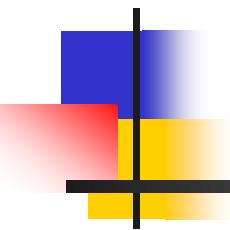
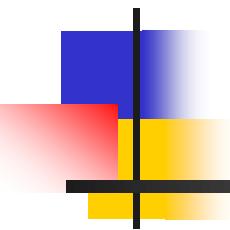


# Monitoramento das condições climáticas associadas às geotécnicas na BR-116/RJ



Mauricio Ehrlich  
COPPE/UFRJ

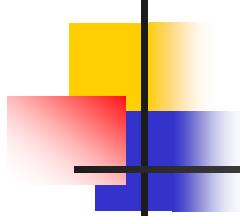


# Equipe da pesquisa

- Eng. Clara Ferraz
- Eng. Sergio Magalhães
- Eng. Matilde Villela de Souza
- Técnico Sebastião Menezes
- Analista de Sistemas Antonio Jebrael.

- Prof. Maurício Ehrlich
- Prof. Willy A. Lacerda
- Geol. Ricardo d'Orsi , doutorando
- Eng. Glauco Aguillar Oliveira, doutorando
- Eng. Hélcio Gonçalves

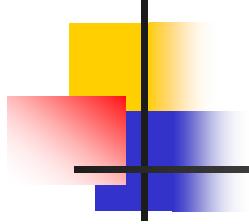
- Meteorologista Luis Carlos Austin
- Meteorologista Marlene Leal



# Objetivos

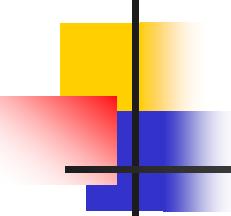
---

- monitoramento das condições climáticas;
- desenvolver modelos de previsibilidade de temporais e sistema de alerta meteorológico;
- correlacionar chuvas com o comportamento de encostas;
- definir os índices de chuva que fomentam deslizamentos e estabelecer “indicadores de alerta”.



# Escopo da pesquisa

- avaliar o tipo e efeitos de chuvas na rodovia;
- correlacionar chuvas, água subterrânea e movimentos em encostas;
- estão sendo monitorados locais específicos e também avaliada a rodovia como um todo com base em boletins de ocorrência.

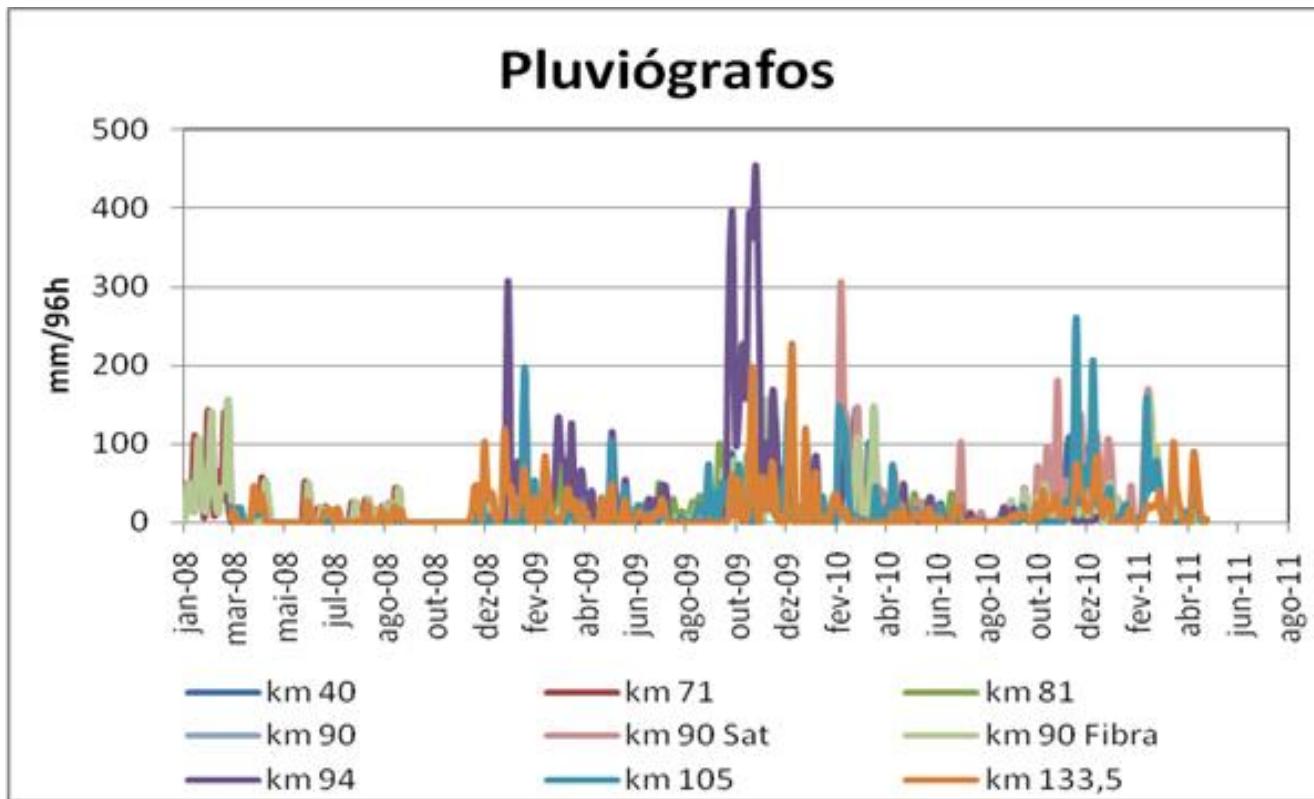


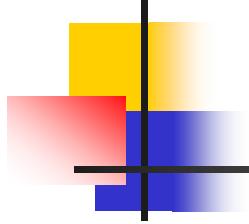
# Equipamentos

---

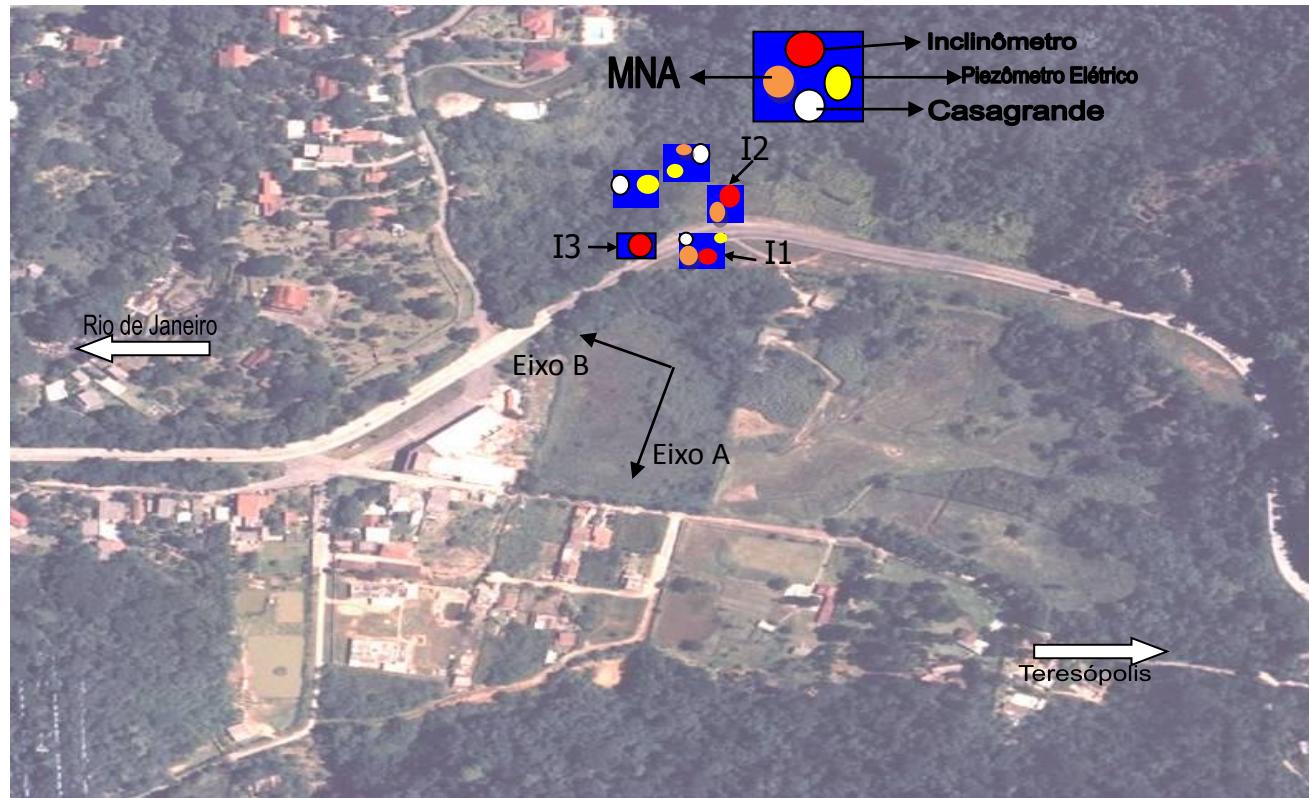
- pluviógrafos (cinco);
- estações automáticas completas (duas);
- sistema intercomunicação CRT-INMET-COPPE;
- inclinômetros (três verticais);
- piezômetros tipo corda vibrante (onze);
- piezômetros tipo Casagrande (onze);
- leitoras automáticas piezômetros corda vibrante.

