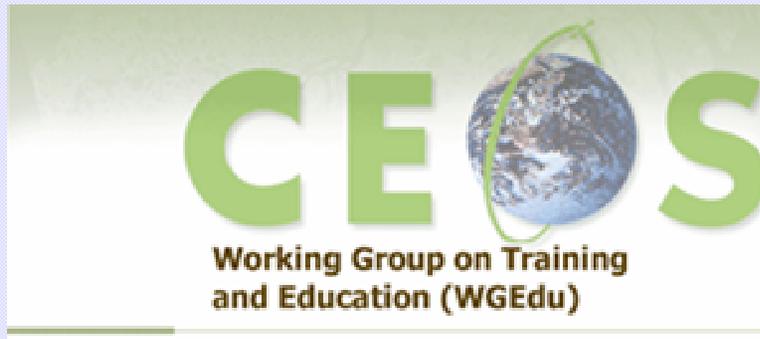


Geotechnologies for Natural Disaster Monitoring in Latin America



Escorregamentos de terra - alguns conceitos básicos

Luiz A. Bressani, PhD
Departamento de Eng. Civil
Escola de Engenharia / UFRGS
bressani@ufrgs.br

- 1. INTRODUÇÃO**
- 2. TIPOS DE ESCORREGAMENTOS/MECANISMOS**
(quedas, escorregamentos translacionais, rotacionais, corridas de detritos)
- 3. CONDICIONANTES PRINCIPAIS**
(tensões cisalhantes, resistência dos solos, água, raízes)
- 4. EXEMPLOS DE GRANDES ACIDENTES NO BRASIL E NO MUNDO**
S.Catarina, S.Vendelino, Angra dos Reis (RJ), Caracas (Venezuela)
- 5. PROBLEMAS COM PREVISÃO**

AS VÁRIAS ESCALAS DOS ESCORREGAMENTOS

- 10 a 10^3 m³ (escalas normais de obras de engenharia viária e urbana),
- 10^6 m³ (grandes escorregamentos de encostas naturais),
- valores acima de 10^9 m³ nos escorregamentos submarinos

Perdas econômicas associadas com taludes (Schuster, 1996)

US\$ 4,5 bilhões por ano no Japão,

US\$ 2 bilhões nos EUA e

Para os países sub-desenvolvidos, estimativa de prejuízos na faixa de 1 a 2% do PIB (Hutchinson, 1995).

MECANISMOS E VELOCIDADES DOS ESCORREGAMENTOS

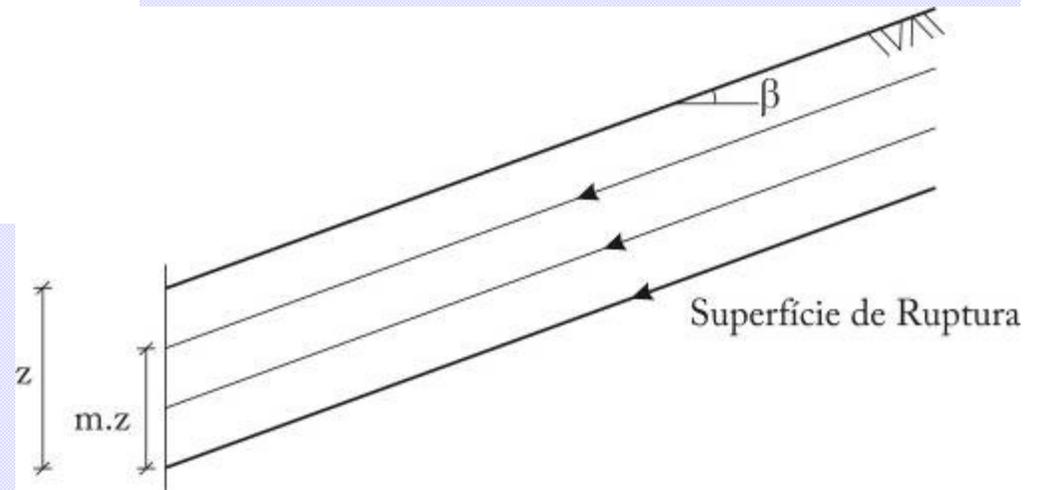
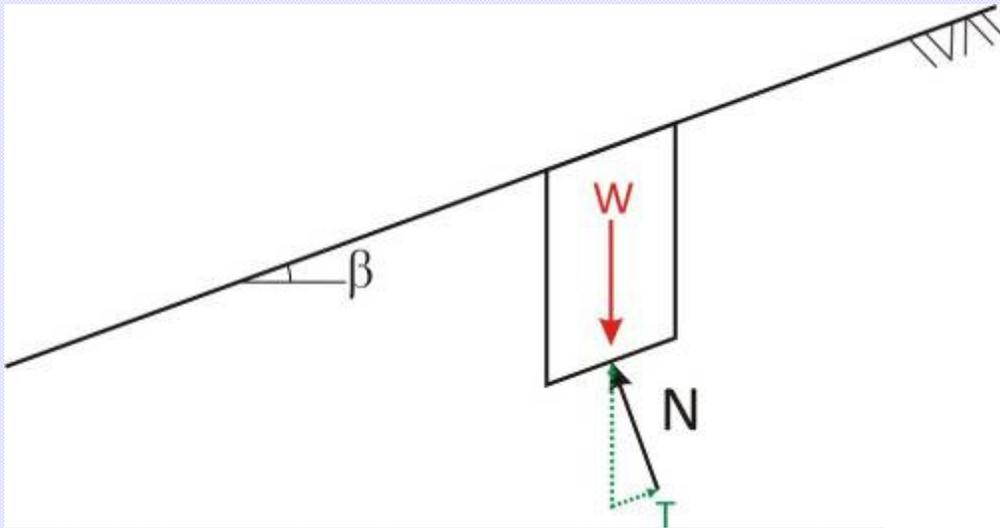
Principais tipos de escorregamentos de terra (geometria):

- Rotacionais
- Translacionais
- Complexos

Classificação quanto à velocidade (ordem de grandeza):

- Lentos a muito lentos (< 2m/ano)
- Rápidos (até 2m/dia)
- Extremamente rápidos (> 20km/h)
(variação de 10^{10} vezes)

DANOS SÃO FUNÇÃO DO VOLUME E VELOCIDADE.



