

Corridas de detritos(rochosos)

Marcelo Fischer Gramani

Palestra on-line apresentada no Curso 12 – Corrida de Detriticas, realizada 13-a15 de dezembro, 2021, Comitê Brasileiro de Barragens. 25 slides

*A série “Comunicação Técnica” compreende trabalhos elaborados por técnicos do IPT, apresentados em eventos, publicados em revistas especializadas ou quando seu conteúdo apresentar relevância pública. **PROIBIDO REPRODUÇÃO, APENAS CONSULTA***



CORRIDAS DE DETRITOS (rochosas)

MARCELO FISCHER GRAMANI, Geólogo

mgramani@ipt.br
@marcelo.gramani



Situação Mundial



Registros na história mundial de enormes movimentações de massa, deflagrados por fatores externos e internos distintos:

- 1970 - Huáscaran Debris Avalanche (Peru, ~18000 mortes)
- 1985 - Nevado del Ruiz (Colômbia, ~25000 mortes)
- 1998 - Sarno, Quindici, Siano (Itália, centenas de mortos)
- 1998 - Peru (centenas de mortos)
- 1999 - Venezuela (~30000 mortos)



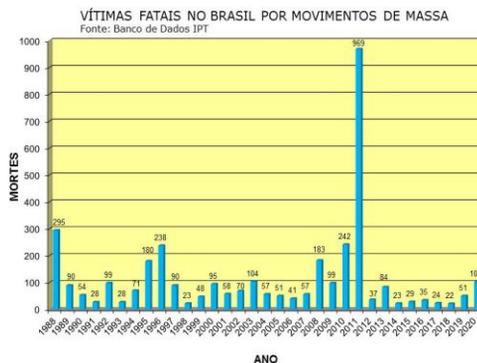
VENEZUELA, 1999



Mais de 30.000 mortos



Os escorregamentos na Serra do Mar, associados às chuvas tropicais, já haviam sido observados por Martim Francisco Ribeiro de Andrade, em 1805, próximo a Cananéia (SP), descrevendo em seu diário: *"e não há imenso tempo, com as grandes chuvas desabaram porções das serras, que vieram a entulhar o rio das Minas e o ribeirão de Mandira, arrastando consigo enormes madeiras com grandes prejuízos dos moradores... julgando nisto um castigo visível da mão divina"* (Infanti Jr e Fornasari Filho, 1998)



CORRIDAS DE DETRITOS

Aspectos gerais

O termo é uma designação genérica para todos os tipos de fluxos rápidos (ocorrência repentina e curta duração) envolvendo detritos minerais de várias espécies e tamanhos, sendo usado como sinônimo de corrida de lama (*mud flow*). Caracteriza-se por conter predomínio de material grosseiro na massa (acima de 50%). O fenômeno tem grande mobilidade e alto poder erosivo.



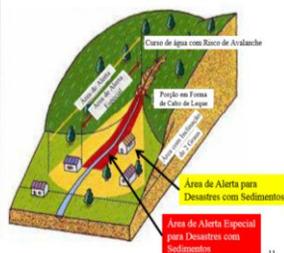
Venezuela, 1999



Venezuela, 1999

Fluxo de detritos

(fenômeno natural, quando ocorre um colapso no talude, e a água da montanha se junta com os sedimentos ou só os últimos e, descem encosta abaixo)



2014年8月広島豪雨災害

最大時間雨量319mm、死者74名
災害発生件数
急傾斜地の崩壊:59箇所
土石流等の発生:107箇所



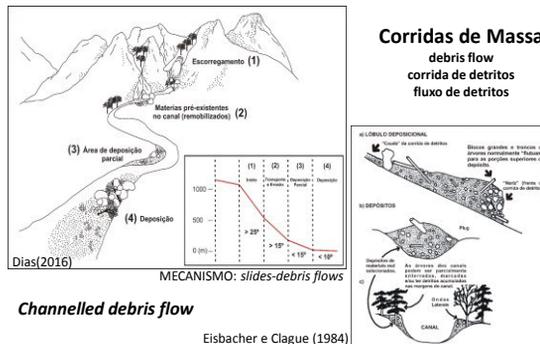
出典 国土地理院

FLUXOS DE DETRITOS (*debris flows*)