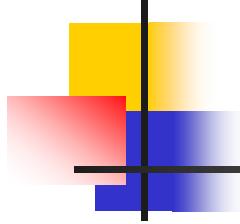
# Registros de chuvas observados nos pluviógrafos



- 
- estação chuvosa meses de novembro a abril.
  - picos significativos com acumulados diários superiores a 150 mm.
  - chuvas do tipo convectivas e orográficas.
  - as chuvas convectivas são responsáveis pelos altos picos diários registrados (chuvas de verão).

# Instrumentação geotécnica km 101

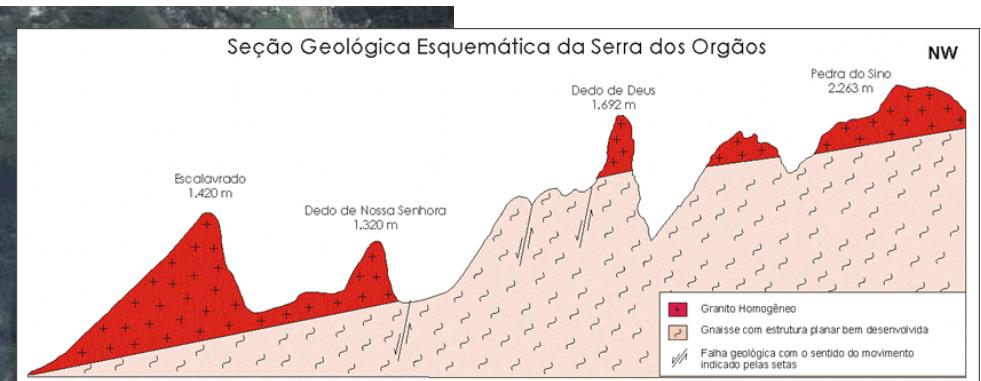




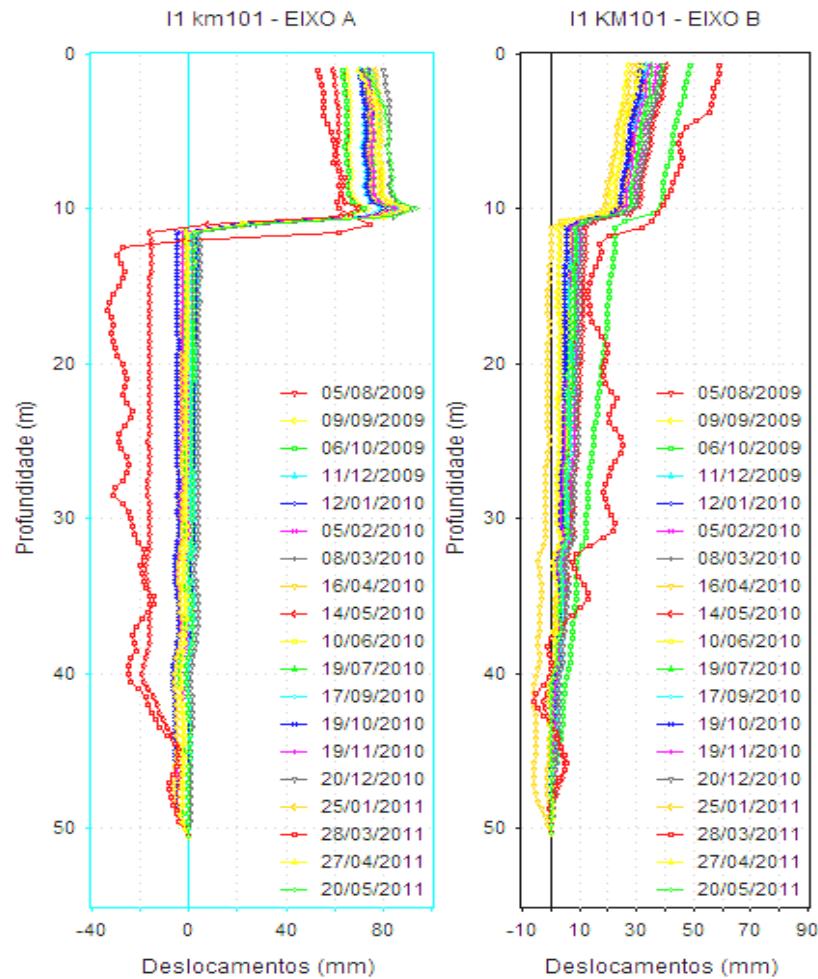
## Histórico

- movimentos ocorrem permanentemente no local, observam-se desvios significativos na pista;
- hoje tem-se em andamento os trabalhos de implantação da 3<sup>a</sup> faixa da subida da serra.
- os trabalhos incluem renivelamentos das pistas existentes e implantam-se sistemas de drenagem superficial e profunda no local.

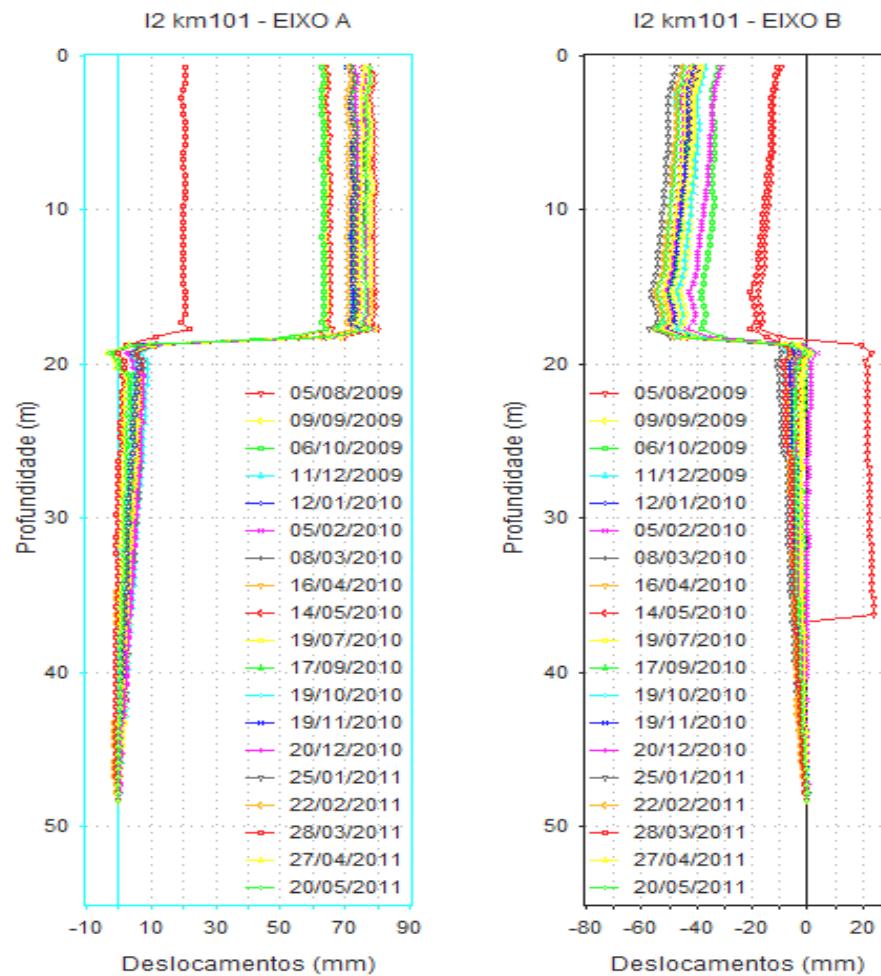
# Configuração topográfica e geologia regional