Principais esforços:

Peso de solo (e estruturas , árvores, água)

Resistência da base (coesão, ângulo de atrito
(efeito da pressão de água), raízes)

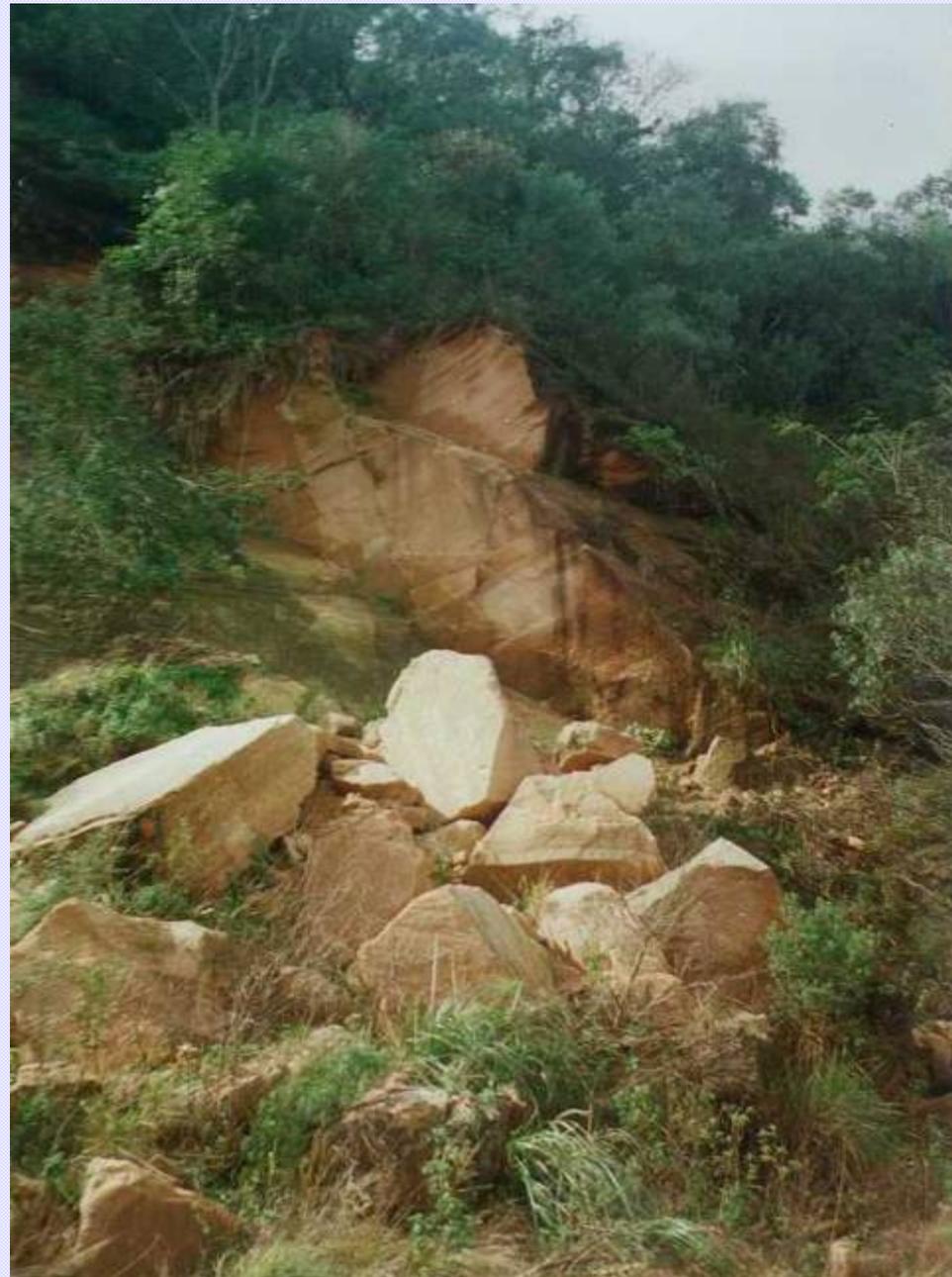
QUEDAS E ESCORREGAMENTOS TRANSLACIONAIS



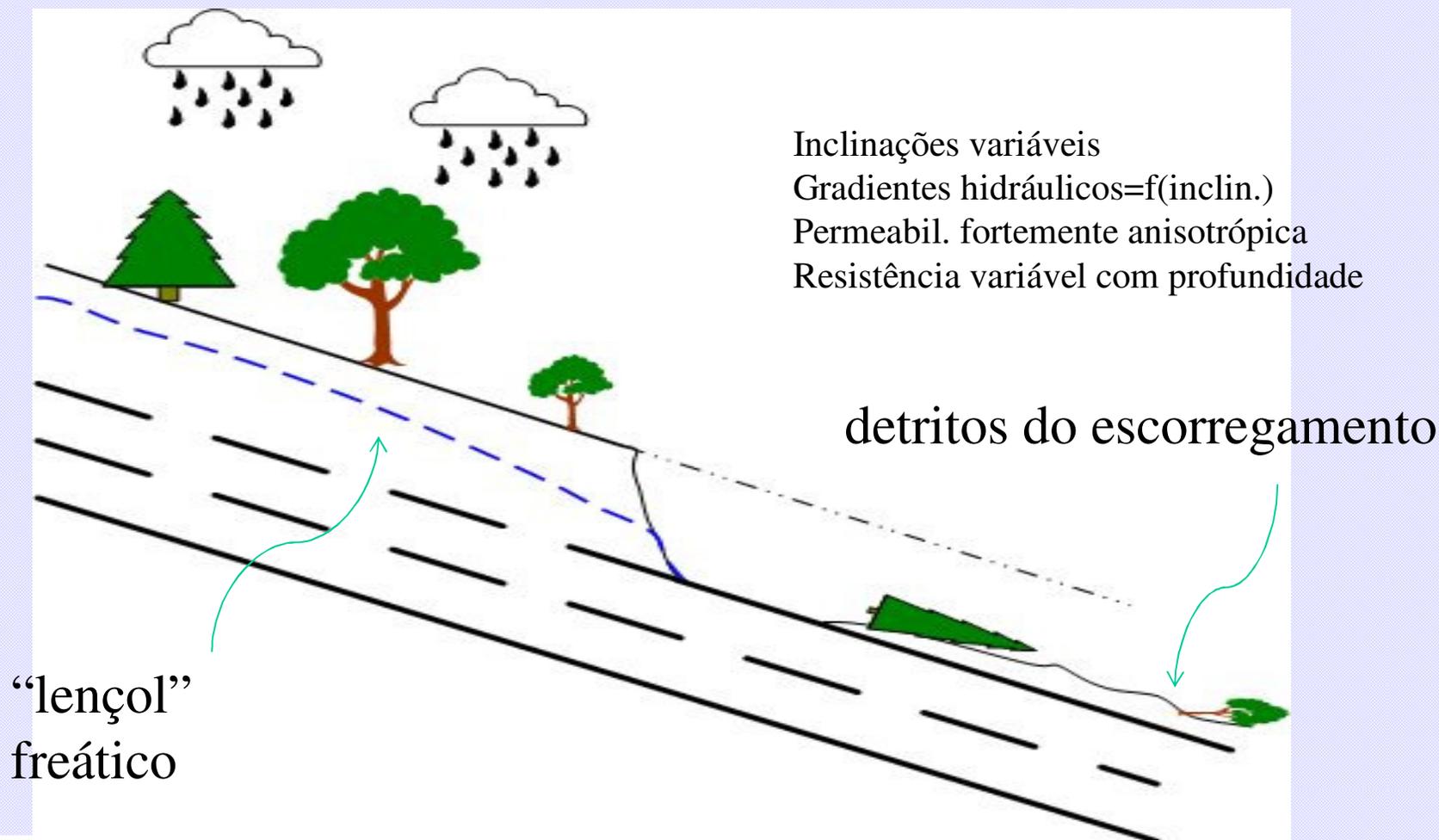
**Escorregamento de
bloco – Teutônia, RS
(Rota do Sol), 1998**