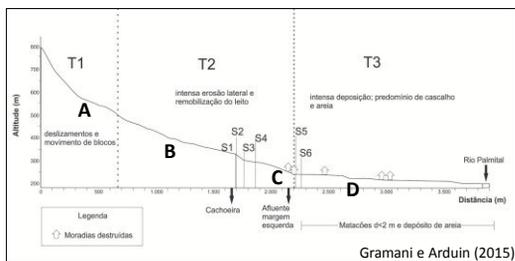
Favorecem a ocorrência do fenômeno:

- as altas declividades das escarpas montanhosas;
- o clima tropical, com a formação de espessas camadas de solos residuais e depósitos coluvionares e aluvionares
- elevada pluviosidade;
- destruição da vegetação das encostas (Ex.: descarga de poluentes na atmosfera);
- dimensões e forma das bacias serranas
- drenagens (geometria, inclinação, quantidade de materiais...)

Modelo Adotado



Modelo Adotado



A – C = zona de “aceleração”

C – D = zona de “desaceleração”

Modelo de Sassa (1987)

PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS DEBRIS FLOWS

⇒ VELOCIDADE DOS MATERIAIS: são comuns valores da ordem de 5 a 20m/s. Há casos extremos de 100m/s (Canadá e Peru); e alguns valores registrados de 25-40m/s



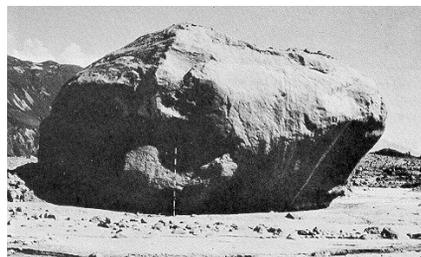
⇒TRANSPORTE DE BLOCOS DE ROCHA: característica marcante do processo; geralmente são transportados por longas distâncias



5 mecanismos para explicar o transporte:

- coesão
- buoyancy (“flutuação”)
- pressão de dispersão
- turbulência
- suporte estrutural

Condições geológicas e geomorfológicas podem condicionar o tamanho dos detritos transportados



(Huáscaran Debris Avalanche - Plafker et al., 1971)

⇒ **ERODIBILIDADE:** intensa erosão das margens e do fundo dos leitos, devido principalmente ao impacto gerado pelas corridas
 - nas cabeceiras de drenagem (maior declividade) é observada com frequência a erosão de fundo. Nas porções terminais predomina a erosão das margens.

ALARGAMENTO DA MARGENS

- Serra das Araras - 5m p/ 30m
- Córrego das Pedras - 2m p/ 40m
- Timbé do Sul - 5-8m p/ 80m
- Fz. Mato Quietto - 2-3m p/ 30



PIERSON (várias) registrou 4, 6, 11 m de erosão de fundo dos leitos

⇒ **IMPACTO GERADO:** combinação de velocidade dos materiais e tamanho dos blocos. Podem variar de 50-1000KN/m²



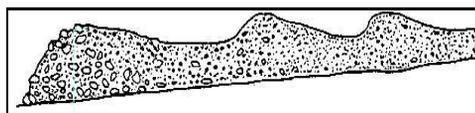
⇒ **PULSOS SUCESSIVOS (SURGES):** num evento podem ser contabilizados uma série de pulsos, com recorrência de poucos minutos a algumas horas

- caracterizados por grandes picos de vazão, superando valores de vazões registradas em grandes enchentes
- diferenciados pela distribuição granulométrica, forma e grau de erosão

Primeiras ondas são mais destrutivas, maior quantidade de material grosseiro, mais densas

CAUSAS:

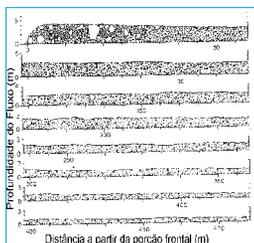
- barramento temporário
- incorporação de material de novos escorregamentos
- picos de chuva



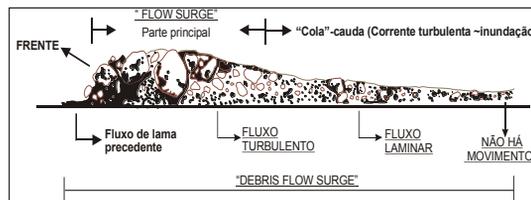
⇒ **DEPOSIÇÃO E FEIÇÕES SEDIMENTARES:** típicas do fenômeno; essenciais para o reconhecimento e diferenciação de outros processos de transporte de massa

