

Autopista Litoral Sul

arteris

**Riscos geológico-geotécnicos em taludes
rodoviários: desenvolvimento de uma
metodologia de mapeamento e gerenciamento
integrado de informações para a BR-376, trecho
da Serra do Mar (PR-SC)**

Alessander C. Morales Kormann

21/08/2013

Introdução

- Histórico de deslizamentos provocados por precipitações intensas → prejuízos ao longo de todo território brasileiro → perdas humanas e materiais
- Investimentos na esfera pública e privada
- Áreas mais afetadas: regiões com encostas naturais da Serra do Mar → dinâmica fortemente influenciada por agentes ambientais (e.g. precipitação pluviométrica)



- Estudos relacionados à segurança de taludes em áreas costeiras brasileiras têm sido realizados → ideia geral dos tipos de movimentos de massa e seu comportamento
- Necessário melhorar a compreensão dos mecanismos geológico-geotécnicos e plúvio-piezométricos que podem deflagrar acidentes em encostas litorâneas

Trecho sob Concessão da Autopista Litoral Sul

- **Início da Concessão: fev/2008**
- **Novembro de 2008**
 - 132 deslizamentos ao longo do trecho Curitiba-Florianópolis
- **Março de 2011**
 - 33 deslizamentos concentrados principalmente entre o km 657 ao km 672 (~15 km) da BR-376/PR
- **2009, 2010, 2012 e 2013: ocorrência de deslizamentos em menor quantidade**
- **Em torno de 270 deslizamentos em 5 anos de concessão → Diversas obras vêm sendo executadas**

Localização e Descrição da Área de Estudo

- BR-376/PR - Trecho sob concessão da Autopista Litoral Sul → início em São José dos Pinhais/PR e término na divisa com o estado de Santa Catarina → 69km de extensão



Objetivos a Alcançar

- Desenvolvimento de uma **metodologia para mapeamento geológico-geotécnico** baseada em cartografia de índices de segurança, tendo-se como plataforma de experimentação e análise o trecho da BR-376 situado na Serra do Mar, entre Curitiba e Garuva
- Análise crítica das abordagens correntes de mapeamento de riscos de susceptibilidade a escorregamentos e o seu potencial de incorporação à prática da gestão rodoviária
- Maior entendimento da **dinâmica pluviométrica na Serra do Mar** e sua interferência no nível de segurança das encostas naturais e taludes rodoviários através da implementação de uma **rede de pluviógrafos automatizados**

Objetivos a Alcançar

- Desenvolvimento de um **Sistema de Informações Geográficas** → aperfeiçoamento da utilização de ferramentas de gerenciamento de segurança geológico-geotécnica com vistas à tomada de decisão
- Obtenção de mais informações referentes a **parâmetros de resistência dos solos** tipicamente encontrados na Serra do Mar, tais como sistemas talus-colúvio e solos residuais

Exemplos de Ações Desenvolvidas

- Km 669+920 Sul



Exemplos de Ações Desenvolvidas

- Km 669+790 Sul



Riscos geológico-geotécnicos em taludes rodoviários: desenvolvimento de uma metodologia de mapeamento e gerenciamento integrado de informações para a BR-376, trecho da Serra do Mar (PR-SC)