# Movimentação lateral (I1)



# Movimentação lateral (I2)

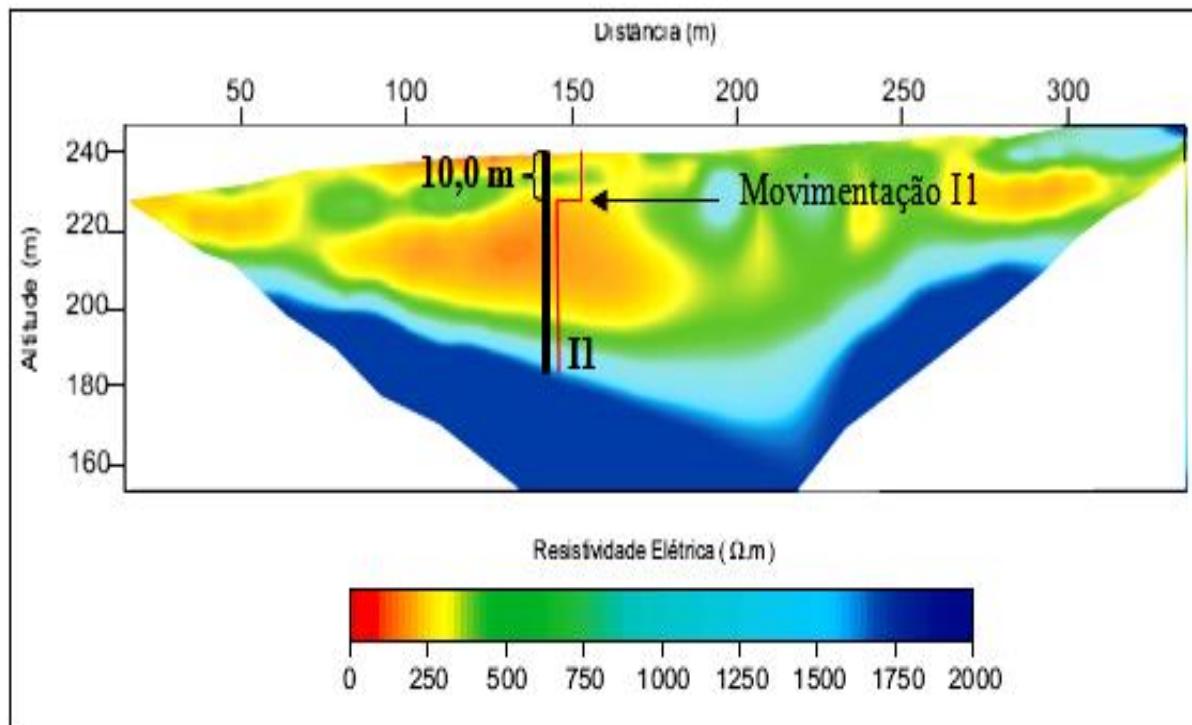


# Movimentações totais

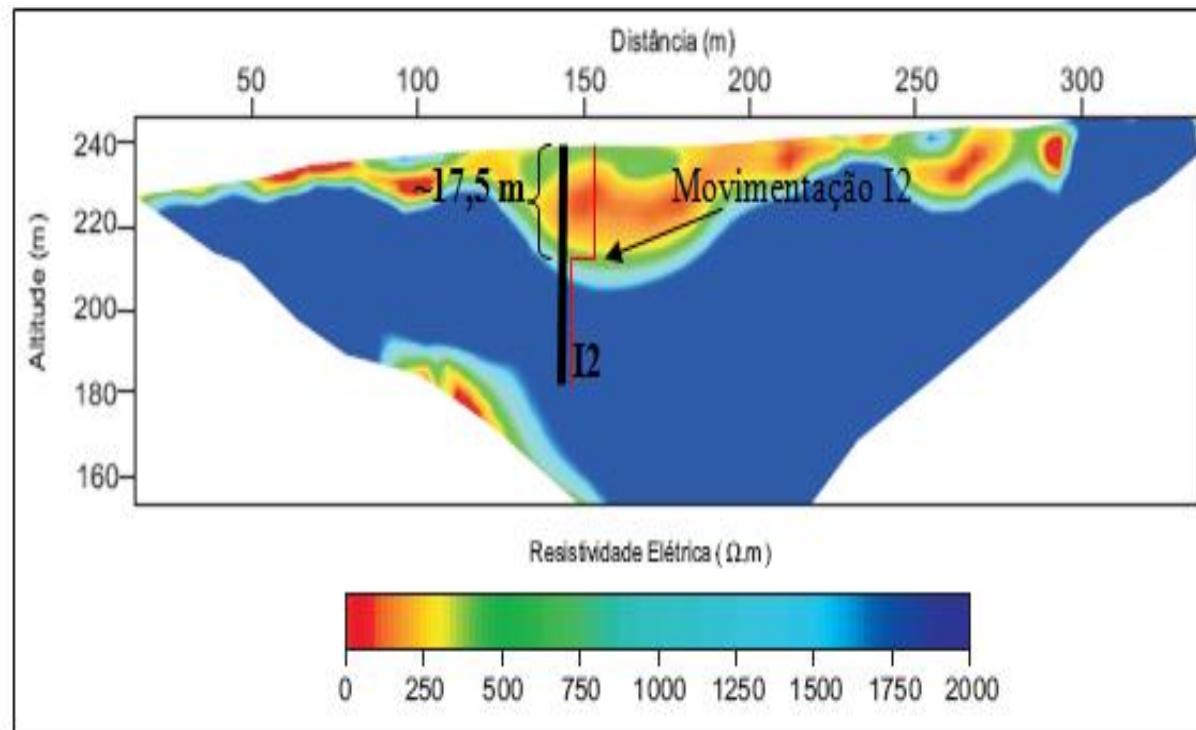


150m

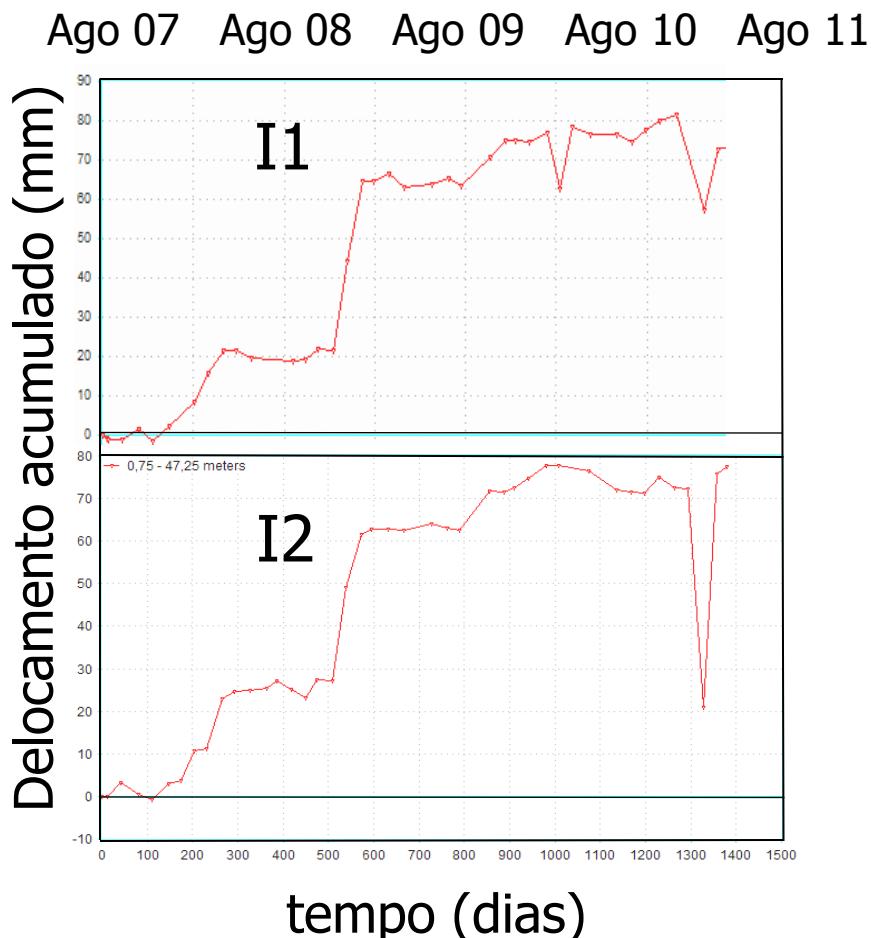
# Sondagens geofísicas (perfil CRT-03) e inclinômetro I1.



