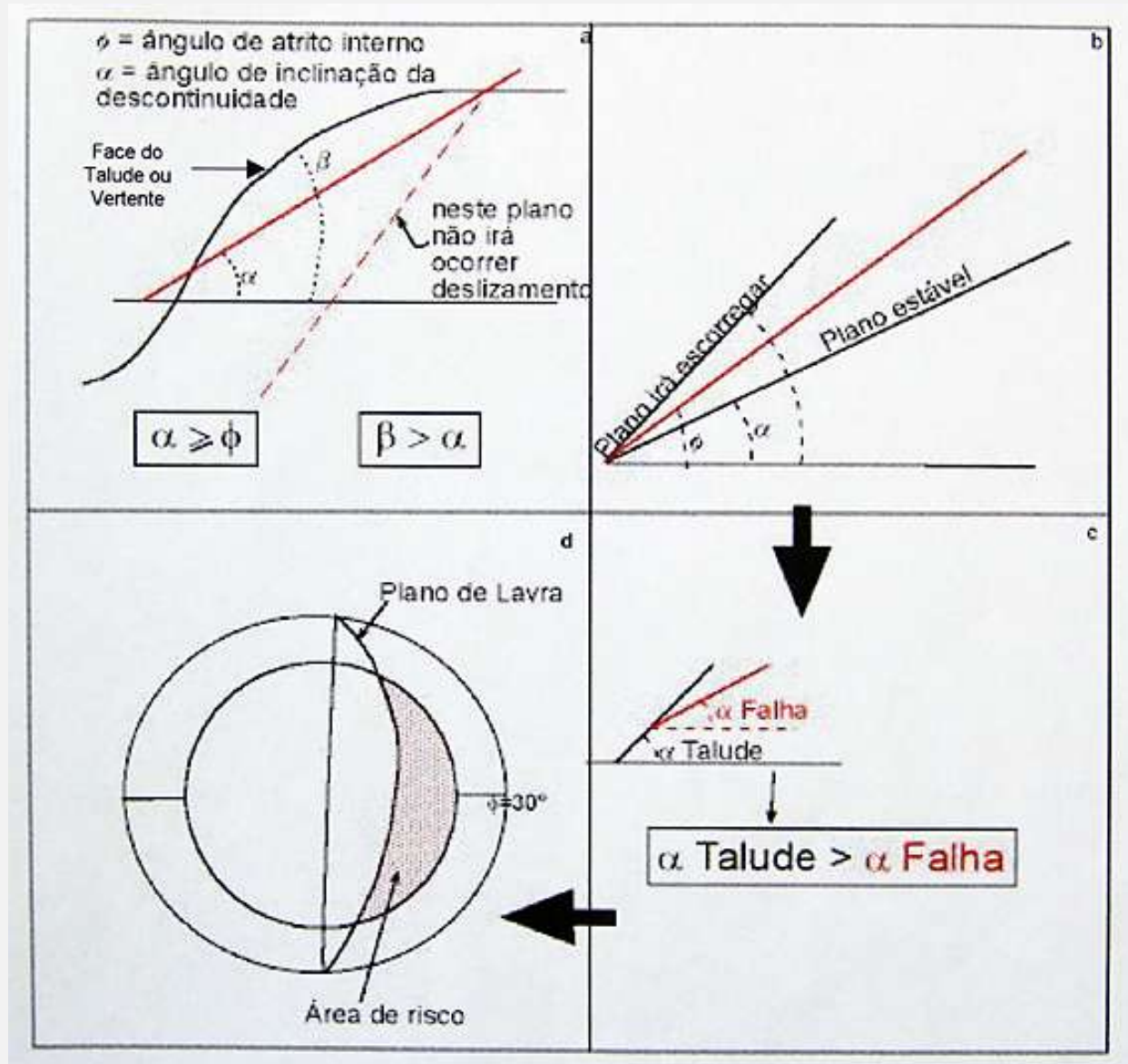
Primitiva

E

W

S

Aplicação dos conceitos de segurança em taludes de mina



Falhamentos