Arenito Botucatu

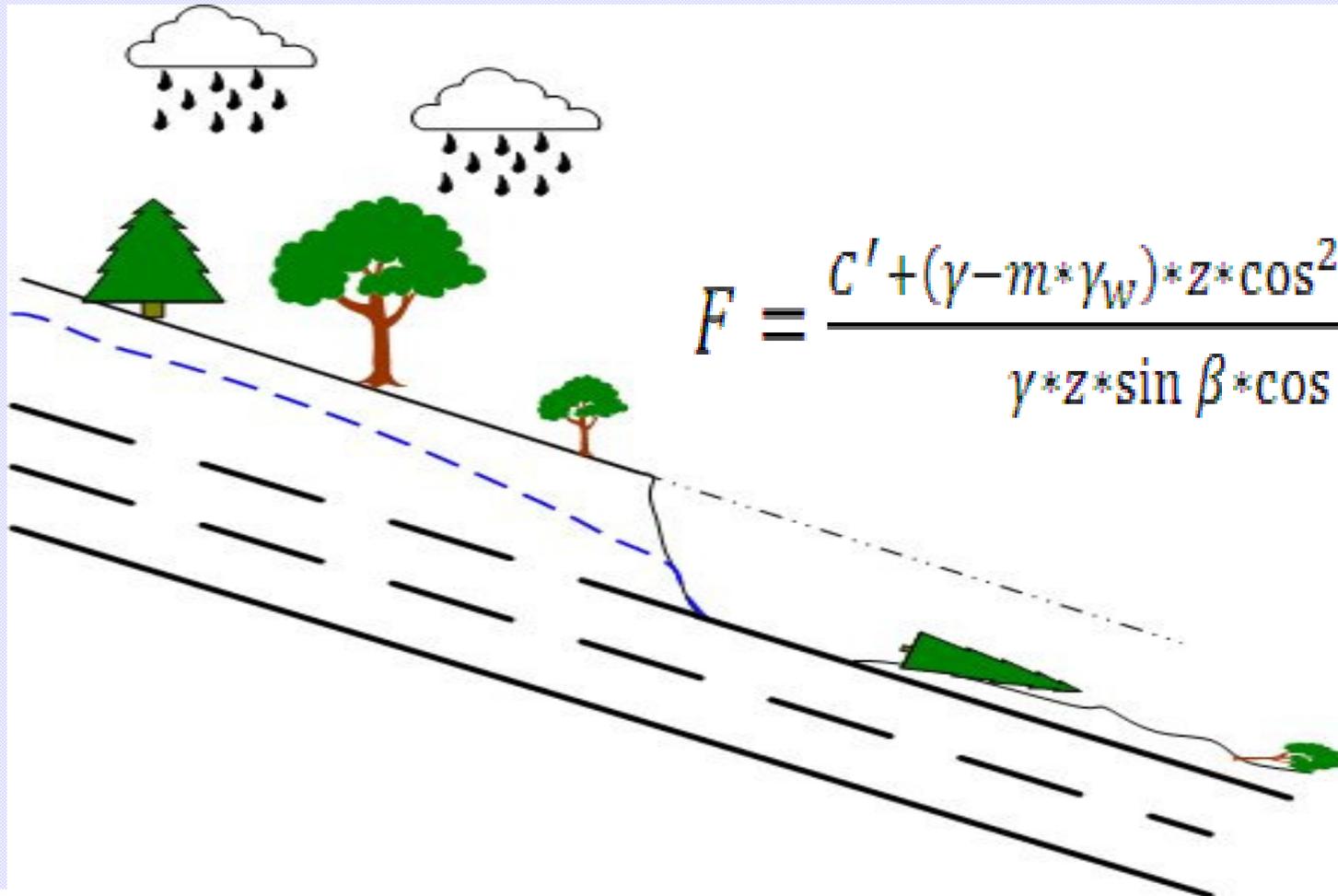
queda de blocos
(Santa Maria, foto
R.J.Pinheiro)



Escorregamentos translacionais em solos estratificados (em geral ocorrem sob chuvas intensas)



Escorregamentos translacionais em solos estratificados



$$F = \frac{c' + (\gamma - m \cdot \gamma_w) \cdot z \cdot \cos^2 \beta \cdot \tan \phi'}{\gamma \cdot z \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta}$$



BR116, Vila Cristina em outubro de 2000

foto PMCaxias do Sul

Exemplo de ruptura rodoviária de grande porte e pequena velocidade - BR158, Santa Maria (ocorreu durante período de muita chuva na região)



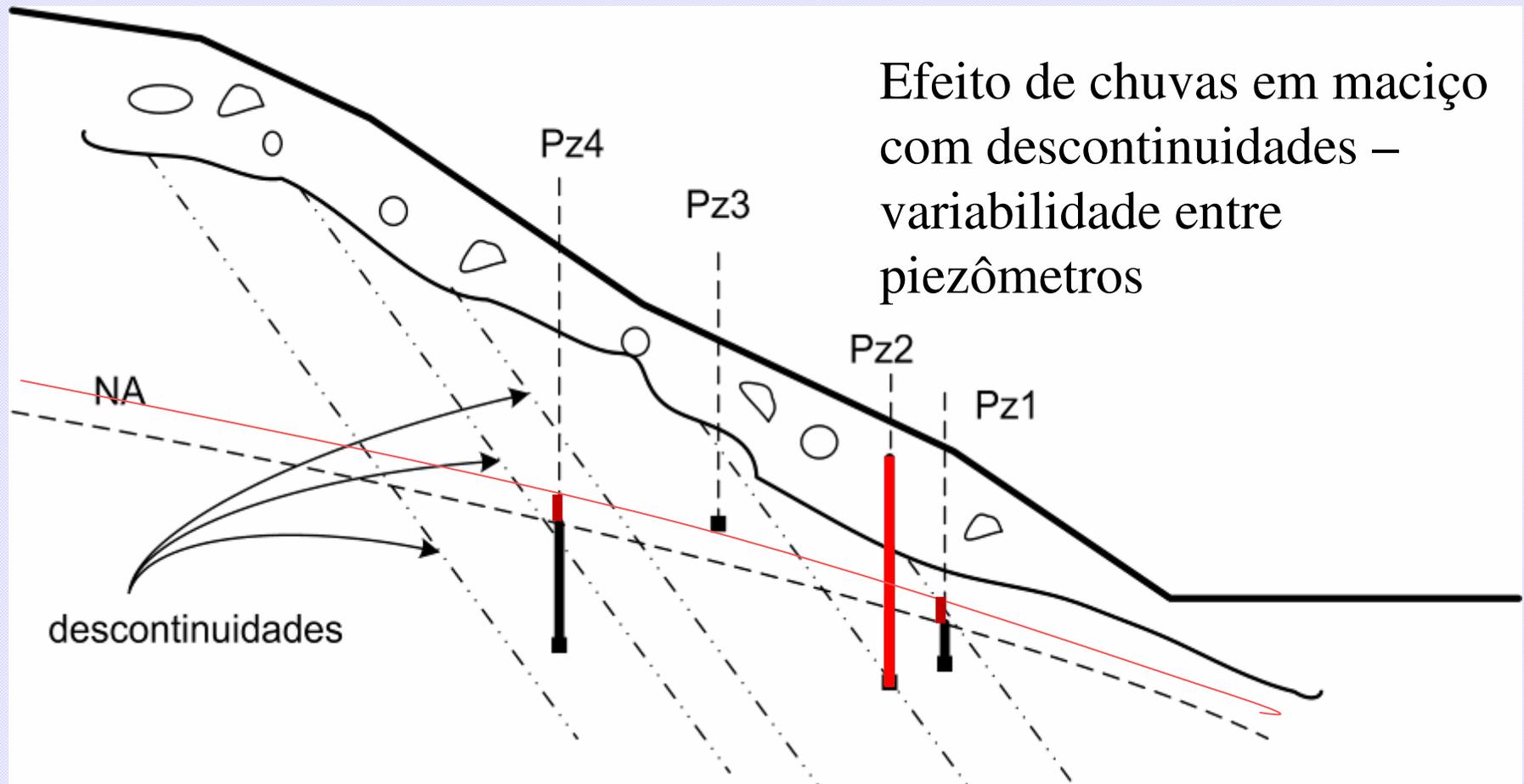
Escorregamento misto em rocha com descontinuidades.
Bairro Kaiser,
Caxias do Sul