Essencialmente características:

- Granulométricas
 - distribuição na massa
 - selecionamento
 - arranjo/orientação
 - deposição



Takahashi (1981)



(modificado de Orozco, 1989)

- ⇒ Blocos suspensos
- ⇒ Imbricamento marcante
- ⇒ Má seleção dos grãos
- ⇒ Orientação dos seixos (formatos alongados)
- ⇒ Matriz sustentados / Clastos Sustentados
- ⇒ Gradação invetida



(Costa, 1984)

LEEVEES = CORDÕES LATERAIS DE SEDIMENTOS MAL GRADUADOS QUE MARGEIAM A PASSAGEM DO FLUXO



Deposição dos materiais e riscos

- Marchi e Tecca (1996) 8° e 20°
- Zimmermann (1996) 1°
- Morgan et al. (1997) 6°
- Benda (1985) 2° e 9°
- Ikeya (1981) 3°-10°
- Mizuyama (1981) 3°-5°
- Pierson (1980) 4°-10°
- Swanson e Lienkaemper (1978) 4°-10°



USGS

⇒ **REMOÇÃO DA COBERTURA VEGETAL:** vegetação é intensamente afetada, tanto na área fonte, como na área de deposição; causas: colapso dos solos (área fonte) e impacto dos grandes blocos (área de transporte e deposição); verificado na grande maioria dos casos nacionais



Fonte: Renato Lima - CENACID-UFRP

⇒ **TEMPO DE DURAÇÃO E VAZÃO:** as corridas ocorrem num curto espaço de tempo, quando comparadas a outros processos de mobilização de massa. A **vazão** pode atingir valores superiores a **10x** a de enchente para uma mesma bacia

Densidade:

- enchente "suja" → 1,01 - 1,3 t/m³
- "debris flows" → 1,4 - extremo de 2,4 t/m³
- valores da ordem de 2,0t/m³ são comuns

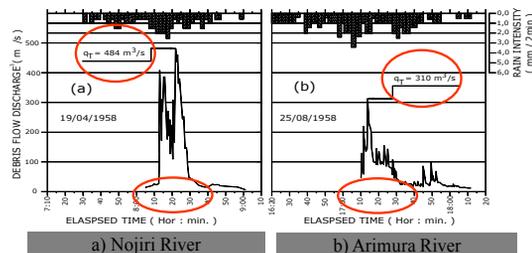
Viscosidade:

- 15 - 60000 poise
- valores acima de 2000 são mais comuns

Concentração:

- Volumétrica → 25 - 85%
- Peso → 35 - 90%
- Conteúdo de água → 10 - 30% (variável)

"DEBRISGRAMAS" DE DEBRIS FLOWS NO JAPÃO (SABURO, 1988)



___ Escorregamentos: **onde?**

- local/início (escorregamentos)
- dimensões (quantidades/volumes)
- propriedades (geotécnicas)
- tempo de ocorrência (escoamento)



(Fonte: Prof. Nogami)



___ Canais de drenagem: **quais?**



zona de "aceleração"

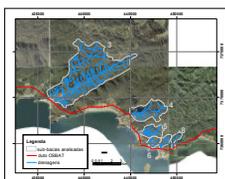
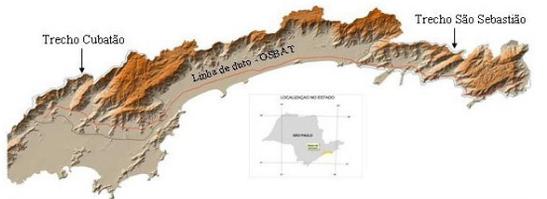


zona de "desaceleração"

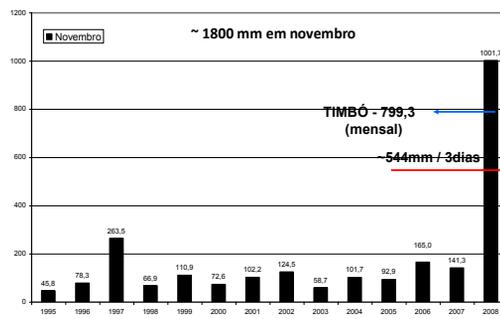


(Gramani, 2014)