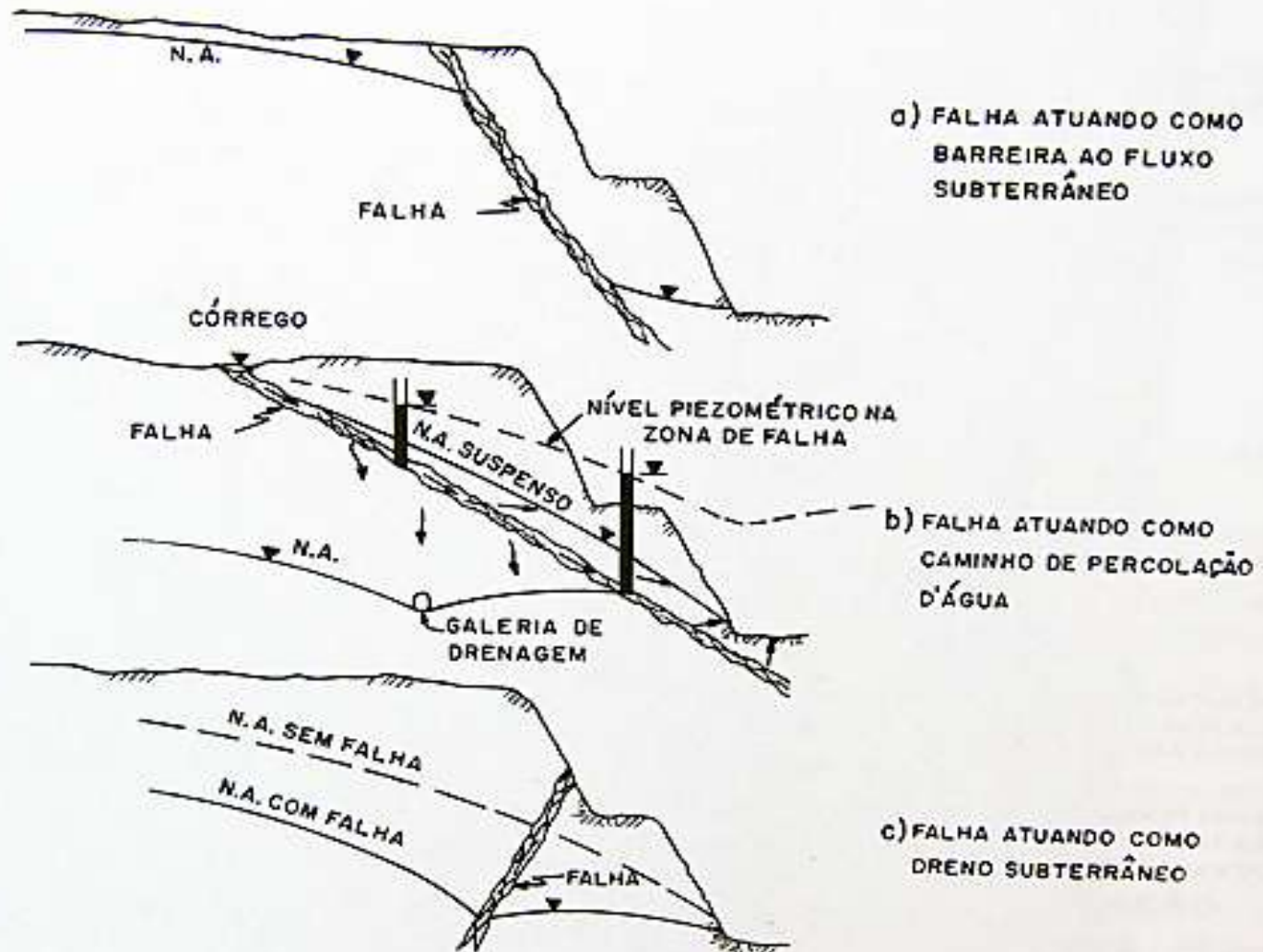
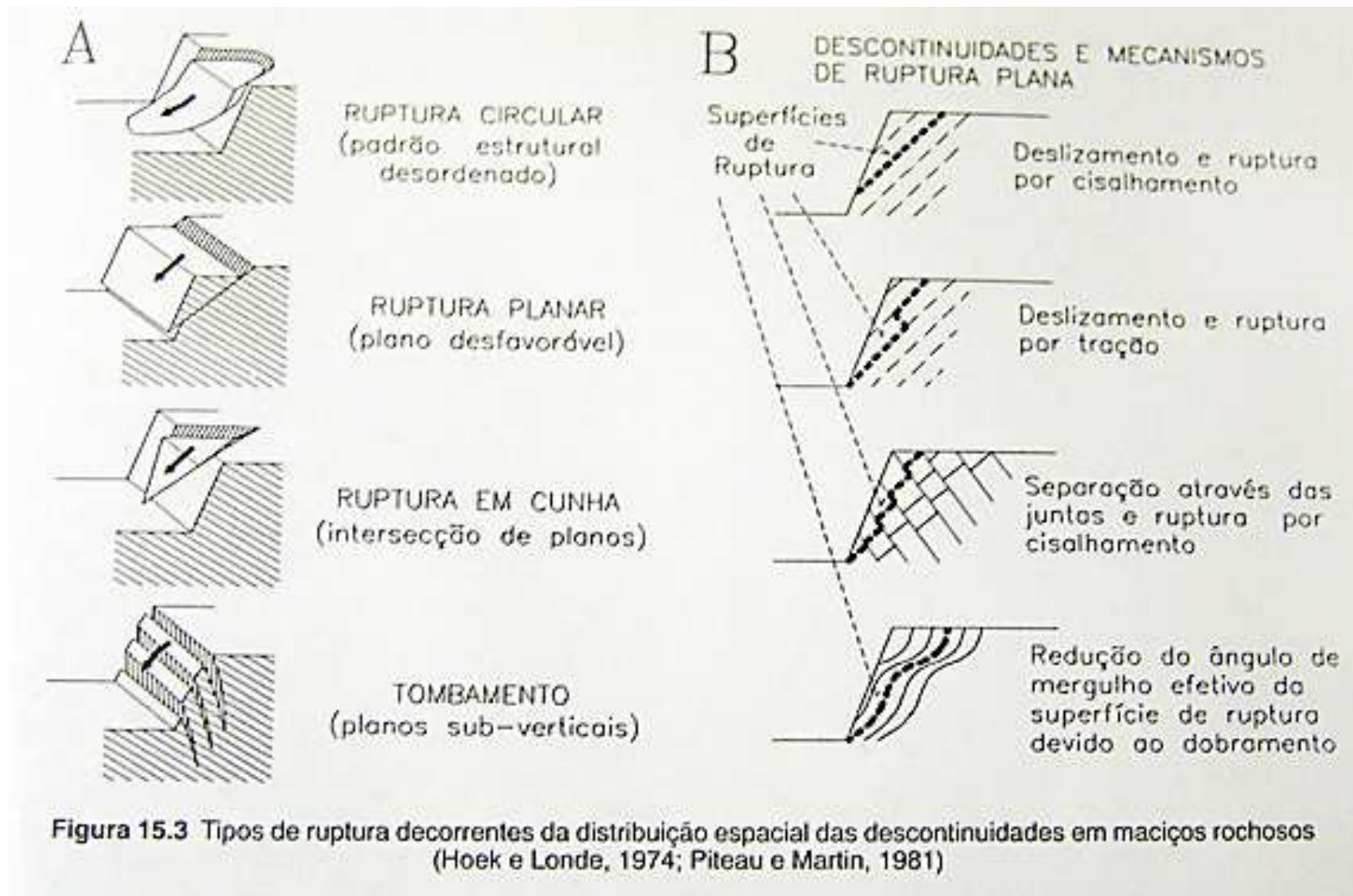
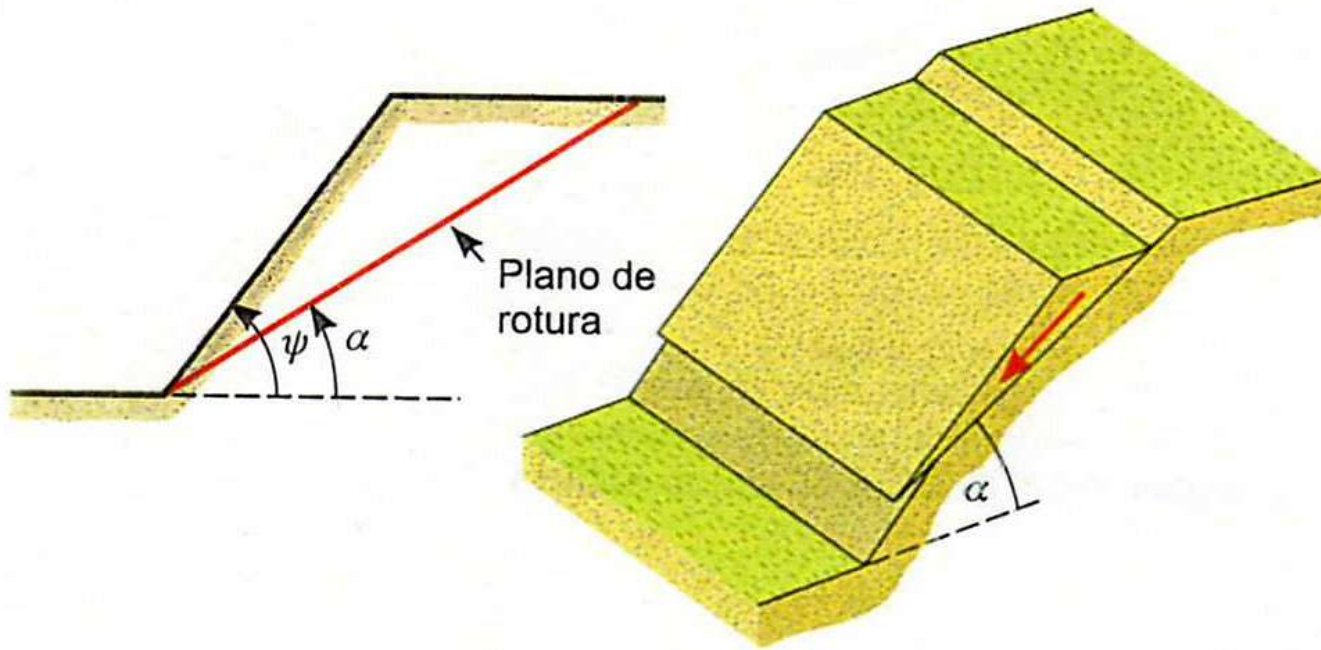