Ruptura no bairro Kaiser, Caxias do Sul



Exemplo de variabilidade de medidas de poro-pressão em taludes (adaptado de Deere e Patton , 1971)

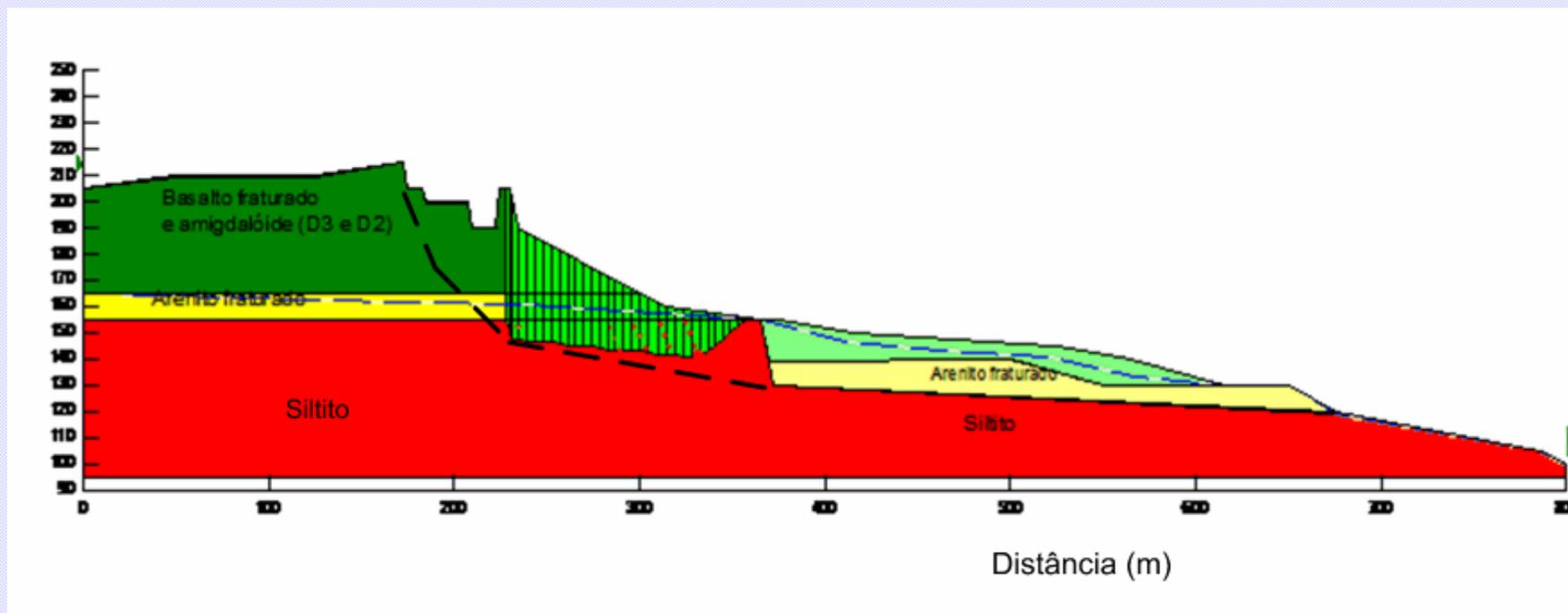


SANTA CRUZ DO SUL

Escorregamento em rochas

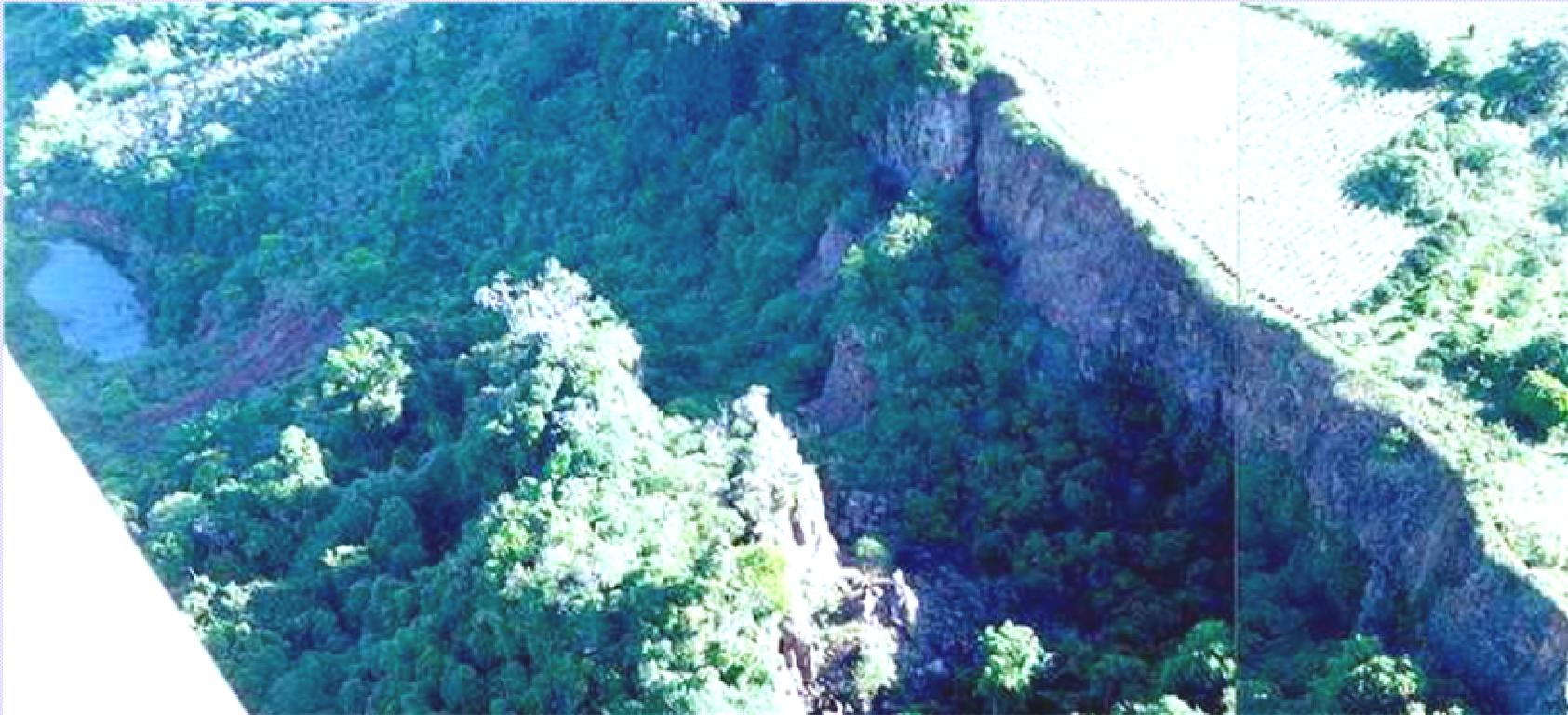
Um grande escorregamento de solo e rocha o qual envolveu volumes da ordem de $15 \times 10^6 \text{ m}^3$ (60 ha em área). Pelo menos 2 residências foram tão danificadas que foram demolidas. A área só é utilizada para agricultura de subsistência a partir de 2001.