# Sondagens geofísicas (perfil CRT-02) e inclinômetro I2.

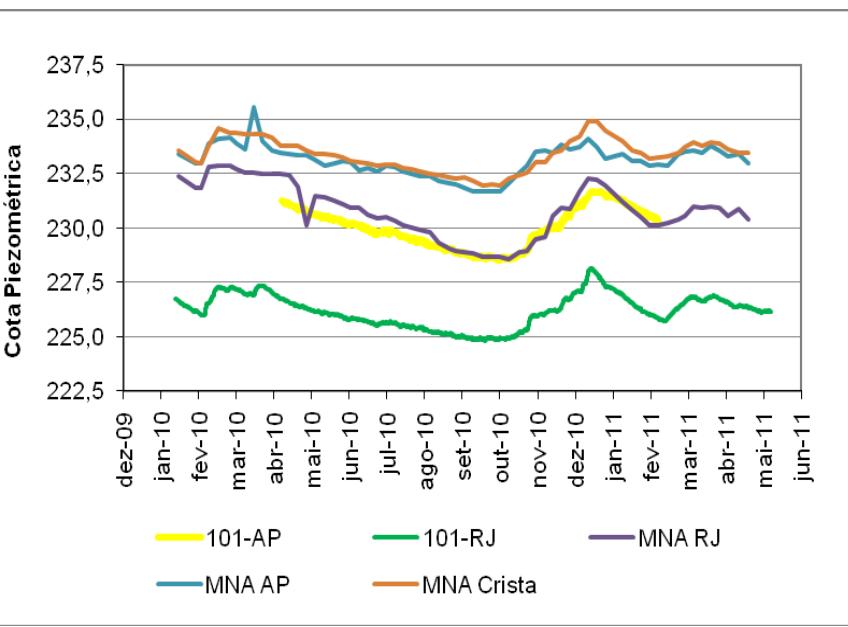


# Deslocamento acumulado (eixo A)



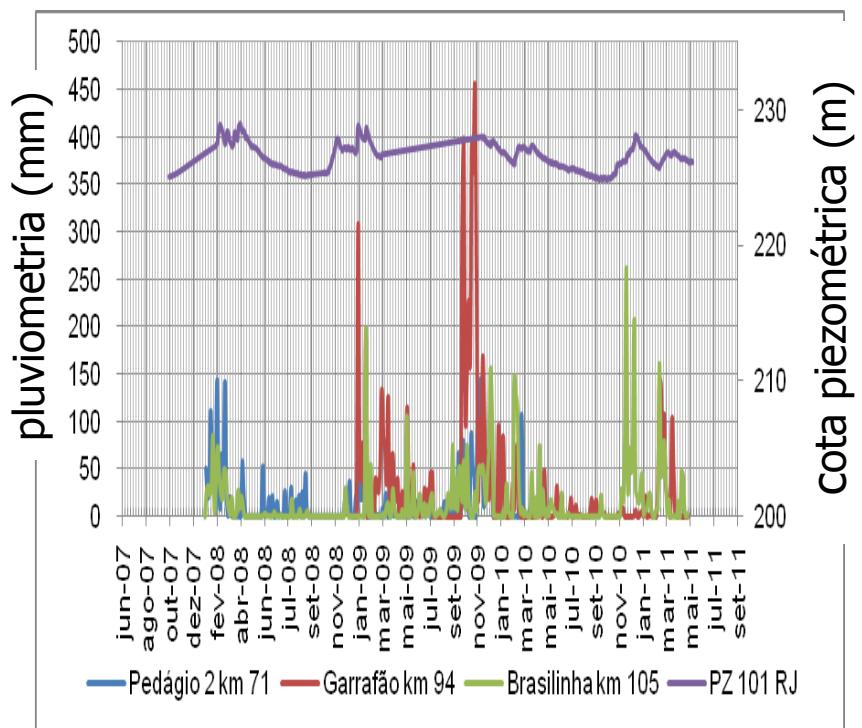
- Deslocamentos basicamente nos períodos chuvosos e coincidem com a subida dos níveis piezométricos;
- Velocidade de deslocamento ( $\sim 40$  mm/ano) classificada como Muito Baixa (Cruden & Varnes, 1996);
- Nos períodos chuvosos as taxas de deslocamento chegaram a atingir valores da ordem de 20 mm/mês.

# Medidores de N.A vs. leituras piezométricas



- Observa-se que as variações de leituras dos diferentes instrumentos apresentam correspondência;
- Os MNA apresentam cotas piezométricas superiores aos piezômetros próximos;
- Tal indica que ocorre um fluxo de cima para baixo.

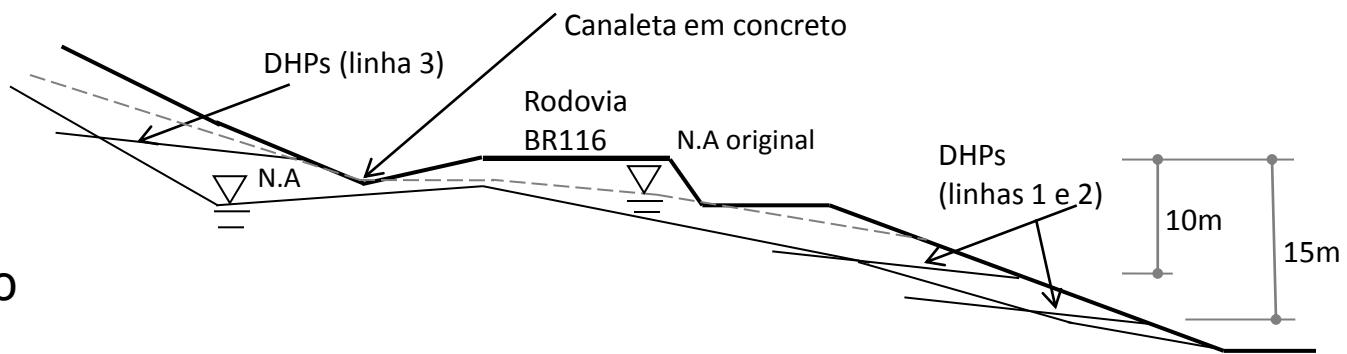
# Pluviometria vs. leituras piezométricas



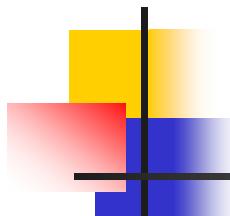
- As leituras piezométricas variam com chuvas acumuladas superiores a 100 mm (em 96 horas).
- O tempo de resposta dos piezômetros apresentam-se aproximadamente 7 dias.

# Intervenção geotécnica\*

\* 3 linhas de 10 DHPs  
de 50 m comprimento

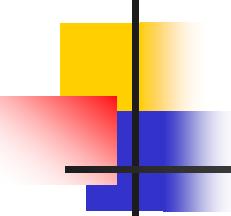


$$Q = 480 \text{ L/h}$$



## Comentários

- Sondagens geofísicas e convencionais indicam a existência no km 101 de uma língua de material menos consolidado. A língua inclina-se ( $\sim 45^\circ$ ) em relação ao eixo da rodovia no sentido Rio de Janeiro e tem profundidade variando de 30m a 70m, e largura de 150m (27m prof.) e 100 m (47m prof.).
- Trata-se de um paleotalus, ou seja, blocos de rocha vindo da escarpa acima ao longo de milhares de anos. Esses blocos de rocha depositaram-se num antigo talvegue existente no local.
- As movimentações laterais mensuradas em dois pontos mostraram valores similares quanto à velocidade, períodos e deslocamento acumulado ( $\sim 90$  mm);
- Maiores deslocamentos (valores até 20 mm/mês) ocorrem nos períodos chuvosos (associados à subida dos níveis piezométricos) e praticamente nulos nos períodos de estiagem.



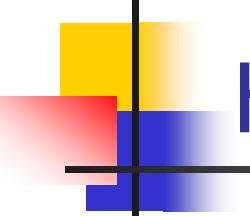
## Comentários (continuação)

- O movimento é classificado como rastejo por ser intermitente. A velocidade de deslocamento (~40 mm/ano) pode ser descrita como Muito Baixa ( Cruden & Varnes, 1996).
- As leituras piezométricas variam com chuvas acumuladas superiores a 100 mm (em 96 horas) e o tempo de resposta no piezômetro apresenta-se aproximadamente 7 dias;
- DHPs estão em implantação com o objetivo de manter o N.A. abaixo do valor que promove movimentações.

# Instrumentação geotécnica km 86 ao km 88



150m



# Histórico km 87.3



Foto: Jornal "O Dia"

- rotura de trecho em aterro à meia encosta (Fev./2005);
- trecho colapsado – 10m profundidade e 40m extensão;
- corrida de lama 120m na direção da Granja Comari.