___ Bacias hidrográficas: **quais?**



___ Chuvas: **onde e quando?**



(Gramani et al., 2009)

___ Transporte de materiais: **como?**



(Cruz, 1974)

Depósitos de material grosso mostrando nítida inversão granulométrica dos materiais

Clastos sustentados



(Cruz, 1974)

Vastas áreas cobertas por deposição de material fino

Pequeno impacto da massa

___ Transporte de materiais: **trajetória?**

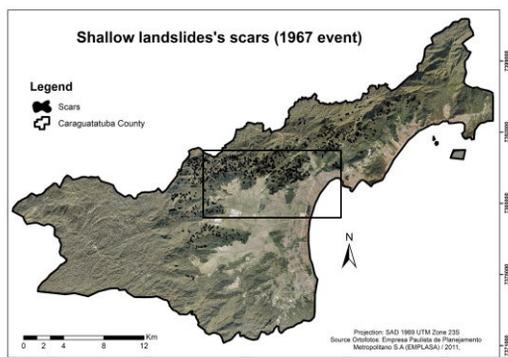


CASOS NACIONAIS

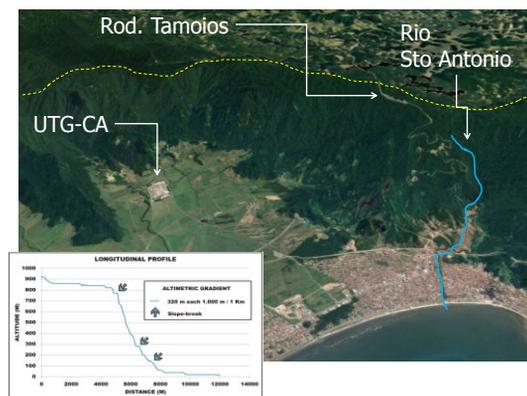
- Serra do Mar (SM)
- Serra da Mantiqueira (SMt)
- Serra Geral (SG)
- Serra de Maranguape (SMg)

CARAGUATATUBA, 1967

- a) Chuva: 420mm/1dia; 586mm/2dias (945,6mm / 30 dias)
- b) Cerca de 700 escorregamentos de terra
- c) Transporte de sólidos: 7.6×10^6 tons
- d) 120 mortos, 400 casas destruídas
- e) Danos na Rodovia dos Tamoios
- f) rio Santo Antônio teve seu leito alargado de 10-20m p/ 60-80m; formados depósitos com 4-5m de altura, blocos de 30-100t mobilizados



Helen Cristina Dias



LAVRINHAS, SMT (SP) - 1986



Volume de troncos: 30 000 árvores (?)



Proximidades de Cruzeiro (Vale do Paraíba)
Vales do Rio Paiol e Jacú

11 mortes, destruição de casas, pontes e estradas vicinais

Ocorreram na interface das escarpas da Serra da Mantiqueira (gnaiesses, xistos, qzitos) e do relevo de Morros Cristalinos (granitos)

- fortes chuvas nas encostas da serra
- mobilização de material
- barramentos naturais
- rupturas violentas
- grande erosão e destruição a jusante

V ~ 160 000m³



GRANDE MOBILIZAÇÃO DE MATERIAL GROSSEIRO

**BLOCOS DE ROCHA
MATAÇÕES
SEIXOS**

50% de blocos
30% de matações
20% de areias e finos





Distância percorrida: **~6km**,
num desnível de **800m**

Cerca de 3 ondas foram observadas, num intervalo de 3min.

V ~ 20m/s



Vales estreitos: barramento natural



“Gargantas”: barramento e ruptura posterior



Incorporação de material!

Volumes???