Seção transversal do movimento

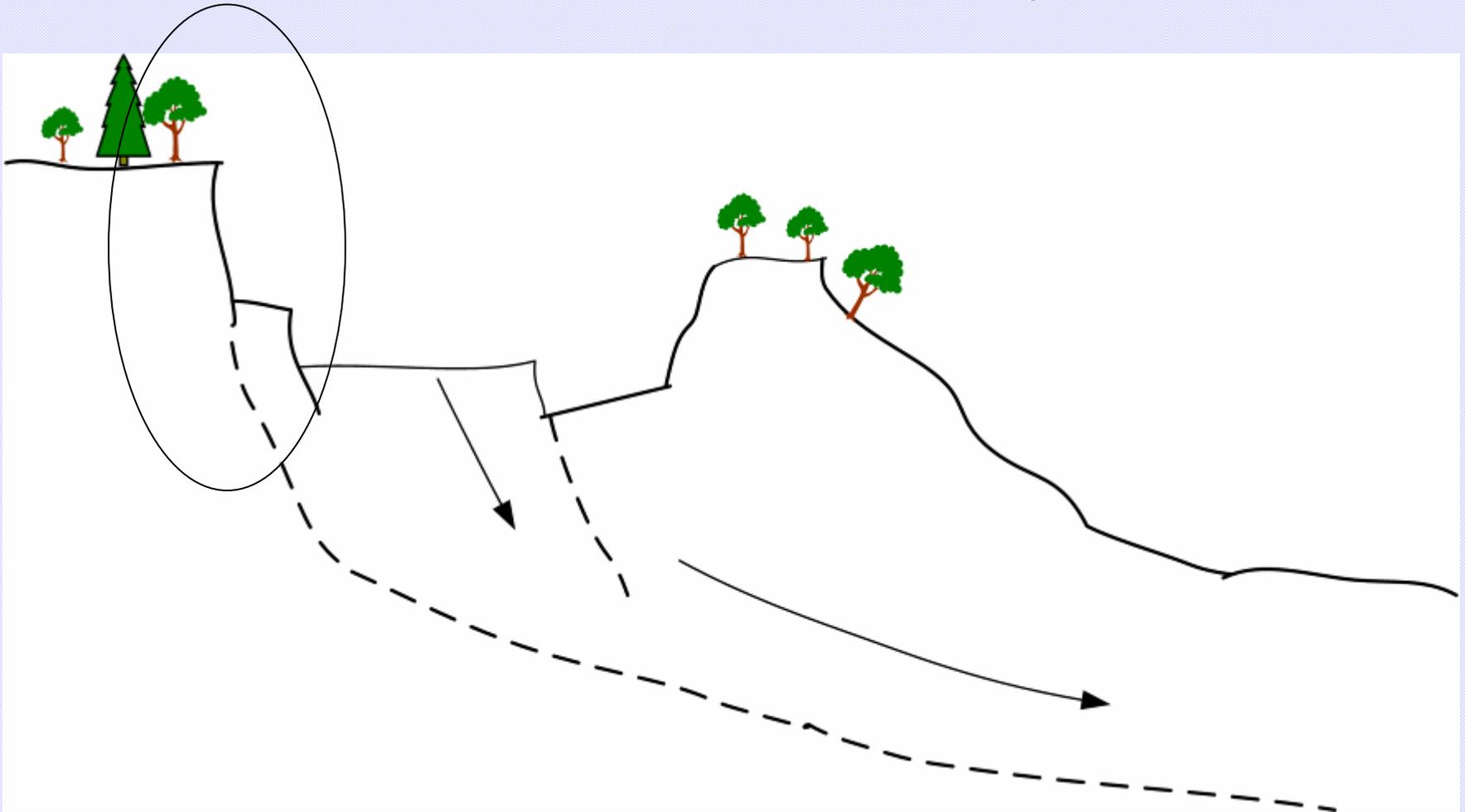


500m

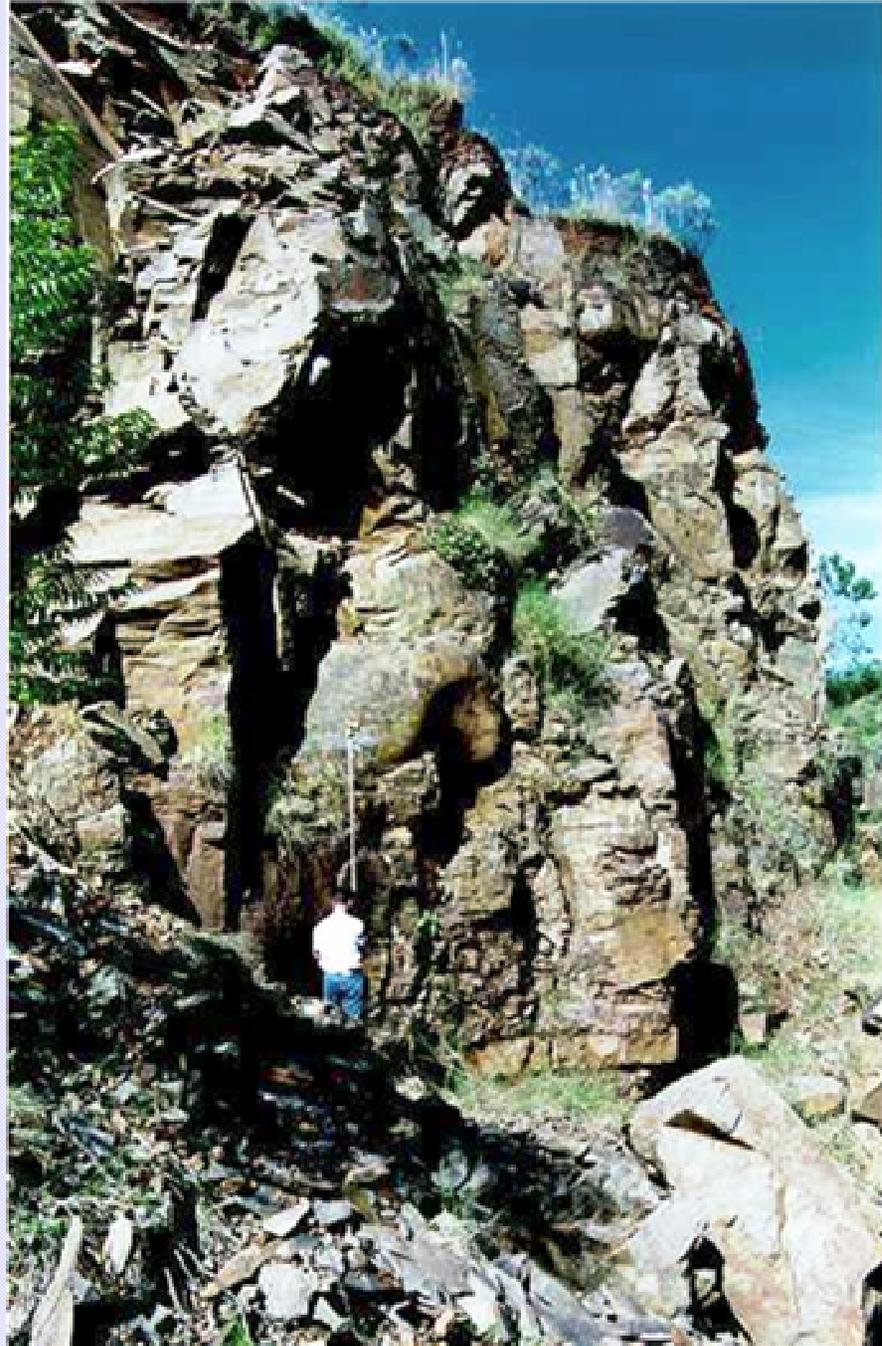
Vista aérea da grande trinca vertical que se formou



Seção da trinca vertical e área da foto seguinte.



Paredão de rocha
formado pelo
movimento