Exemplos de Ações Desenvolvidas

- Km 37+800 Norte
 - Retaludamento, revegetação e fibroretentores



Exemplos de Ações Desenvolvidas

- Km 48+300 Norte
 - Solo Grampeado



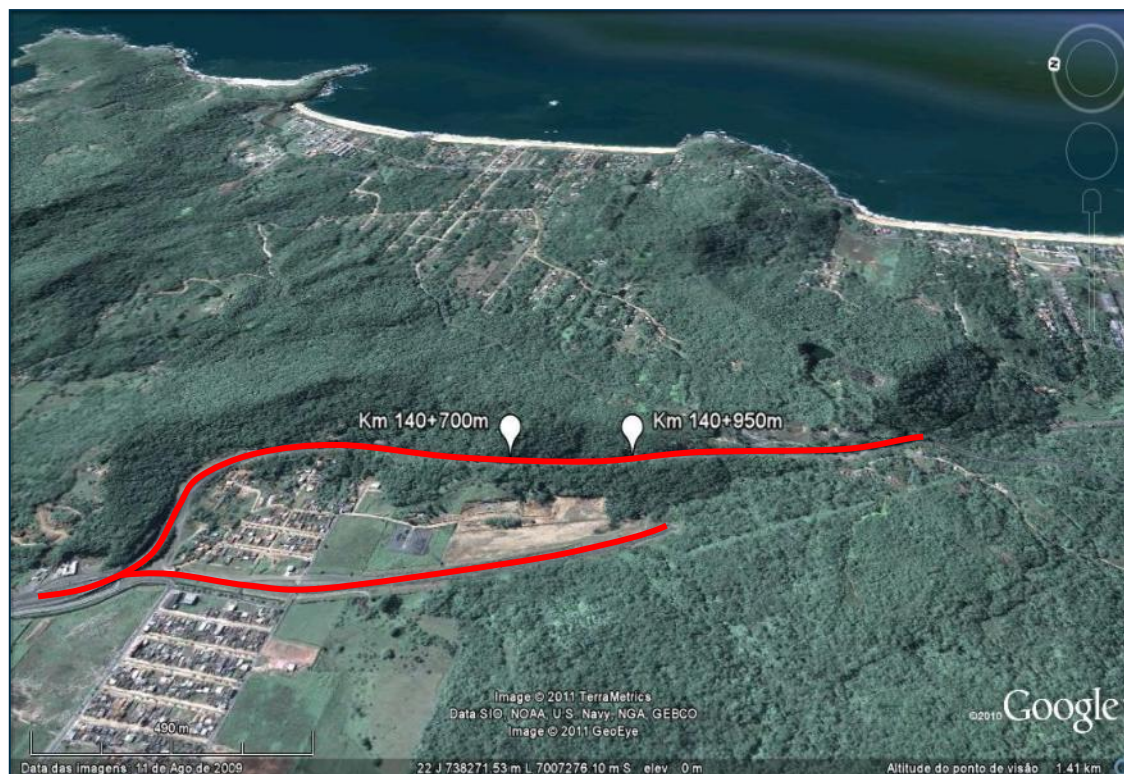
Exemplos de Ações Desenvolvidas

- Km 667+900 Norte
 - Retaludamento



Morro do Boi – BR-101 /SC- Sul

BR-101/SC – Sul: Morro do Boi: km 140+700 m e 140+950 m;



Morro do Boi – BR-101 /SC- Sul



km 140+700m

km 140+950m



MDT










(Modelo Digital do Terreno)