# Situação anterior ao colapso

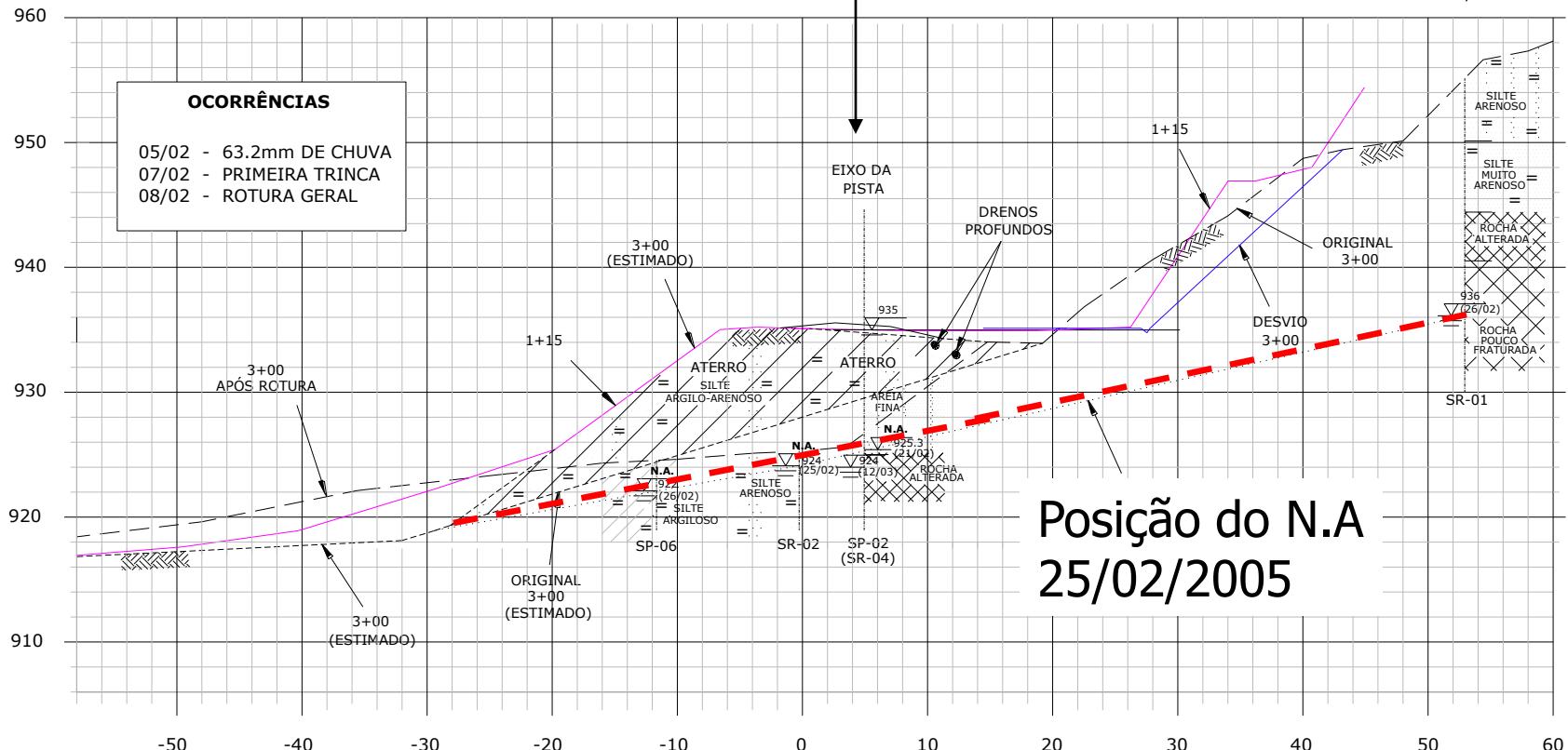


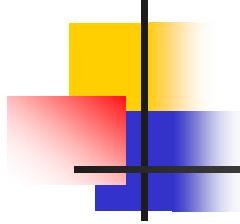
região do  
colapso

# Perfil original do terreno

## **piezômetro “crista”**

# piezômetro “viaduto”

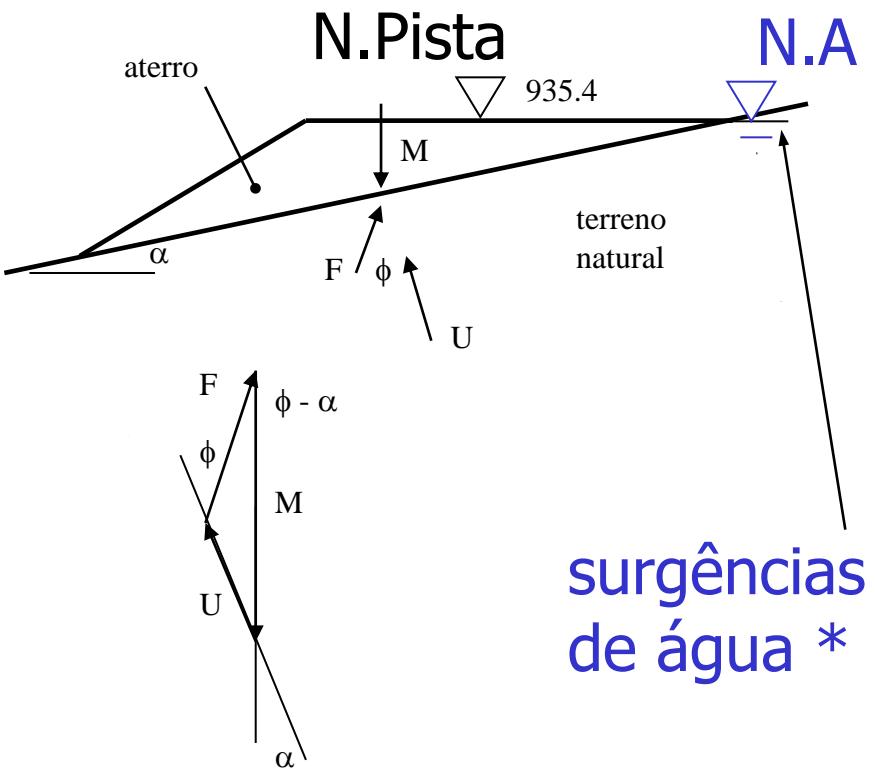




## Histórico - km 87.3

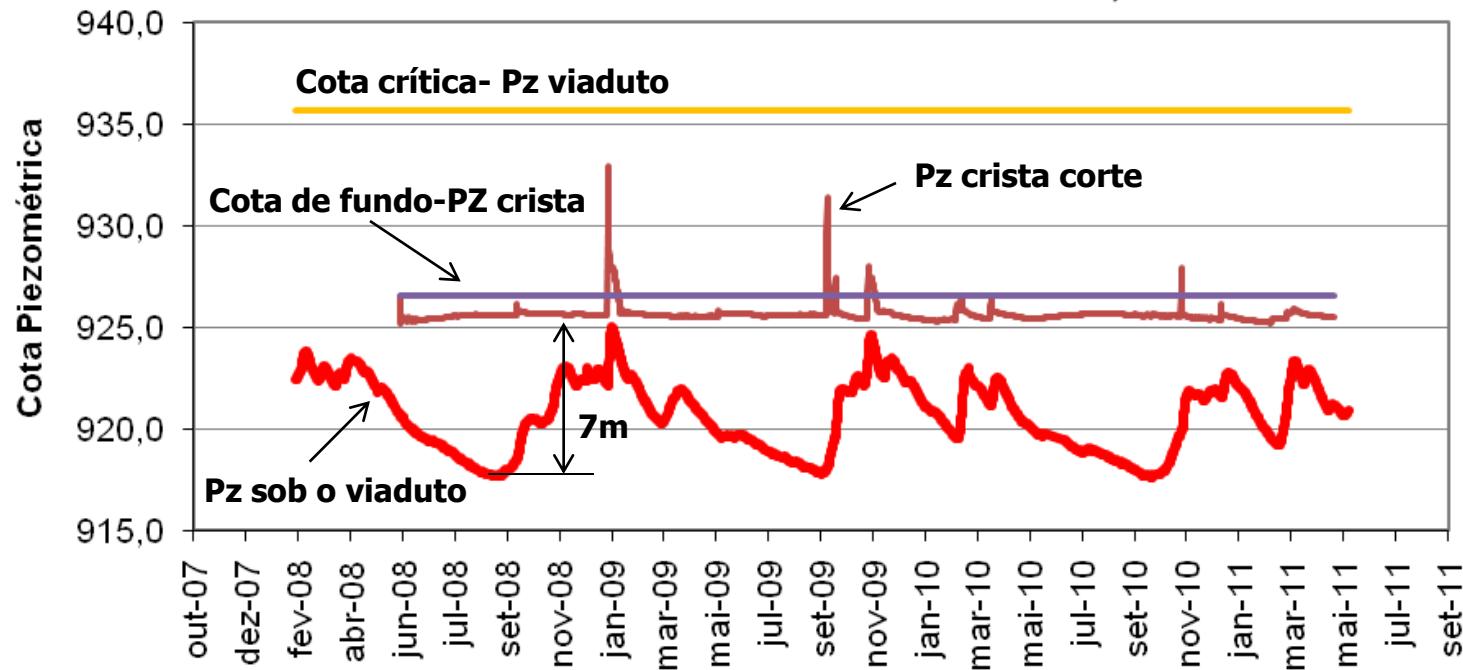
- a rotura deu-se pelas deficiências de drenagem do terreno natural (talvegue) na base do aterro;
- colchão drenante (fase construtiva da rodovia) ou drenos subhorizontais (intervenção posterior) poderiam ter evitado o sucedido.