CUBATÃO, SM (SP) - 1985/1994/1996

Área afetada desde a década de 70

A partir de 85 se intensificaram os estudos para proteção das instalações industriais, ano de intensa movimentação de massa na serra



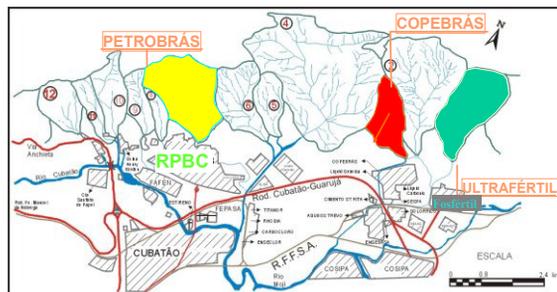
- Rio Cachoeira (1976)
- Braço Norte (1976)
- Córrego das Pedras (1994)
- Afl. Principal (1996)

“Debris flow” de 1985
Na RPBC (84mm/1h; 265mm/24horas)
(bacia do córrego das PEDRAS)

- ✓ Danos moderados
- ✓ Construção de obras de proteção, tais como 9 barragens tipo gabião



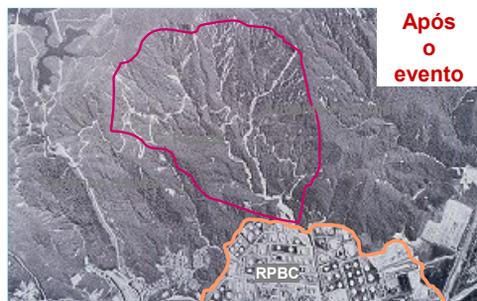
INVENTÁRIO: DEBRIS FLOWS NA SERRA DO MAR, CUBATÃO
 (JICA / IPT, 1991)



FOTOAÉREA DA REGIÃO AFETADA POR “DEBRIS FLOW” EM MARÇO DE 1994



Cicatrizes dos 97 escorregamentos
Área escorregada: 226.000m² (8,6%)



DEBRIS FLOW NA RPBC – CUBATÃO(SP)-1994



PP ~ 248mm/24h
60mm/1h

Intensa erosão das margens

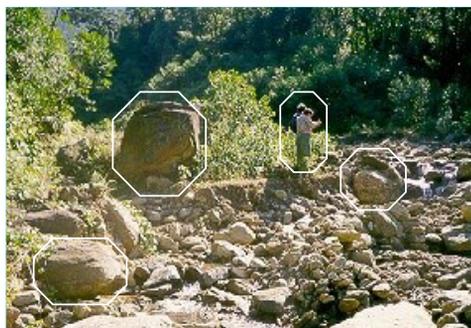
- Córrego das Pedras
- Afluente Principal

V ~ 300000m³
lama/areia/pedregulhos/blocos
de rocha/troncos de árvores
água

Vel ~ 10m/s



POR VEZES SÃO ENCONTRADOS BLOCOS DE 6-7m DE DIÂMETRO



OBRAS “NÃO CONVENCIONAIS”

- COLARES DE PEDRAS
- ENROCAMENTOS ARGAMASSADOS
- GABIÕES ARMADOS/ARGAMASSADOS: MANTAS FLEXÍVEIS
- “STEEL FRAME DAM”: GAIOLAS METÁLICAS PREENCHIDAS COM ENROCAMENTO
- MUROS DE GABIÕES REVESTIDOS COM CONCRETO PROJETADO
- BARREIRAS DE RETENÇÃO DE GALAHARADA: TRILHOS
- FLUTUADORES: TAMBORES, TELAS E CABOS DE AÇO

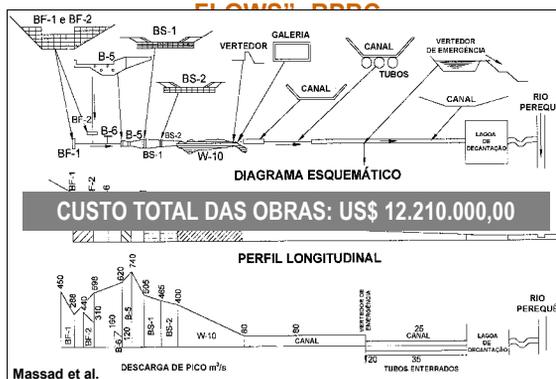
GRANDEZAS ENVOLVIDAS

- Concentração de Sólidos
- Velocidades
- Vazões de Pico: Hidrogramas e Debrisgramas
- Volume de Sedimentos Transportados
- Forças de Impacto em estruturas