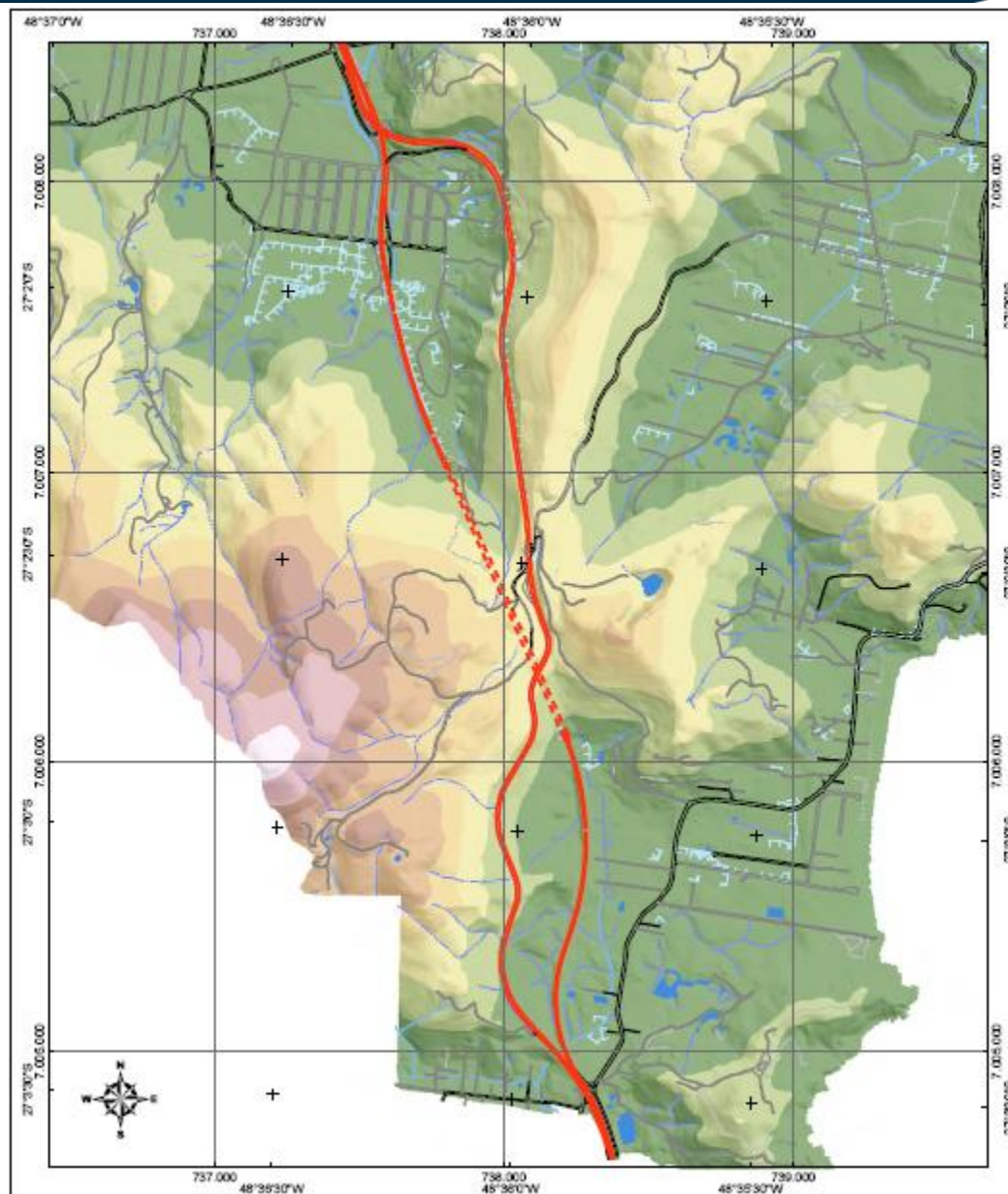
ALTIMETRIA

	Abaixo de 50m		Entre 200,01 e 250m
	Entre 50,01 e 100m		Entre 250,01 e 300m
	Entre 100,01 e 150m		Entre 300,01 e 350m
	Entre 150,01 e 200m		Entre 350,01 e 400m

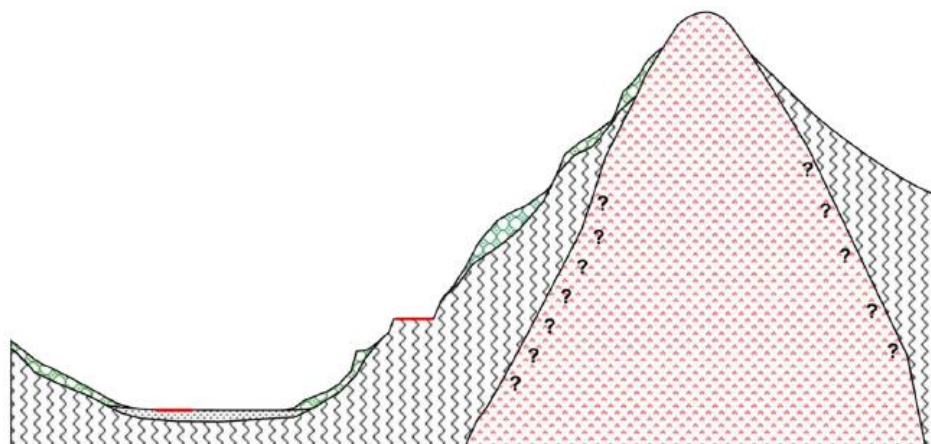
FONTE: Base cartográfica 1:2.000 Prefeitura Municipal Camboriú

CONVENÇÕES

	Rio Perene		Rodovia
	Rio Intermitente		Túnel/Trinch/Viaduto
	Canais/Valas/Drenos		Caminhos/Trilhas
	Corpos d' Água		Vias Pavimentadas
			Vias Não Pavimentadas