# Análise de estabilidade

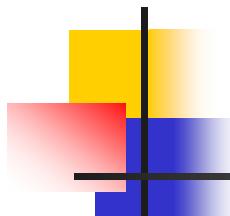


- surgências d'água ladeando a pista foram verificadas no dia anterior à rotura \*;
- demonstrou-se que a carga hidráulica na base do aterro coincidiria com o nível da pista, na condição de colapso.

# Monitoração de pressões d'água, km 87.3

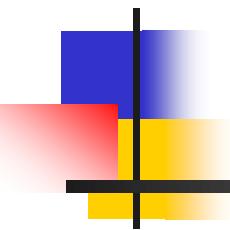


*Instalação de drenos subhorizontais*



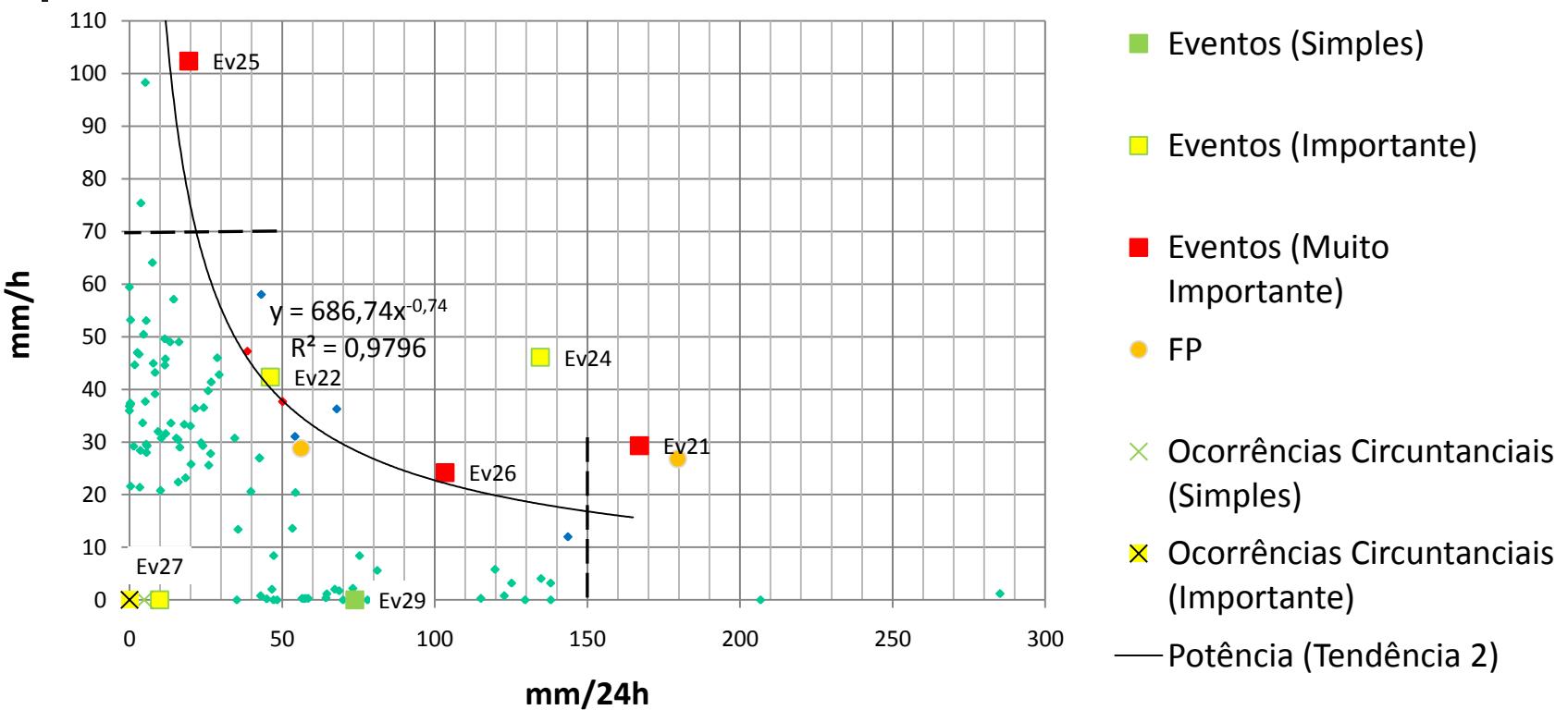
## Comentários

- Os valores mensurados apresentam-se bem aquém da cota piezométrica crítica para os aterros situados no entorno do km 87.
- Os piezômetros elétricos foram sensíveis ao pico de chuva acumulado (291 mm em 96h; Posto Garrafão).
- Cerca de sete dias após o registro, todos os piezômetros registraram picos nas medidas de poropressão.
- Intensidades de chuvas menores que 50 mm, em 96 horas, não tiveram reflexo nas leituras piezométricas.

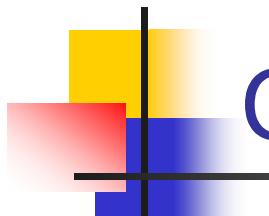


# Correlação chuvas vs. eventos

# Chuva vs. eventos



\* *Eventos simples* podem ocorrer independentemente de qualquer pluviometria, até mesmo na ausência de precipitação pluviométrica.

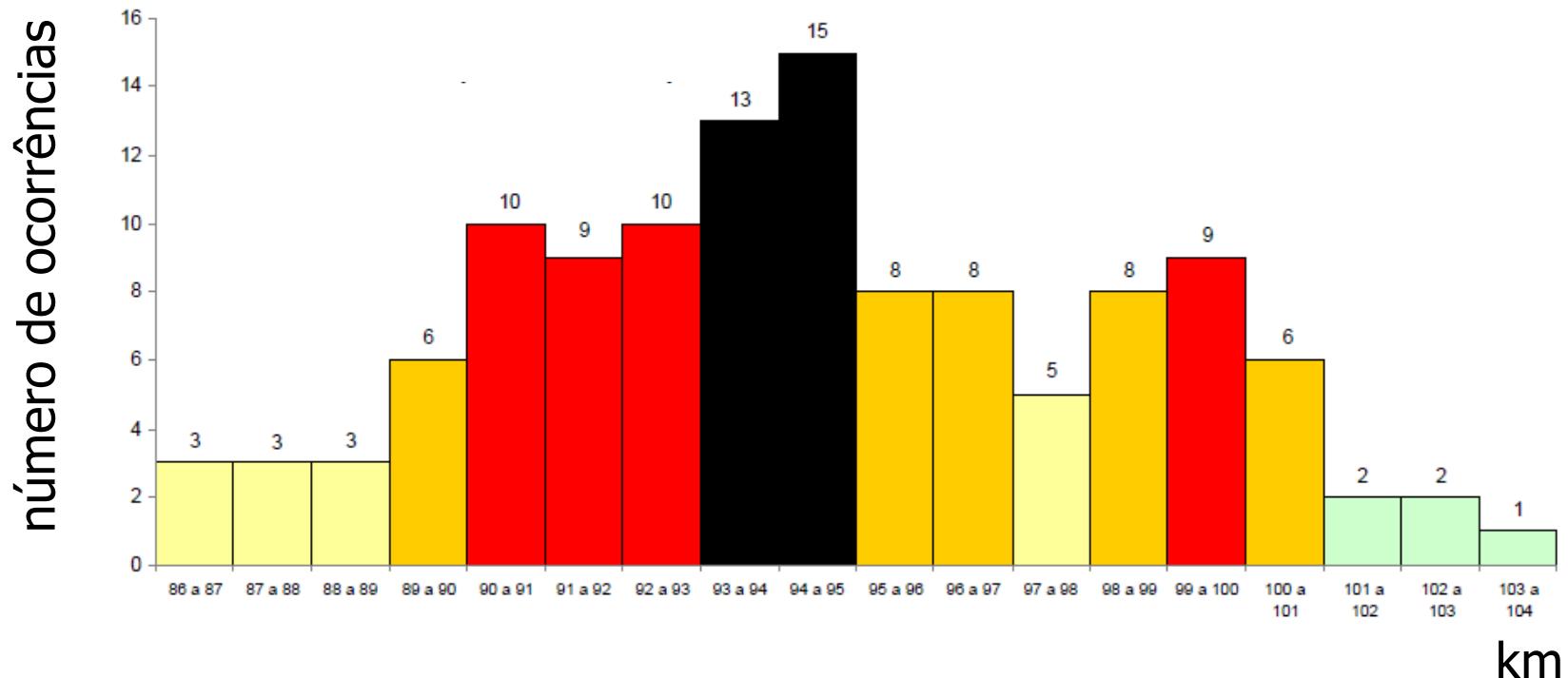


# Categoria de Eventos\*

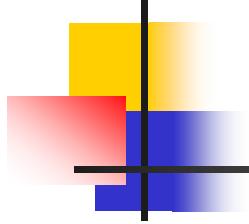
| Nº. de ocorrências | Alcance do escorregamento |                  |                  |
|--------------------|---------------------------|------------------|------------------|
|                    | Acostamento               | 1 pista          | 2 pistas         |
| 1                  | Simples                   | Simples          | Importante       |
| 2                  | Simples                   | Importante       | Muito Importante |
| 3                  | Importante                | Importante       | Muito Importante |
| 4                  | Importante                | Muito Importante | Muito Importante |
| ≥ 5                | Muito Importante          | Muito Importante | Muito Importante |

\* função do número de ocorrências e do alcance dos escorregamentos;  
não reflete, de fato, o risco (suscetibilidade vs. consequência).