IMAGENS DAS OBRAS CONSTRUÍDAS



OBRAS DE CONTROLE DE "DEBRIS FLOW" BRD



TIMBÉ DO SUL, SG (SC) - 1995



> 500mm/1h; $V_s = 3.10^6 \text{ m}^3$
29 mortes + agricultura e gado



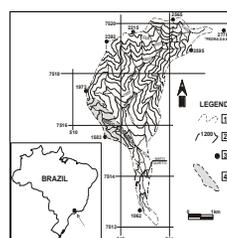
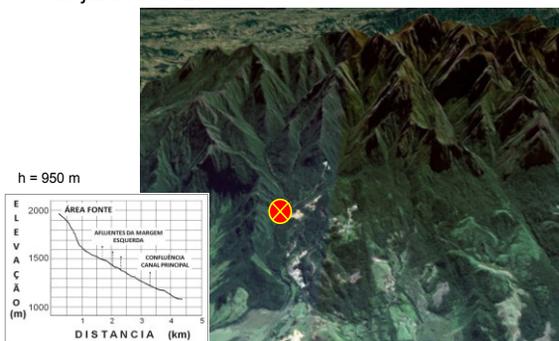
Via Anchieta, SM (SP) - km 42 "slide-debris flow" dez/2000



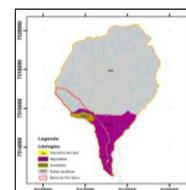
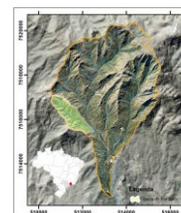
___barramentos naturais



Fazenda Mato Quietto (SP, Vale do Paraíba) 1º de janeiro de 2000



A = 1,33 km²





Escorregamentos na porção intermediária da bacia

Trechos com baixa declividade e intensa deposição de rochas



Trechos onde predomina a erosão lateral e do leito



SANTA CATARINA

Eventos extremos de chuva em novembro/2008

Principais municípios atingidos:

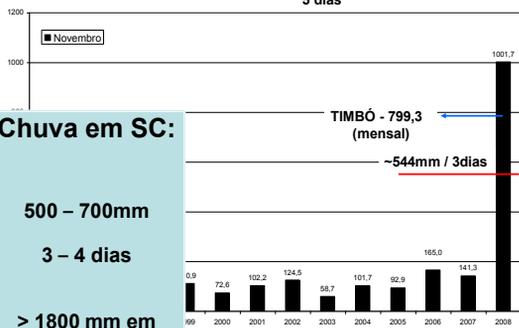
Blumenau

Itajaí

Jaraguá do Sul

Luiz Alves, Ilhota e Gaspar (Complexo do Baú)