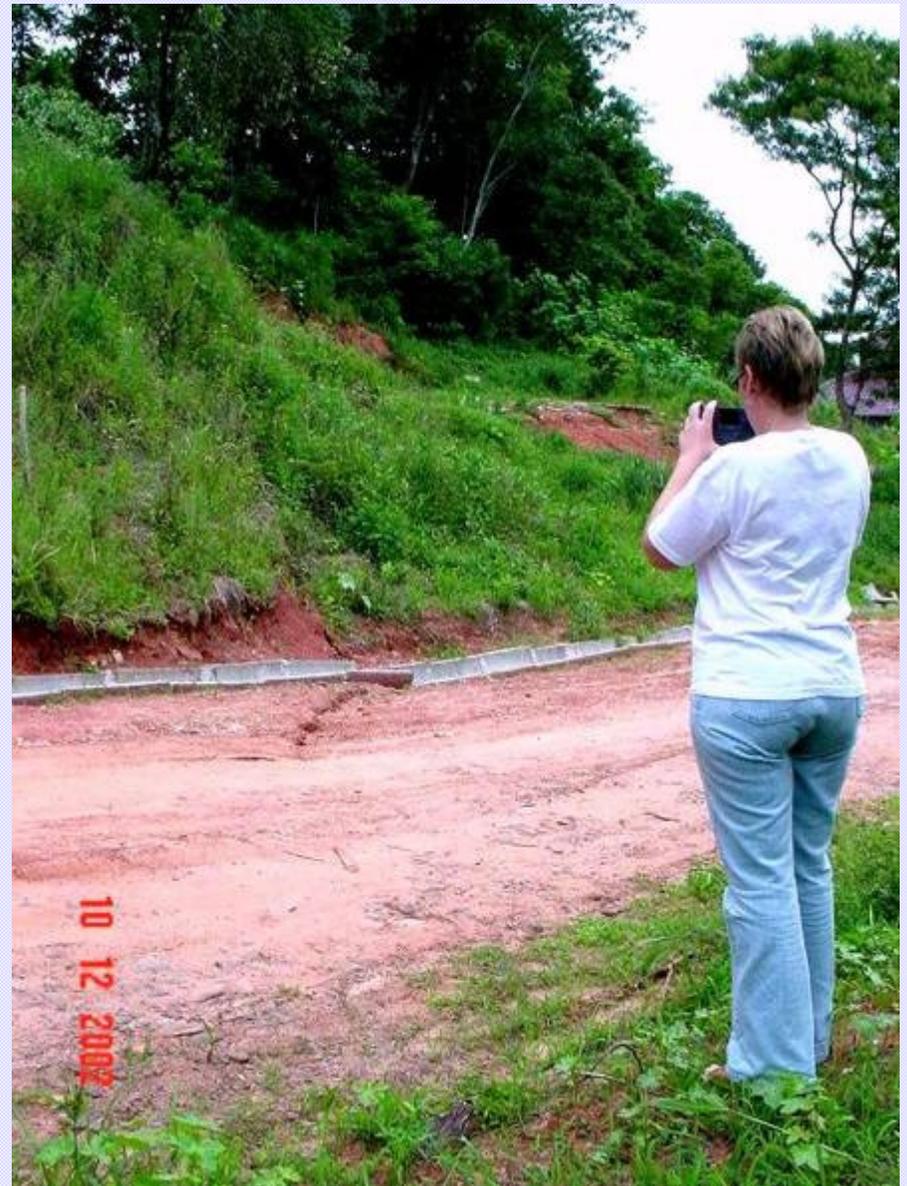
Frente de movimento da ruptura



Cidade de Santa Cruz do Sul

A cidade tem diversas regiões com problemas de estabilidade.

Foto de trinca aparente em ruas da cidade.



Residência abandonada por danos excessivos devido à movimentação do terreno.