# Nº de ocorrências vs. Km\*



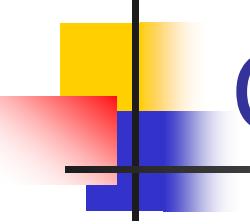
\* 1980 a 2010



# Reabertura

---

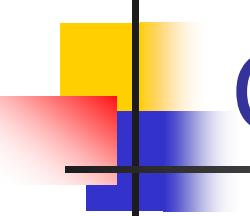
- 2hs com chuva inferior a 5mm/h (chuva leve);
- vistoria prévia.



# Coleta e organização dos dados

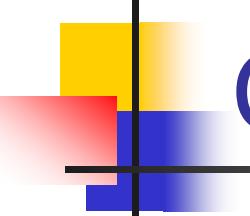
Os Boletins de Ocorrência devem apresentar as seguintes informações (pelo menos):

| Nº. da Ocorrência   |        |  |
|---|--------|--|
| <b>Data</b> da Ocorrência   |        | <b>Tipo de material</b> mobilizado: solo, rocha, vegetação.                    |
| <b>Horário</b> da Ocorrência  |        | <b>Volume</b> aproximado do material mobilizado:                               |
| <b>Local (Km)</b>   |        | <b>Conseqüências</b> da ocorrência (breve descrição)                           |
| <b>Pistas</b> de rolamento atingidas: P1, P2, acostamento.  |        | <b>Descrição</b> da Ocorrência (quando necessárias informações complementares) |
| <b>Origem</b> do movimento: (a montante ou a jusante das pistas)  |        | <b>Fotografia(s)</b>   |
| <b>Tipo de ocorrência:</b> deslizamento translacional, deslizamento rotacional, queda/rolamento, corrida/avalanche, ruptura de aterro, outros (descrever) |        | <b>Pluviômetro</b> de referência (mais próximo da ocorrência)                  |
| <b>Registros Pluviométricos</b> em relação ao horário da ocorrência   |        | <b>Responsável</b> pelo Boletim de Ocorrência                                  |
| mm/h  | mm/24h | mm/96h   |



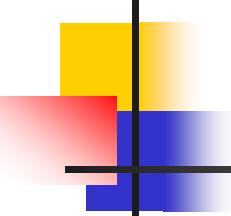
# Comentários

- A intensidade pluviométrica horária (mm/h) e a pluviometria acumulada em 24 horas (mm/24h) apresentaram as melhores correlações em relação à deflagração de escorregamentos.
- A pluviometria acumulada em períodos maiores do que 24 horas mostraram influência pouco significativa.
- Tal se deve às elevadas declividades das encostas cortados pela BR-116/RJ, que não permitem grandes desenvolvimentos de solo e ao alto grau de fraturamento do maciço rochoso.
- Tal contribui para o aumento da velocidade das percolações superficiais e subsuperficiais, facilitando a deflagração de movimentos rápidos a muito rápidos.



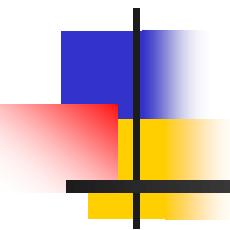
# Comentários (continuação)

- Preconiza-se a calibração anual dos valores da pluviometria crítica (capaz de deflagrar escorregamentos).
- Os valores ora apresentados foram definidos com base em um volume de dados relativamente pequeno e com alguma imprecisão, tanto na determinação dos horários das ocorrências, quanto na obtenção dos próprios registros pluviométricos.



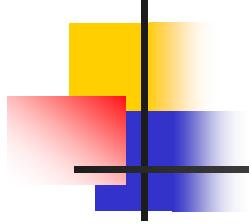
# Comentários finais

- A monitoração permitiu um melhor entendimento dos mecanismos envolvidos na instabilização de encostas típicas da região.
- O cruzamento de informações sobre chuvas e suas consequências está fornecendo bases para estabelecer medidas corretivas e indicadores de alerta.
- Tem-se por objetivo último a melhoria da segurança dos usuários da rodovia.



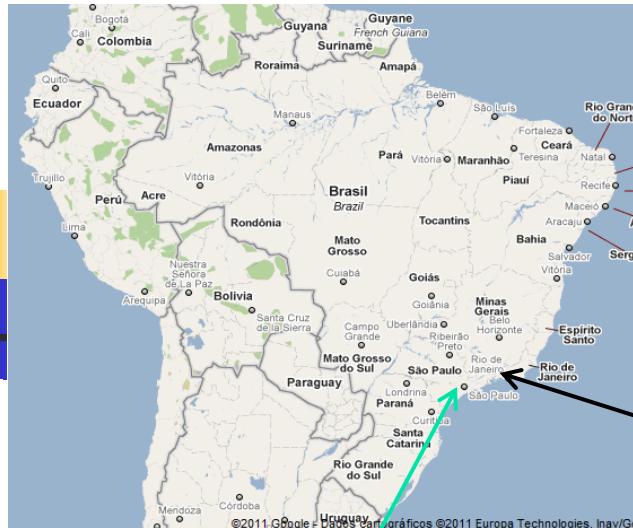
# *Rodovia BR 116/RJ*

## Áreas afetadas pelas chuvas de Janeiro 2011

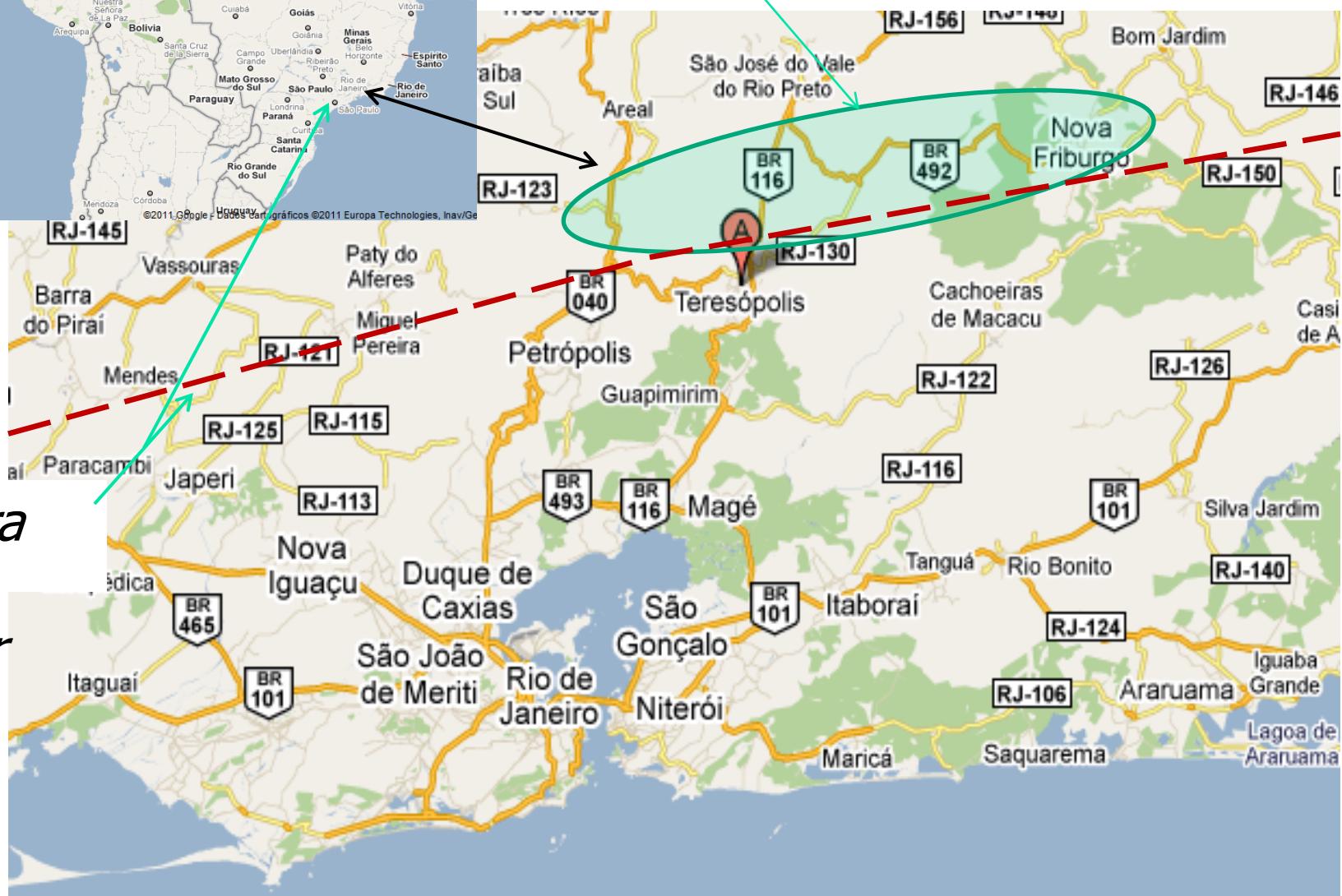


Visão global da região atingida pelas chuvas  
em Janeiro de 2011 na Serra Fluminense