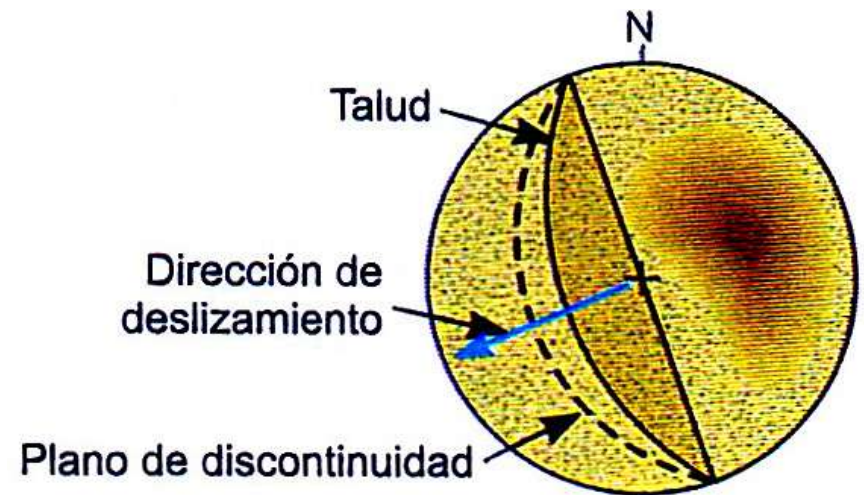
Figura 60 Diferentes efeitos da presença de falhas nas condições de percolação da água no interior de um talude (Deere e Patton, 297)

Tipos de ruptura





Ruptura planar

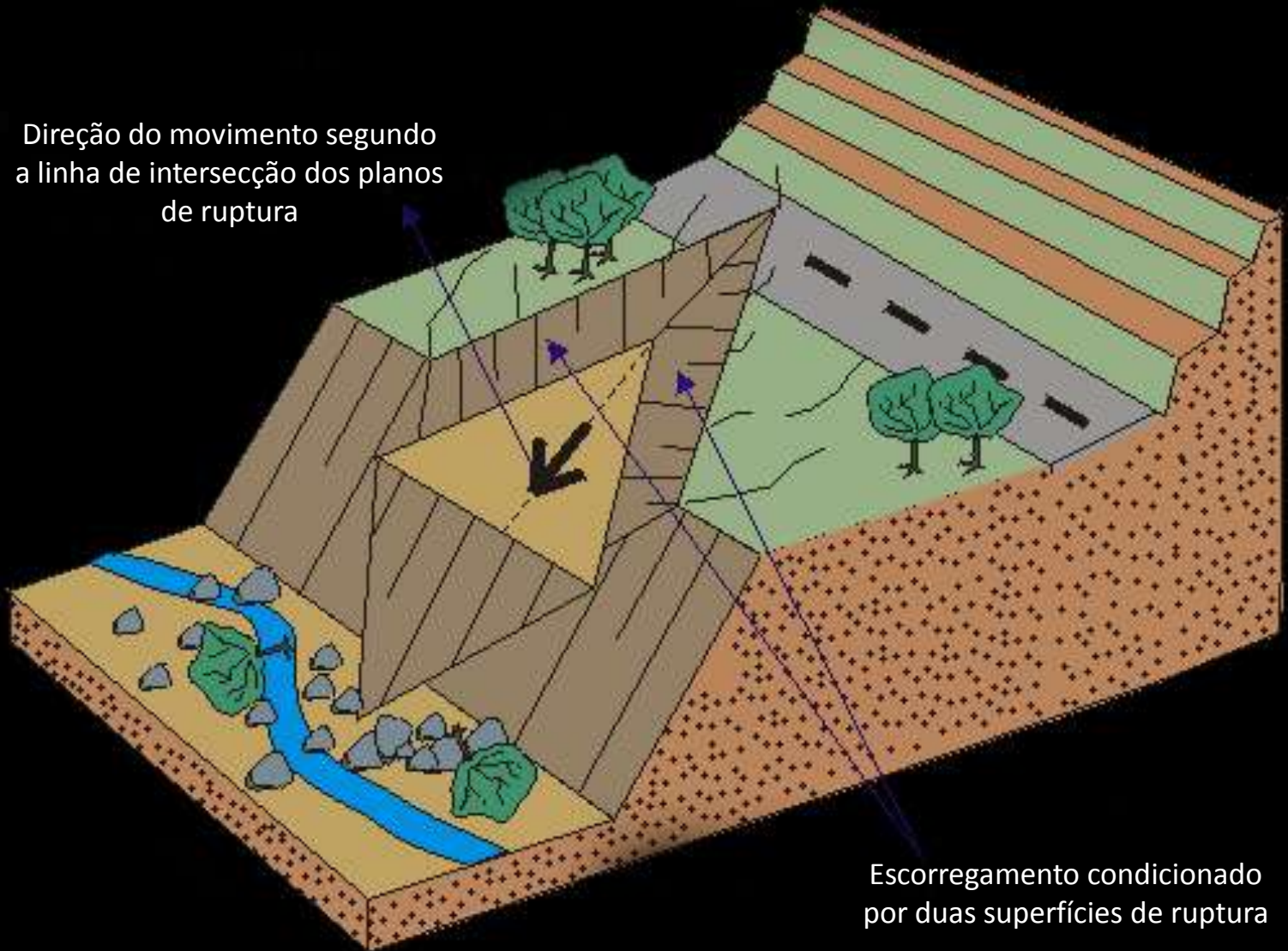


Escorregamento planar



Escorregamento em cunha

Direção do movimento segundo
a linha de intersecção dos planos
de ruptura



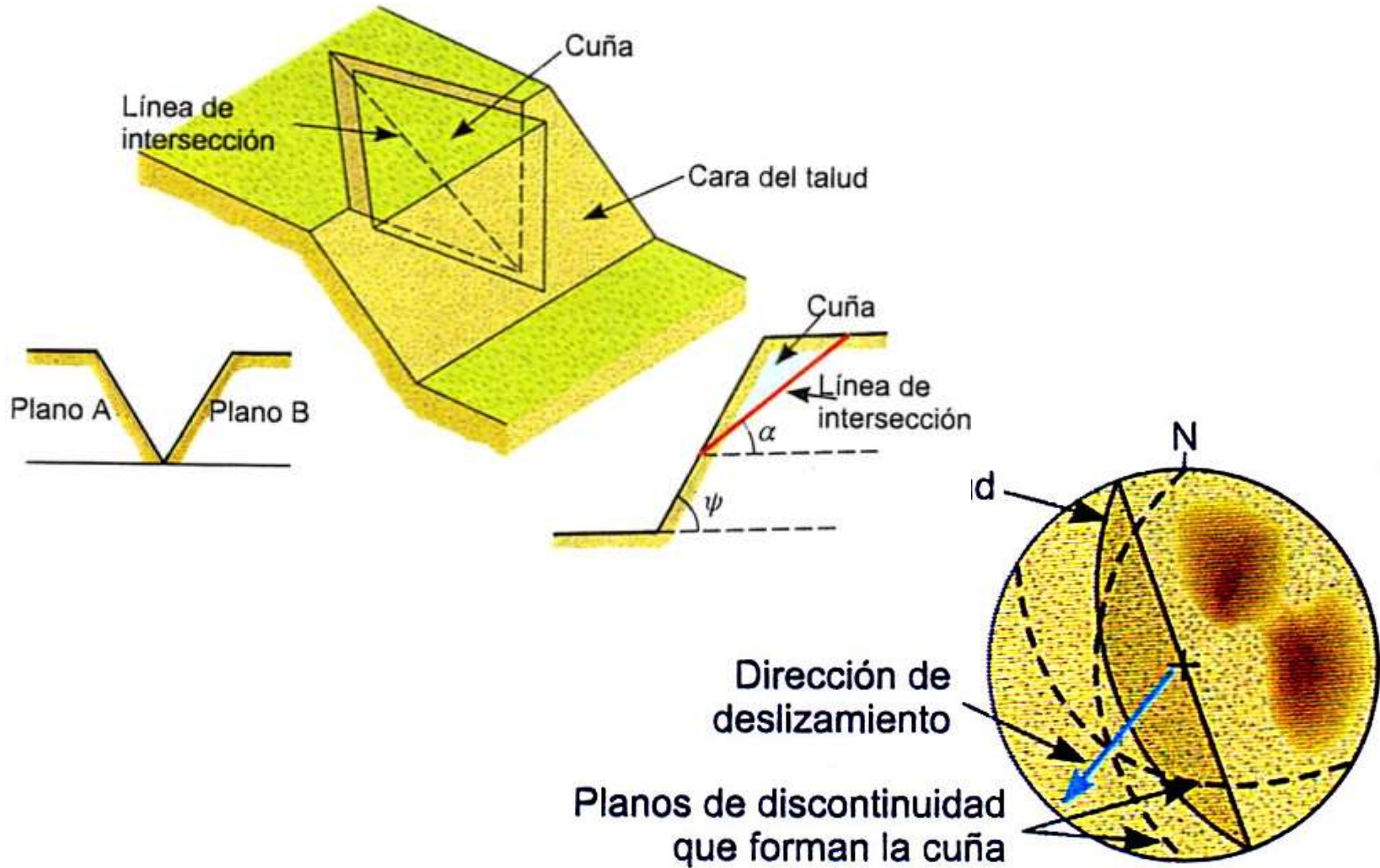
Escorregamento condicionado
por duas superfícies de ruptura