Danos devidos à movimentação

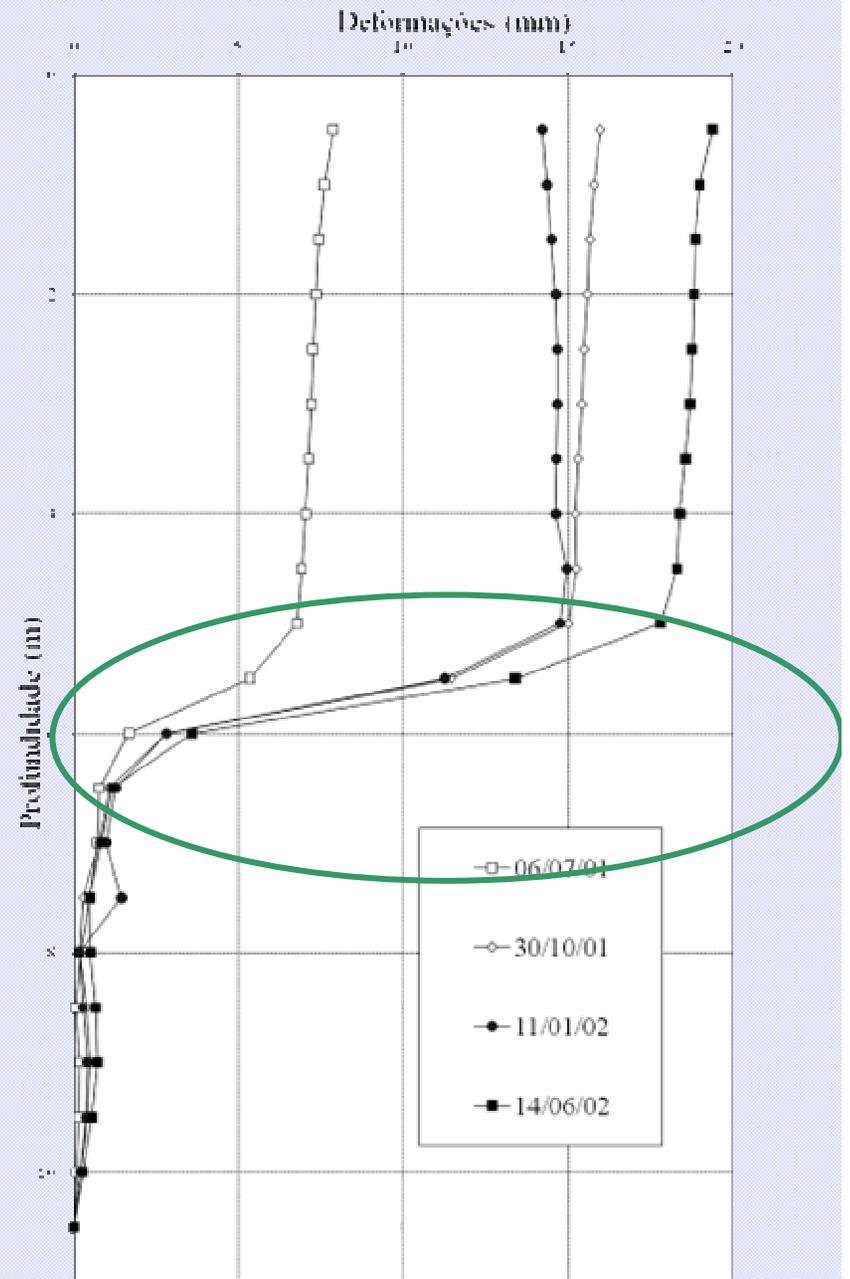


Danos em residências -
fissuras de grande porte



Resultados do monitoramento de deformações: superfície de ruptura bem definida no contato colúvio x rocha alterada.

Movimentos bem correlacionados com as pressões de água medidas.



COMENTÁRIOS

Estes escorregamentos lentos são recorrentes, aceleram em períodos mais chuvosos e diminuem em períodos secos. Velocidades medidas ~10-40cm/ano.

Interferência humana, de pequena a alguma, praticamente sem influência da vegetação.

Observado: chuvas torrenciais tem pouco efeito, chuvas contínuas são mais importantes.

CORRIDAS DE DETRITOS - CARAGUATATUBA, SP (1967)

Um evento de chuva muito intensa. Cerca de 600 mm de chuva foram estimados ter sido precipitados num período de 2 dias.

Centenas de escorregamentos rasos ocorreram na região provocando corridas de detritos nas drenagens. População volta a ocupar áreas que foram atingidas no passado (esquecimento coletivo).

Caraguatatuba, SP - 1967 (cerca de 600mm / 2 dias)



Vista dos danos e escorregamentos na época
com a cidade ao fundo.



Vista atual da mesma área (note a ocupação das áreas).



Timbé do Sul, SC – 1995

Em dezembro de 1995, o estado de Santa Catarina teve eventos de chuva muito intensos, chegando a 500 mm em Florianópolis em 2-3 dias.

Na região de Timbé do Sul estimativas de até 600 mm.

Diversas corridas de detritos com grande energia.

Canyon do Pinheirinho, Timb  do Sul, SC (1995) depois de chuva (~400-600mm(?) em 1 dia)



Morro da Carioca, Angra dos Reis (jan.10)



Morro da Carioca,
Angra dos Reis
(jan.10)

Escorregamento
translacional de terra,
raso, originado do
topo do morro.



Pousada Sankay - Angra dos Reis (2010)
As mortes e destruição foram causadas por movimentos
que se iniciaram muito acima do local.



Áreas em que a vegetação tenta se estabelecer
(instabilidade natural)



São Vendelino, RS - 2000

Em 24 de dezembro de 2000 em área de cerca de 40 km² foi submetida a uma chuva de 2h com uma precipitação total de 148mm. Série de escorregamentos translacionais rápidos do solo raso situado sobre a rocha (1 a 2m).

Corridas de detritos nas drenagens principais, soterrando os bueiros existentes, destruindo pontilhões e erodindo aterros de estradas.

Diversas residências foram danificadas e as rodovias ficaram interditadas por meses.