*Serra  
do  
Mar*



região  
atingida

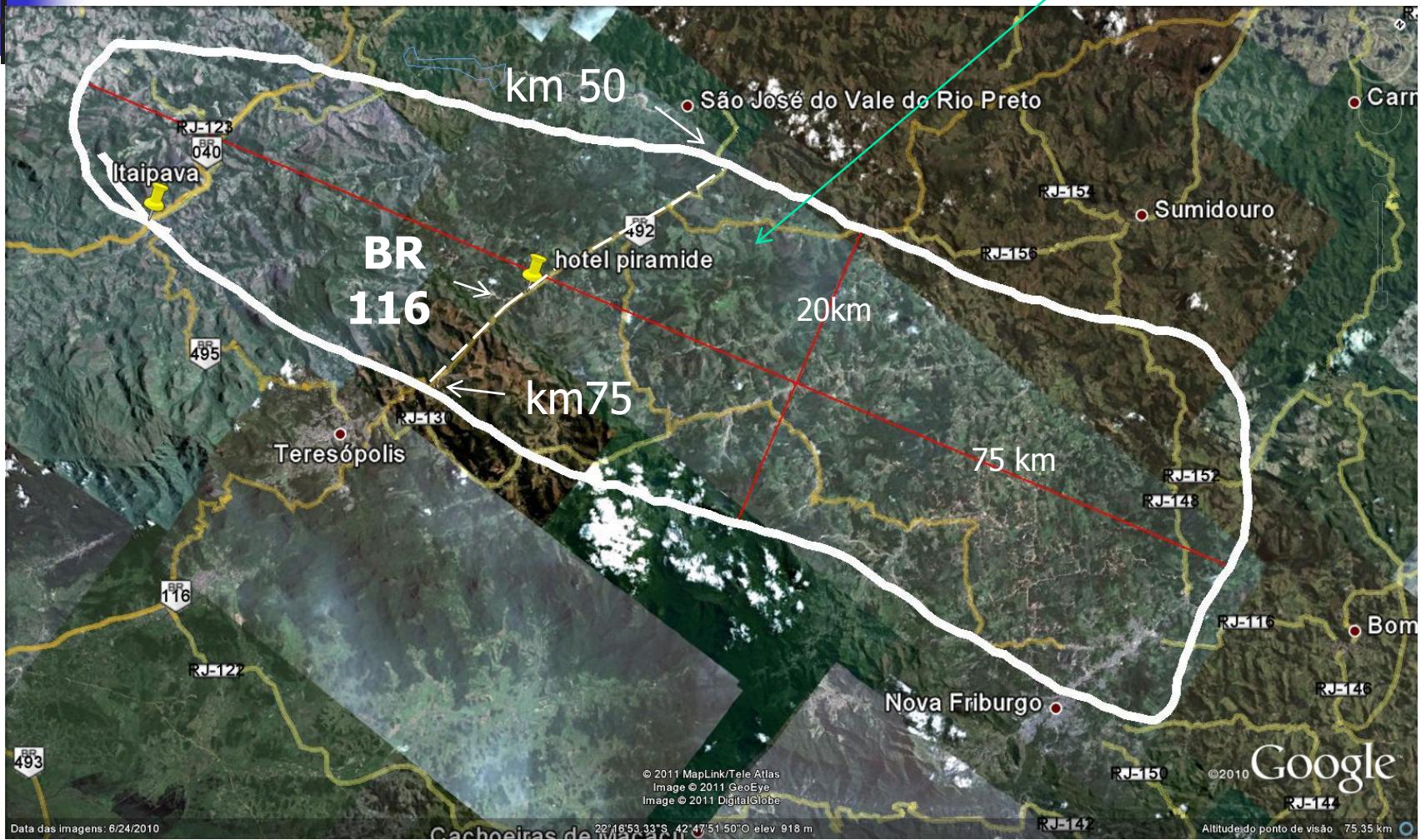


# *Serra dos Órgãos*

Altitude: 1200m – 2260m



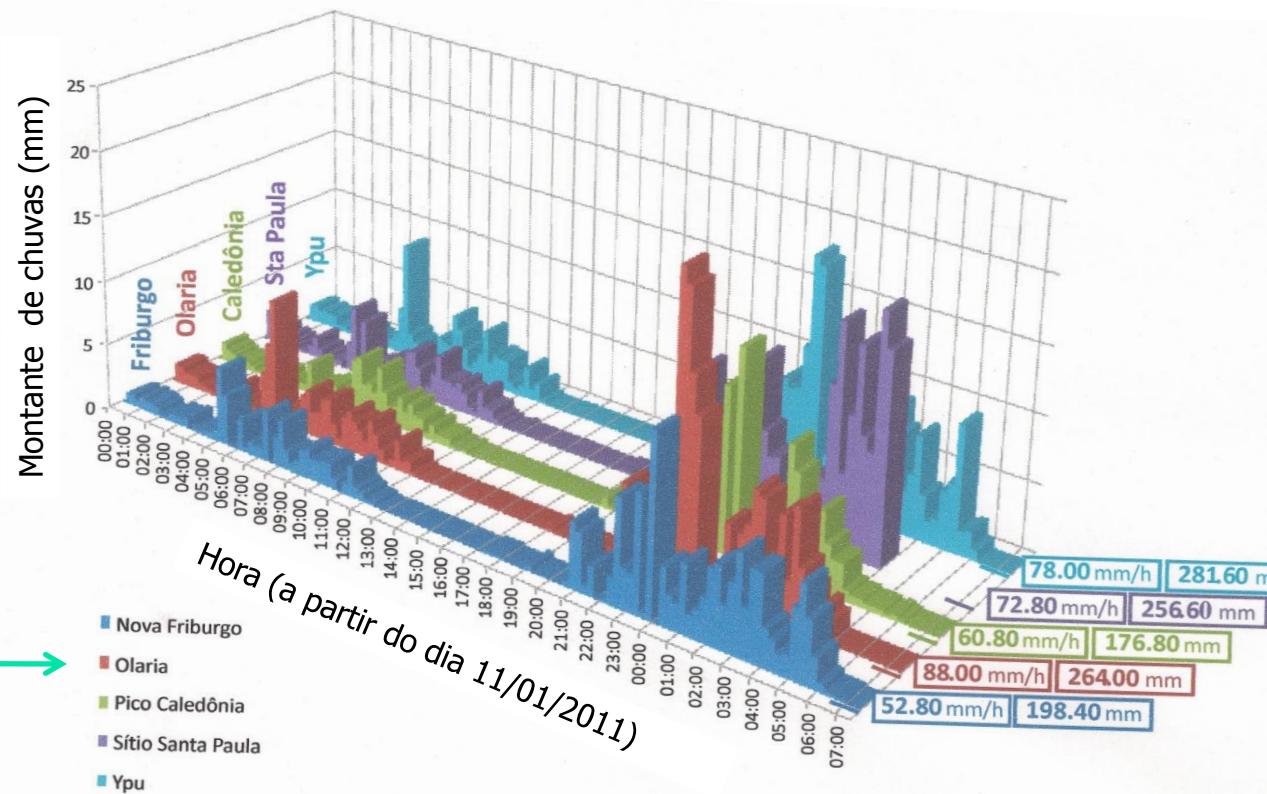
região  
atingida



# Detalhe região atingida (*Nova Friburgo*)



# Montante de chuvas medidas em diferentes locais



Maior volume  
de chuvas

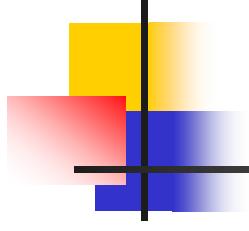


(Bairros de  
Nova Friburgo)

*Obs:* 108 mm/h foram medidos na BR-116/RJ no km 55 por um pluviógrafo móvel em 11/01/2011 às 24:00



# Pontos afetados na *BR-116/RJ* (93 pontos afetados)



# Exemplos de ocorrências

# Km 64 – Visão da área



# Km 64 – Trecho 8 (Jusante)



- Erosões promovidas pela força das águas do rio Paquequer (fator mais importante de instabilização nos taludes à jusante).



Grato

me@coc.ufrj.br