Escorregamento em cunha

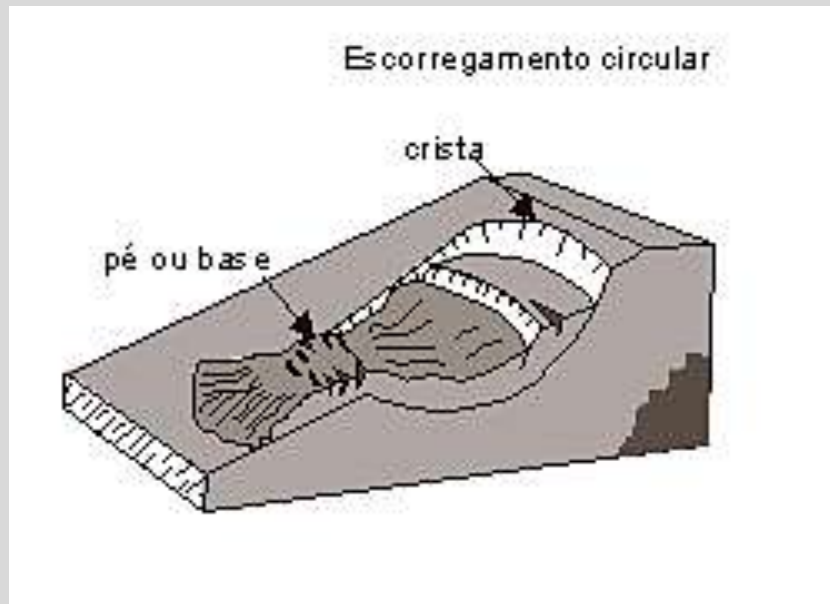


UNESP

Escorregamento em cunha



Escorregamento circular



4 - RUPTURA DE UM TALUDE NATURAL



Escorregamento
de solos ou de
rochas

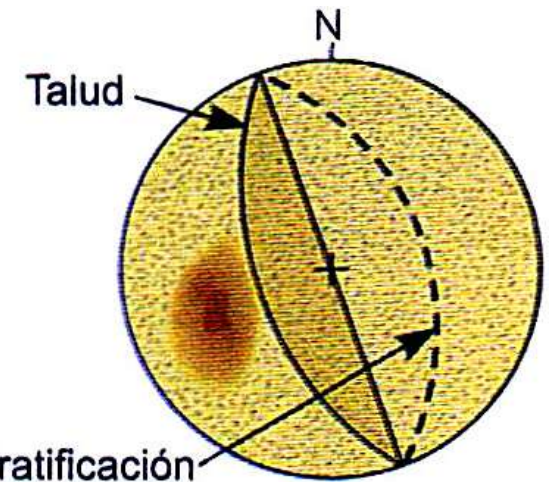
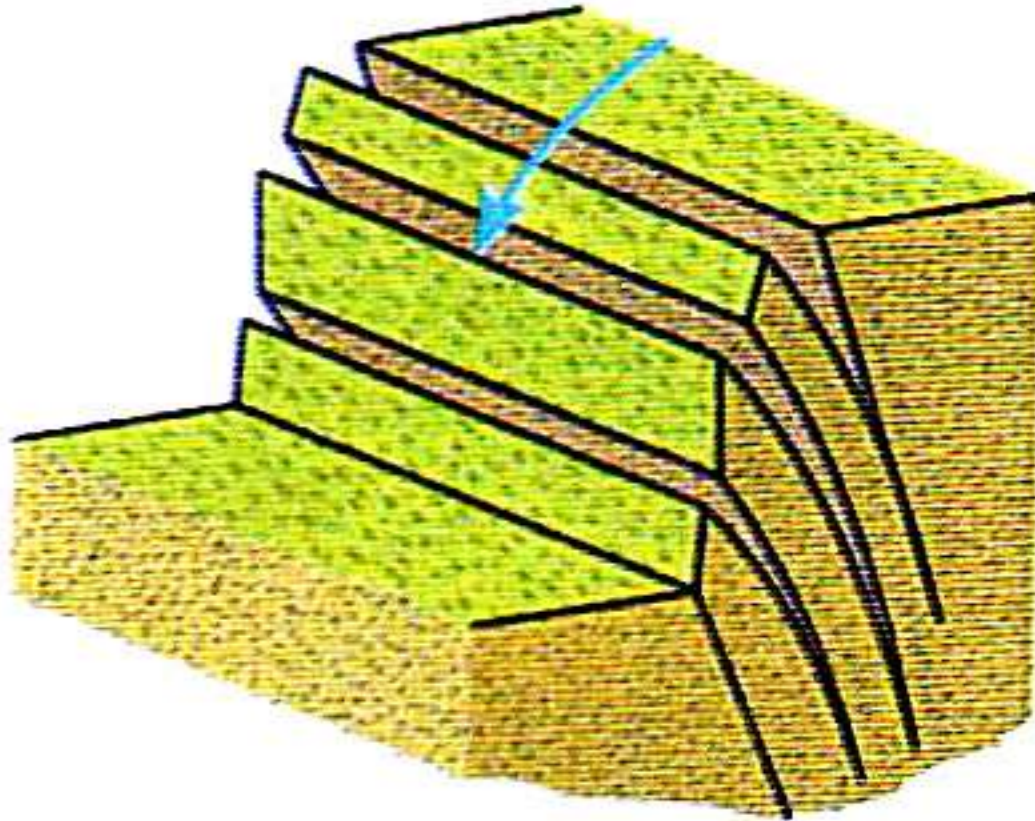
5 - RUPTURA DE UM TALUDE ARTIFICIAL