Jaraguá do Sul – 720 mm / 5 dias



Enchente do rio Itajaí-Açú - Blumenau



Inundação – Vale do Itajaí



Corridas de massa – Complexo do Baú



Corridas de massa – Complexo do Baú



Corridas de massa – Complexo do Baú



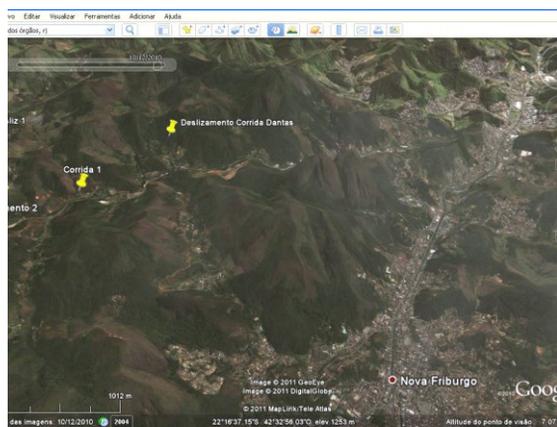
Paraná - 2011

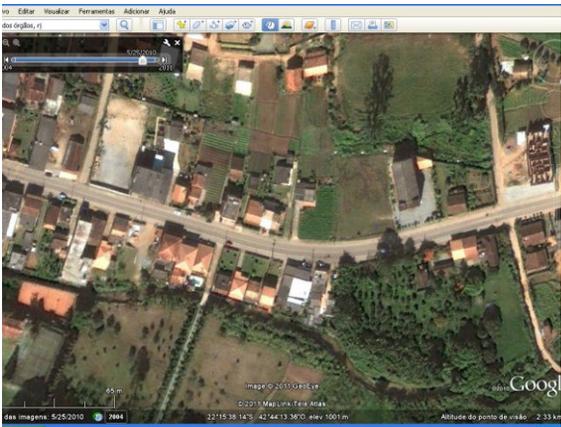
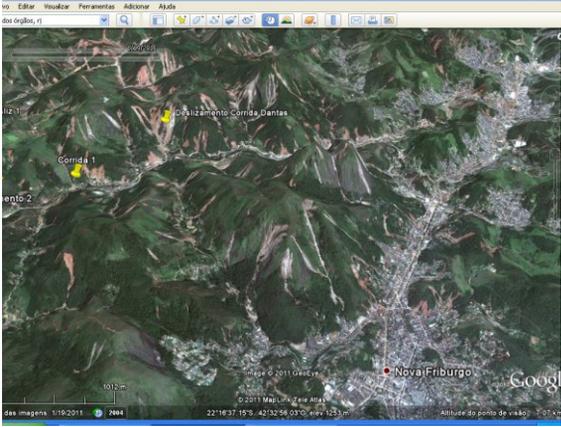


Everton Passos e Roberto C. Pinto (maio/2012)