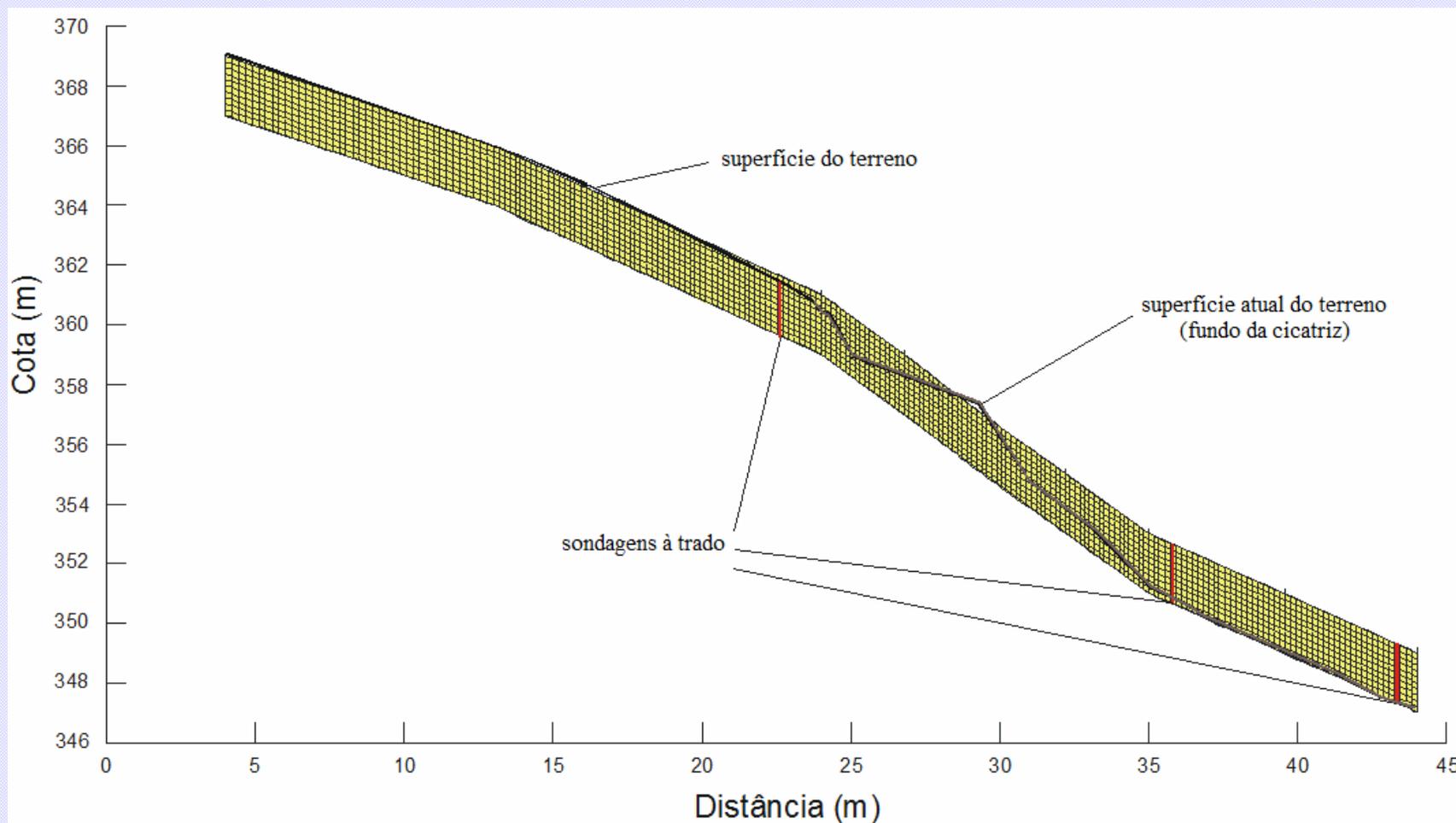
São Vendelino dezembro 2000



Vista aérea da região mais afetada por deslizamentos translacionais, neste caso, estreitos e rasos.



Perfil do talude estudado em S.Vendelino - análise de fluxo; fator de segurança próximo do teórico 1,0



REGIÃO DE BLUMENAU, GASPAR, ILHOTA

Dias 22 a 24 de novembro de 2008 - chuva torrencial 600 a 750 mm em 2 a 3 dias após 56 dias de chuvas intermitentes.

Uma série de rupturas de encostas, taludes, cortes de estradas e estruturas de contenção de todo o tipo. 4.000 escorregamentos de terra ocorreram na região (sem contar os urbanos, que foram milhares). Alguns escorregamentos com grandes volumes de solo e grande velocidade. Destruição de residências e estruturas e causando um profundo impacto no sistema viário.

Escorregamentos em vias e ruas da região



Área urbana de Blumenau



A destruição causada pelos destroços.



Morro do Baú, Ilhota/Gaspar, SC (Nov. 2008)





Escorregamentos profundos e extensos em morros de alta declividade. Região de Gaspar.

Escorregamentos de S.Catarina

Envolveram grandes volumes de material em morros com profundas espessuras de solo.

Vegetação de toda a sorte foi envolvida.

Rupturas em diversos materiais.

Rupturas nas áreas urbanas, com grande interferência humana e nas áreas rurais com interferências variáveis.

Vargas, Venezuela (1999)

dezembro de 1999 - chuva de 910mm em 3 dias.

Rupturas planares, rápidas, produzindo grandes volumes de material. A cidade foi seriamente afetada, com centenas de estruturas destruídas, inclusive prédios residenciais.

Número de vítimas fatais alcançou números estimados de 30 mil pessoas.

Vargas, dezembro 1999 (catástrofe) Chuvas intensas por dias



Efeitos da corrida no porto



Efeitos desastrosos das corridas na área urbana.



DANOS CAUSADOS POR ESCORREGAMENTOS

Danos diretos - causados pelo movimento de terra diretamente sobre a infra-estrutura

- **fissuras e trincas em residências por deslocamento do terreno;**
- **destruição parcial ou total de estruturas pelo impacto do material rompido;**
- **destruição de infra-estrutura (cabos telefônicos, água, esgotos)**

Danos indiretos: são causados pelos efeitos do fluxo do material fluidificado (que se deslocam com grande velocidade pelas drenagens)

- erosão de margens de arroios e rios induzindo novas rupturas
- erosão de aterros de aproximação de pontes
- destruição de pontes e pontilhões por impacto direto
- soterramento de drenagens, galgamento de aterros e erosão
- destruição de lavouras, mudança de curso de arroios, deposição de destroços, assoreamento.

São Vendelino - erosão de aterros rodoviários devido a galgamento hidráulico



Foto de Santana (L.Alves) tirada no dia 03 de dezembro (10 dias após principais chuvas) pelo responsável pela Defesa Civil do município.



Entulhos e bloqueio de pontes e bueiros - erosão lateral acentuada





 Destruição de caminhos e acessos das áreas baixas, Gaspar



Inundação por enxurrada das áreas baixas, Arraial Baixo -Gaspar.

OBSERVAÇÕES

1. Escorregamentos lentos são recorrentes, aceleram em períodos mais chuvosos e diminuem em períodos secos. Velocidades medidas ~10-40cm/ano.
2. Interferência humana em muitos escorregamentos é pequena.
3. Em vários destes casos lentos as chuvas torrenciais tem pouco efeito, chuvas contínuas são mais importantes.

4. Escorregamentos rápidos: o tamanho e a velocidade dos escorregamentos de terra dependem: (a) das características do subsolo (inclusive lixo); (b) da declividade da encosta e sua ocupação; (c) da presença de água (e sua infiltração)
5. Cada situação pode ter características diferentes em função destas variáveis.

6. Modelagem em função da área de contribuição (água), declividade e tipo de solo (modelos como SHALSTAB). Ignoram espessura de solo e particularidades de infiltração.
7. É possível identificar situações que podem ser classificadas em grupos de comportamento semelhante. MAPEAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

COMENTÁRIOS FINAIS:

1. DESASTRES: escorregamentos rápidos em grandes áreas ocupadas
2. CONDICIONANTES: declividade e tipo de material
3. AGRAVANTES: remoção de vegetação, incêndios, terremotos, cortes (ocupação)
4. ANGRA e CARACAS: ocupação de áreas sujeitas a graves riscos
5. EQUILÍBRIO ALTERADO: por chuvas torrenciais e de elevada duração (tempos de recorrência(??) grandes)
6. VEGETAÇÃO: desmatamento acelera a maioria dos processos, mas sua preservação não elimina o risco.
7. Mapeamentos geotécnicos de sucesso nas cidades do Rio de Janeiro, Recife, Santos, Caxias do Sul

Processos de instabilidade potenciais - trincas remanescentes na região de Luis Alves, esperando chuvas



Nuvem de tempestade em Camburiu, novembro 2008



Obrigado pela atenção!

**Luiz A. Bressani
Eng. Civil, PhD em Geotecnia
Departamento de Eng. Civil**

**Universidade federal do Rio Grande do Sul - UFRGS
bressani@ufrgs.br**