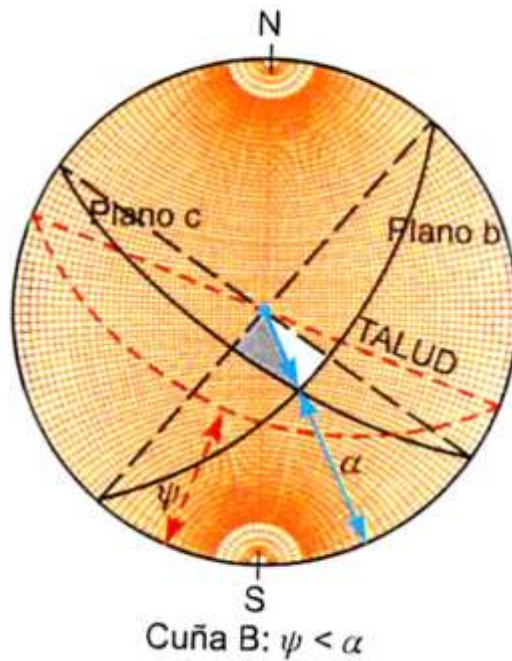
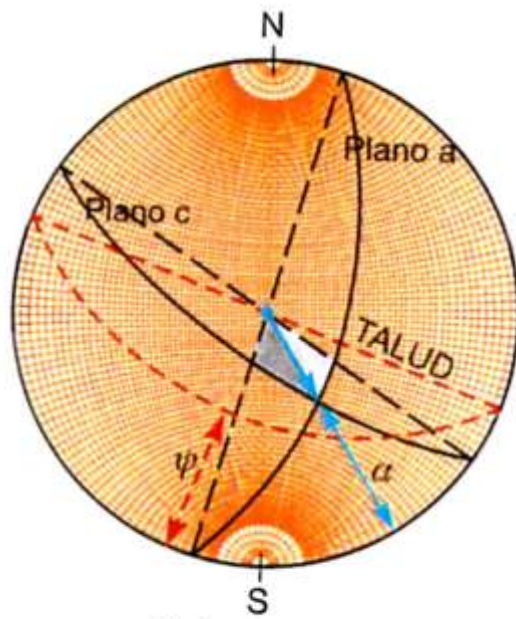
Ruptura em basculamento



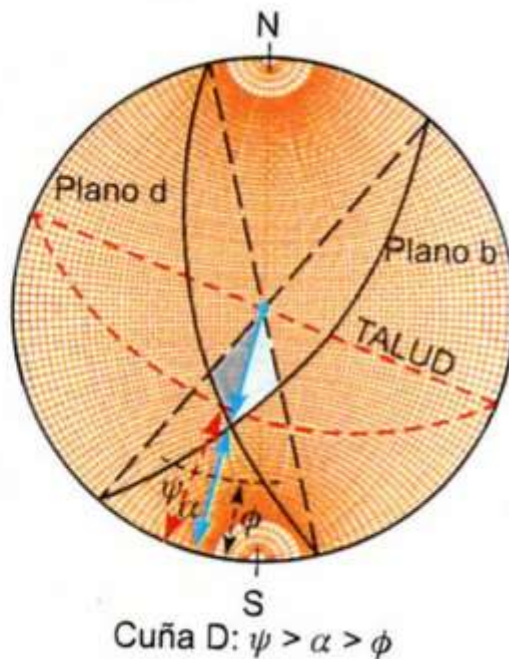
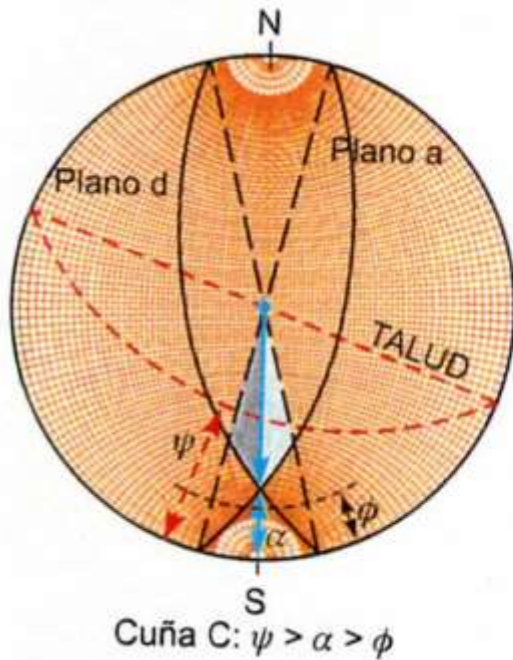
Ruptura em basculamento



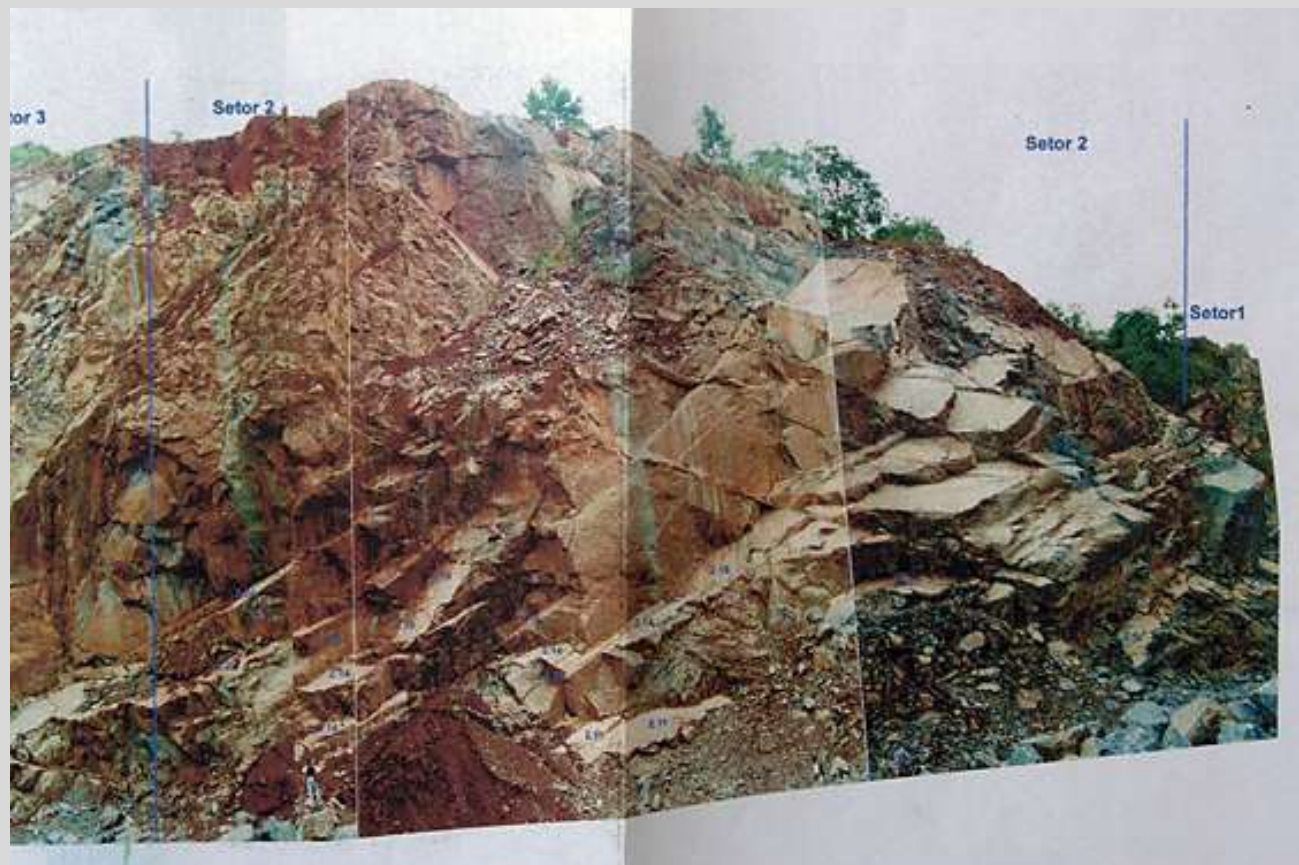
Planos de estratificación



As cunhas A e B não provocam ruptura (não há possibilidade de deslizamento) porque o talude é menos inclinado do que as cunhas ($\psi < \alpha$).