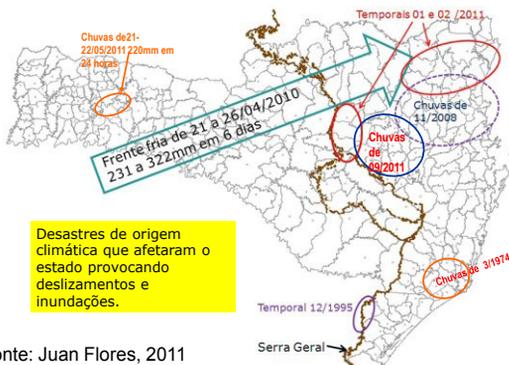
Região Serrana do Rio de Janeiro - 2011







Santa Catarina - 2011



Fonte: Juan Flores, 2011

Mirim Doce-SC Janeiro 2011 Bairro Serra Velha



Imagem gentilmente cedida por José Henrique Vilela – CEPED/UFSC



Imagem gentilmente cedida por José Henrique Vilela – CEPED/UFSC

Mirim Doce-SC Janeiro 2011

Bairro Serra Velha



Imagem gentilmente cedida por José Henrique Vilela – CEPED/UFSC

Mirim Doce-SC Janeiro 2011

Bairro Serra Velha



Imagem gentilmente cedida por José Henrique Vilela – CEPED/UFSC

Rio do Campo - SC Janeiro 2011

Bairro Rio Azul

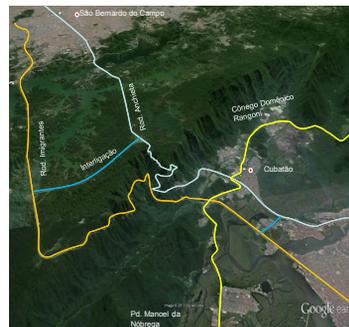
SERRA DO MAR - 2013

Sistema Anchieta-Imigrantes

CORRIDA DE LAMA – CARACTERÍSTICAS DO LOCAL



LOCALIZAÇÃO – SISTEMA ANCHIETA-IMIGRANTES



Data da ocorrência
22 de Fevereiro
2013

EVENTO PLUVIOMÉTRICO – A CAUSA



EVENTO PLUVIOMÉTRICO – A CAUSA



CAUSA

Precipitação Medida

107 mm em 1 hora
182 mm em 2 horas

Período de Retorno

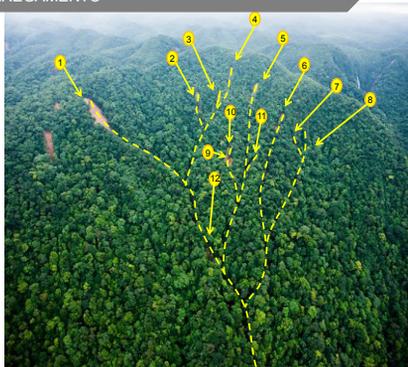
282 anos

ocorrência

15:30	início da chuva no Sistema
16:00	20 mm
16:40	90 mm
17:40	181 mm

Precipitação em CUBATÃO

CORRIDA DE LAMA – CICATRIZES DE ESCORREGAMENTO



CORRIDA DE LAMA – PERCURSO DOS DEBRITOS



EVENTO PLUVIOMÉTRICO – CONSEQUÊNCIAS



- Escorregamentos 72
- Veículos afetados 39
- Vítimas fatais 1

Vista do emboque Santos do túnel TA 10/11



EVENTO PLUVIOMÉTRICO – CONSEQUÊNCIAS



- Utilizados 270 caminhões: 2.700 m3 de detritos
- 2 ambulâncias
- 6 escavadeiras hidráulicas
- 14 guinchos leves
- 12 caminhões pipa
- 132 profissionais diretamente envolvidos



SOLUÇÕES - EMERGENCIAL



Instalação de Barreira Dinâmica

SERRA DO MAR - 2013

ETA
PILÕES

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA



- At ~ 0,55 km2
- Δh ~ 610 m
- Drenagens: 4300 m
- P ~ 5226 m
- A₃₀ ~ 0,26 km2 (47%)
- Inclinação média do canal principal ~ 18 °





2002



2013



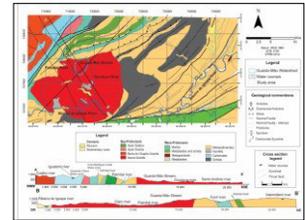
IMAGENS 2002



IMAGENS 2013



Córrego Guarda-Mão Itaóca, Serra do Mar (SP) Jan/2014



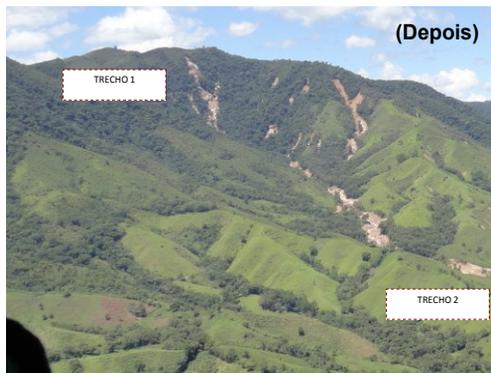
642 cicatrizes!



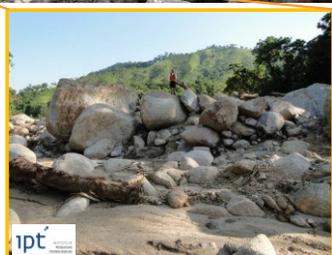
(Caleb et al. 2016)

(Antes)





"Levee"

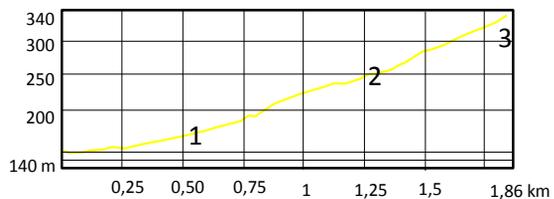
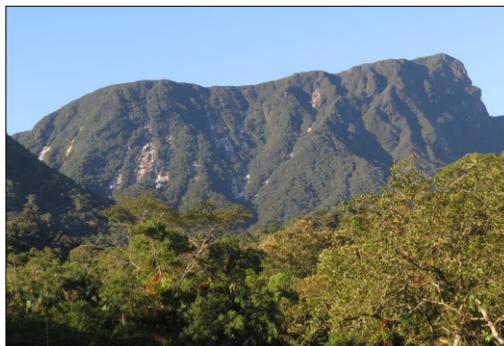




TRECHO 2



Divisa Paraná – Santa Catarina
Jan/2017



PATAMARES entre T2 e T1



Depósitos “bem selecionados” com matacões dispersos



Depósitos “bem selecionados” com matacões dispersos

Rápidos comentários...

- “desconhecemos” os canais de drenagem
- “Pouca” disponibilidade de dados na literatura técnica nacional
- **Muitas formulações são semi-empíricas: necessidade de validação para cada diferentes cenários**
- Simulações numéricas: necessidade de comprovação
- **Definição do fenômeno: debris flow – debris flood - flow**
- DESAFIO: Determinação do raio de alcance / trajetória
- **Quantificar material vegetal**
- Limiares críticos... indicadores para Antecipar
- **Emprego de materiais naturais**