As cunhas C e D apresentam condições de deslizamento



Pedreira de filito
Itacuri, Rio Branco
do Sul – Vanzela,
2000



Pedreira de filito
Itacuri, Rio
Branco do Sul –
PR Vanzela, 2000

Figura 9 - Imagem da frente de lavra, setor 4 em perfil, evidenciando as condições de tombamento dos planos.

Tratamento estatístico e elaboração de diagramas

Atitudes dos planos de fraturas existentes na frente de lavra em estudo na pedreira.

SETOR	Nº DO PLANO	ATITUDES EM BRUNTON	ATITUDES EM CLAR	MÉDIA EM BRUNTON	MÉDIA EM CLAR
1	1	N35W/52NE	54.52	N35W/50NE	55.50
		N32W/54NE	58.54		
		N37W/45NE	53.45		
		N35W/52NE	55.52		
		N34W/50NE	56.50		
1	2	N35W/46NE	55.46	N23E/56NW	293.66
		N30E/54NW	300.54		
		N24E/70NW	294.70		
		N09E/69NW	279.09		
		N23E/71NW	293.71		
1	3	N31W/68NE	59.60	N28W/56NE	65.66
		N30W/70NE	60.70		
		N29W/70NE	61.70		
		N28W/72NE	62.72		
		N28W/70NE	62.70		
		N30W/61NE	60.61		
		N29W/64NE	61.64		
		N30W/55NE	60.55		
		N21W/61NE	69.61		
		N22W/64NE	68.64		
1	4	N51E/74SE	141.74	N20E/74SE	110.74
		N17E/68SE	107.68		
		N19E/69SE	109.69		
		N06E/79SE	96.79		
		N04E/77SE	94.77		
1	5	N85E/24SE	175.24	N63E/43SE	153.43
		N67E/50SE	157.50		
		N68E/44SE	158.44		
		N37E/36SE	127.36		
		N58E/50SE	148.50		
		N55E/47SE	145.47		
		N69E/41SE	159.41		
		N60E/41SE	150.41		
		N71E/40SE	161.40		
		N65E/42SE	155.42		
		N62E/44SE	152.44		
		N58E/43SE	148.43		
		N65E/47SE	155.47		
1	6	N04W/41NE	86.41	N03W/40NE	87.40
		N02W/40NE	88.40		
1	7	N41E/65SE	131.65	N41E/65SE	131.65
1	8	N38E/51SE	126.51	N23E/57SE	113.57
		N30E/55SE	120.55		
		N20E/59SE	110.59		
		N12E/66SE	102.66		
		N21E/55SE	111.55		
		N24E/64SE	114.64		
		N11E/74SE	101.74		
		N11E/60SE	101.60		
		N27E/39SE	117.39		
1	9	N26E/39SE	116.39		
1	9	N65W/63NE	25.83	N65W/63NE	25.83

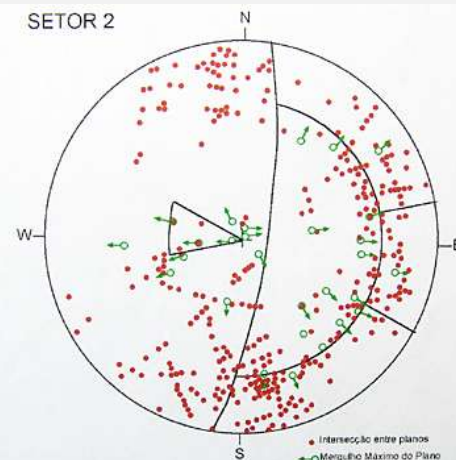


Figura 15 - Estereograma com características geotécnicas de risco existente no setor 2. Direção atual N08E/80SE.

Pedreira de
filito Itacuri, Rio
Branco do Sul –
Vanzela, 2000

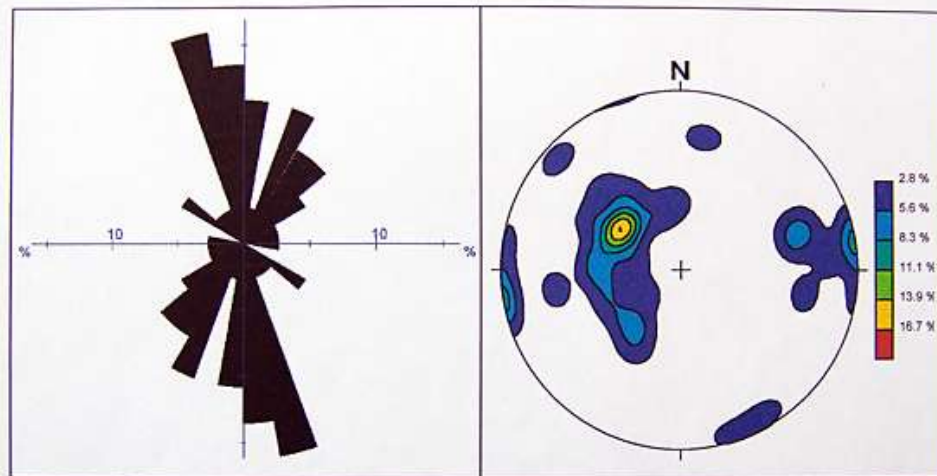


Figura 11 - Diagrama de roseta e estereograma com contornos de isocurvas de 2,8%, 5,6%, até 16,7%, a partir de polos de planos de fraturas. Indicam as direções preferencias dos planos do setor 2 (37 medidas).

TABELA 2 - Quantificação dos planos com possibilidade de ocorrer escorregamento planar, escorregamento em cunha e tombamento de blocos.

		SETOR 1			SETOR 2			SETOR 3			SETOR 4		
		OCORRE	NÃO OCORRE	TOTAL	OCORRE	NÃO OCORRE	TOTAL	OCORRE	NÃO OCORRE	TOTAL	OCORRE	NÃO OCORRE	TOTAL
ESCORREGAMENTO PLANAR	PLANOS	3	6	9	14	12	26	10	14	24	3	12	15
	%	33,0	67,0	100	54,0	46,0	100	41,7	58,3	100	20,0	80,0	100
ESCORREGAMENTO EM CUNHA	PLANOS	15	18	33	74	248	322	46	152	198	20	66	86
	%	45,5	54,5	100	23,0	77,0	100	23,2	76,8	100	23,3	76,7	100
TOMBAMENTO DE BLOCOS	PLANOS	0			2 (1 plano de alto âng. e 1 de baixo ângulo)			8 (4 plano de alto âng. e 4 de baixo ângulo)			2 (1 plano de alto âng. e 1 de baixo ângulo)		
MAIORES PROBLEMAS	Principal	Escorregamento em cunha e planar			Escorregamento Planar			Tombamento de Blocos e escorregamento planar			Tombamento de Blocos		
	Secundário	Tombamento de blocos			Escorregamento Cunha e Tombamento de Blocos			Escorregamento em cunha			Escorregamento Planar e em Cunha		

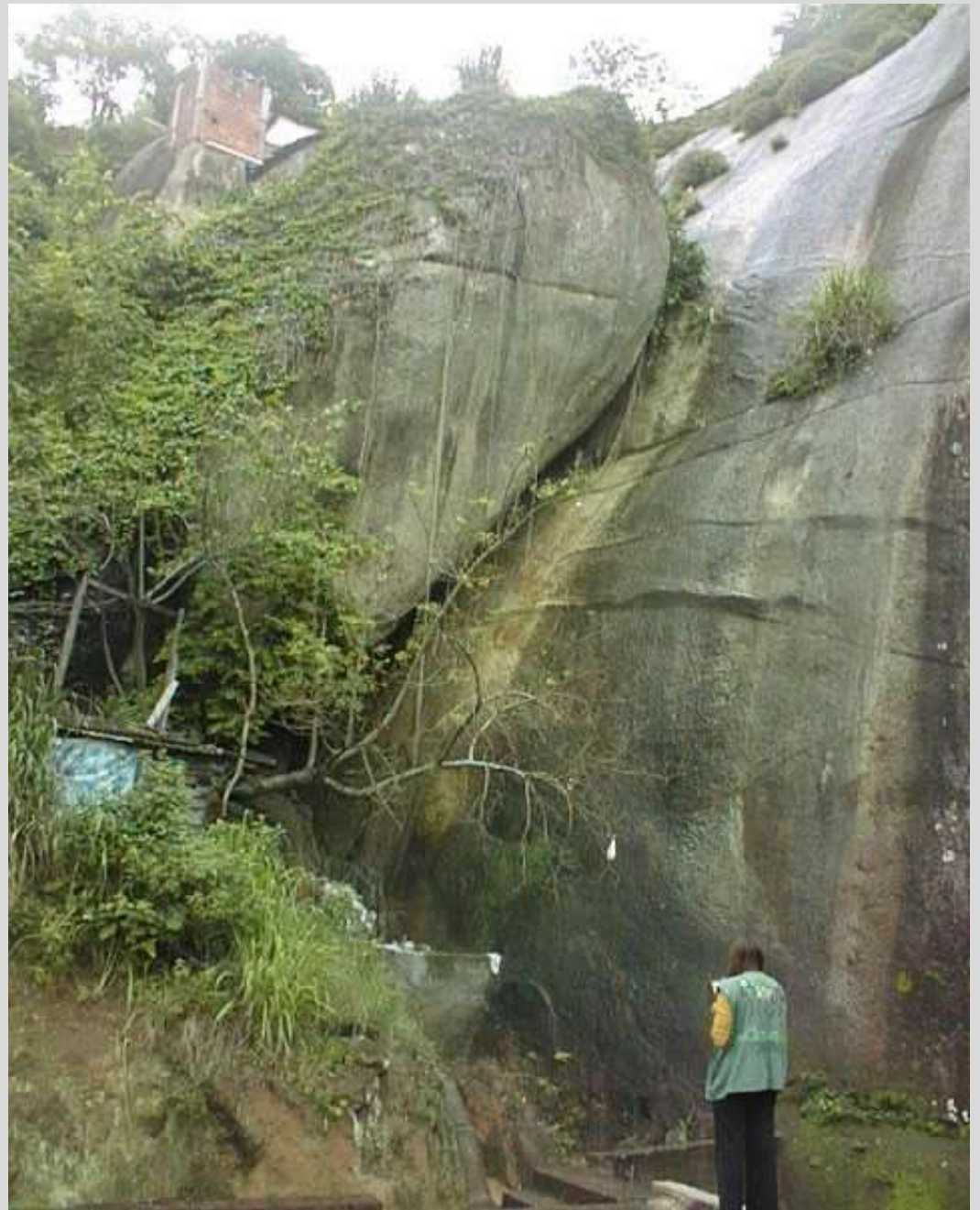
Pedreira de
filito Itacuri, Rio
Branco do Sul –
Vanzela, 2000



Fraturamento em
maciços



Queda de blocos



Juntas de alívio de pressão em rochas



Tabela 15.4 Fatores deflagradores dos movimentos de encosta (Varnes, 1978)

AÇÃO	FATORES		FENÔMENOS NATURAIS/ANTRÓPICOS
Aumentada solicitação	Remoção de massa (lateral ou da base)		Erosão, escorregamentos Cortes
	Sobrecarga		Peso da água de chuva, neve, granizo, etc. Acúmulo natural de material (depósitos)
			Peso da vegetação Construção de estruturas, aterros, etc.
	Solicitações dinâmicas		Terremotos, ondas, vulcões, etc. Explosões, tráfego, sismos induzidos
	Pressões laterais		Água em trincas, congelamento, material expansivo, etc.
Redução da resistência	Características inerentes ao material	Textura, estrutura, geometria, etc.	Características geomecânicas do material, estado de tensões iniciais
	Mudanças ou fatores variáveis	Mudanças nas características do material	Intemperismo, redução da coesão, ângulo de atrito Elevação do nível d'água
	Outras causas		Enfraquecimento devido ao rastejo progressivo Ação das raízes das árvores e buracos de animais

Santa Catarina – 2008



Pluviosidade > 1.000mm em 1 mês
Camadas de alteração (solo) muito
espessas e supersaturadas

Escorregamentos de solo - chuva





Instabilidade em taludes mistos de rocha e solo

Instabilidade em taludes rochosos ou mistos



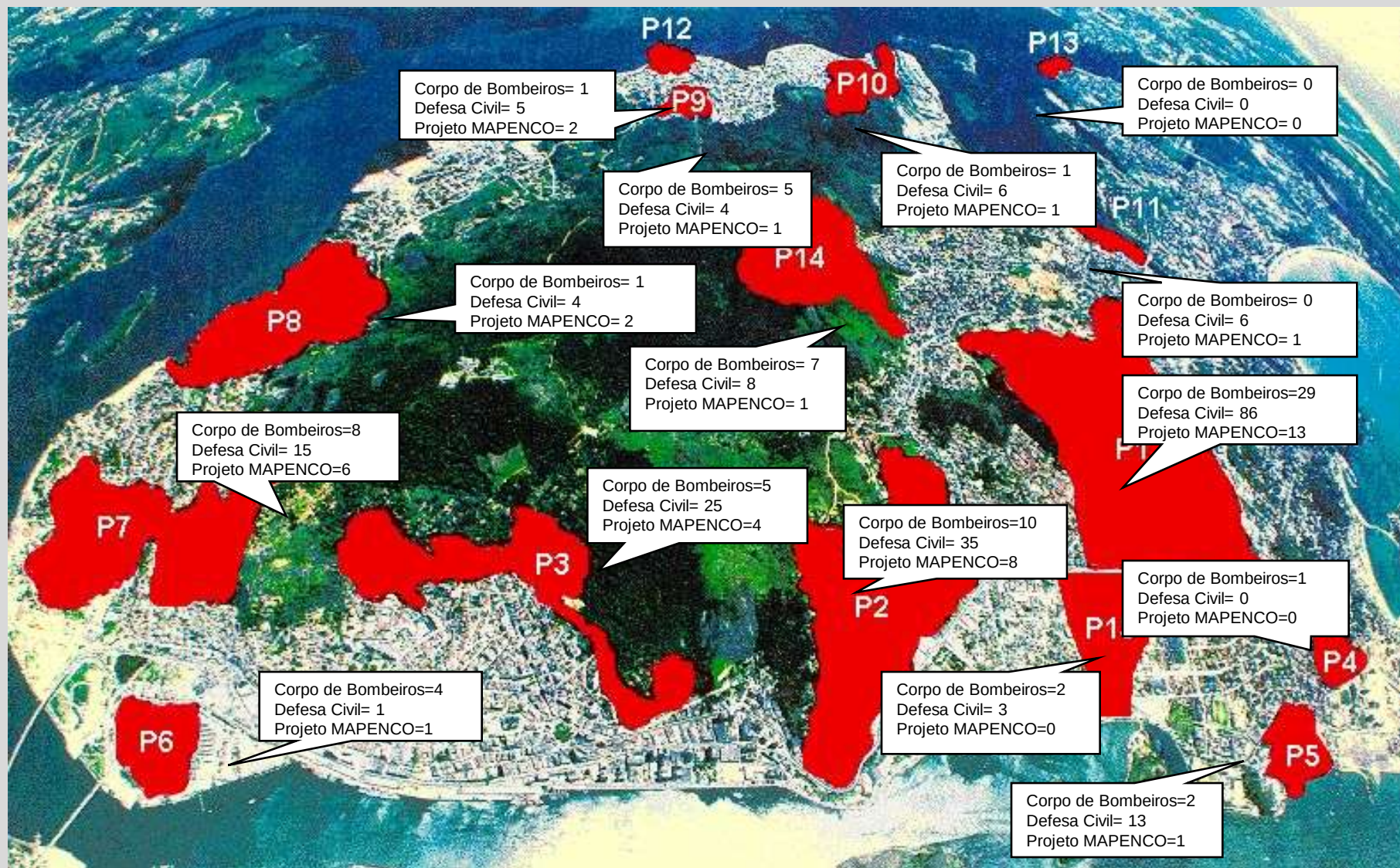
Zona urbana de Vitória - ES

Ocupação urbana inadequada



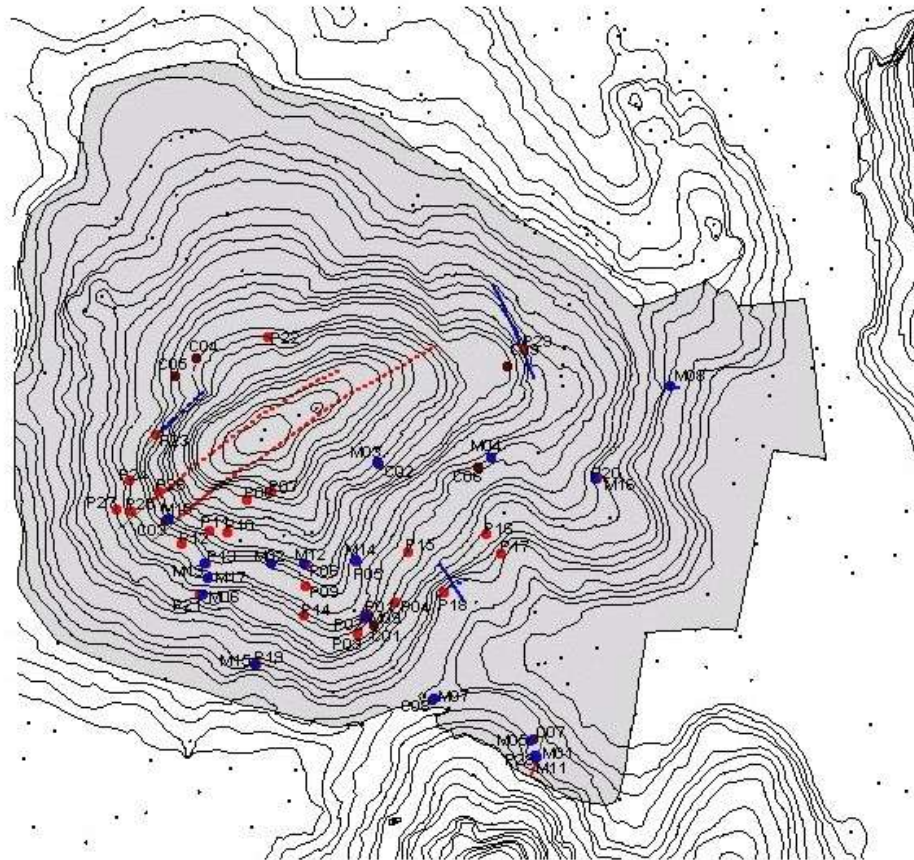
Zona urbana de Vitória - ES

Distribuição geográfica dos movimentos de massa na ilha de Vitória - ES



Modificado de: Prefeitura Municipal de Vitória, 2002.

Mapeamento geotécnico com os movimentos de massa em estudo de caso em Vitória - ES



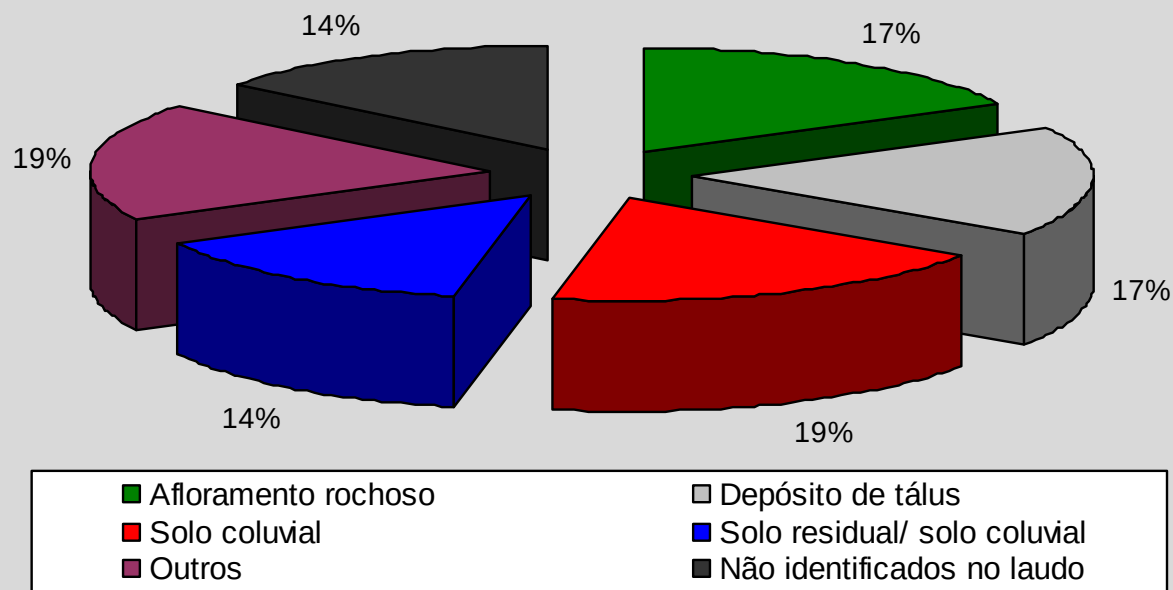
LEGENDA

- Movimentos de massa
- Pontos de risco
- Obras de contenção
- ▭ Delimitação da área piloto
- ∕ Curvas de nível da base cartográfica

Linhas de fratura

- visível - com material alterado
- inferido - com material alterado
- visível - simples
- inferido - simples

Características geológico-geotécnicas



Distribuição dos movimentos de massa por unidade geológico-geotécnica.

Fonte: Dados do Projeto MAPENCO

Soluções geotécnicas em taludes rochosos



Corcovado - RJ



Soluções geotécnicas em taludes de solos



Foto: João Carlos Frigério

Condições de clima tropical - pluviosidade





Ouro Preto - MG

Mergulho das camadas de filito – Ouro Preto-MG



Mergulho das camadas de
quartzito – São Tomé - MG



Ruptura em diáclases de quartzito – Estrada Real -MG



Talude em bota-fora de mineração – material inconsolidado



Saber mais

- Bibliografia....