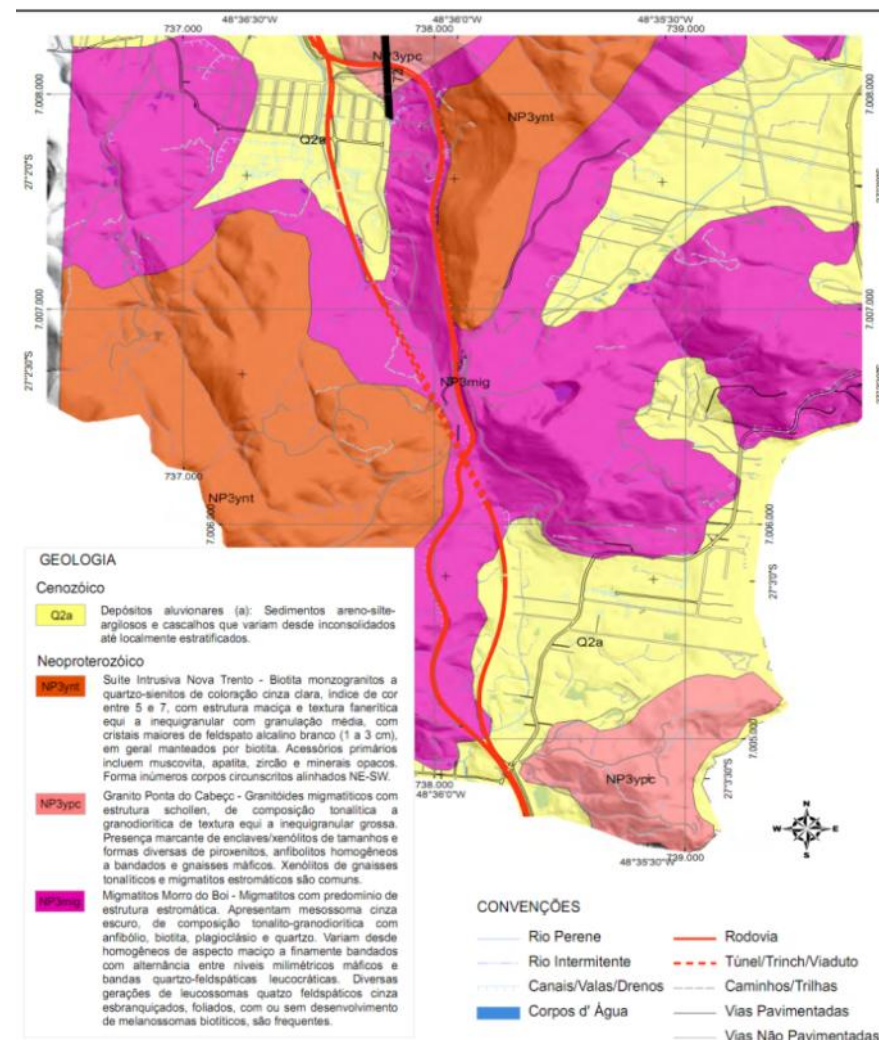
Morro do Boi - Contexto Geológico



Legenda



— Br -101 — contatos inferidos



FONTE: Adaptado da folha Brusque, elaborado pelo projeto PRONAGEO, CPRM

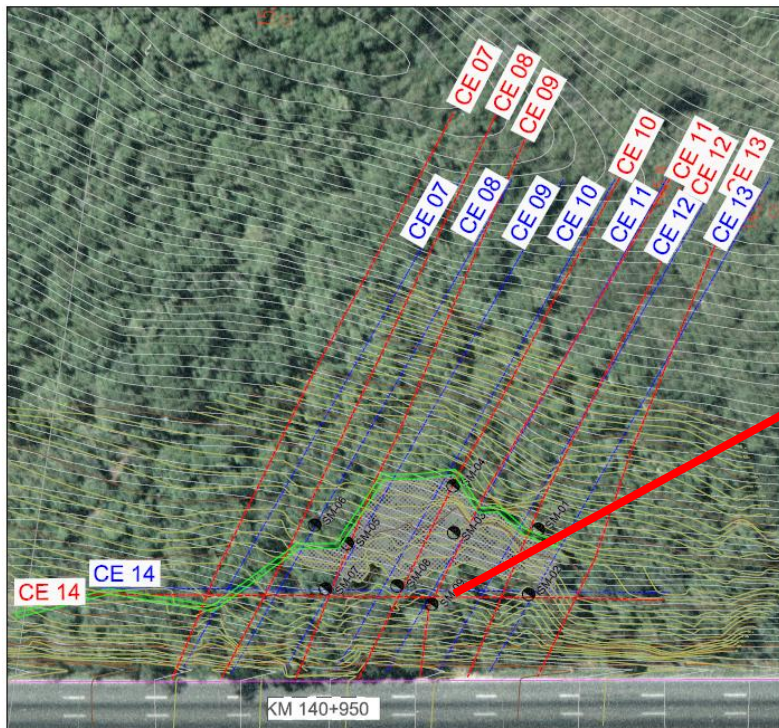
Morro do Boi - Aspectos Geológicos

- Quatro sistemas de fraturas principais:
 - Sistema NE-SW direcionado para NW-SE;
 - Sistema NW-SE direcionado para NW;
 - Sistema NW-SW direcionado para NE
 - Fraturas de alívio de pressão ou deslocamento
- Fraturas verticais ou sub-verticais**

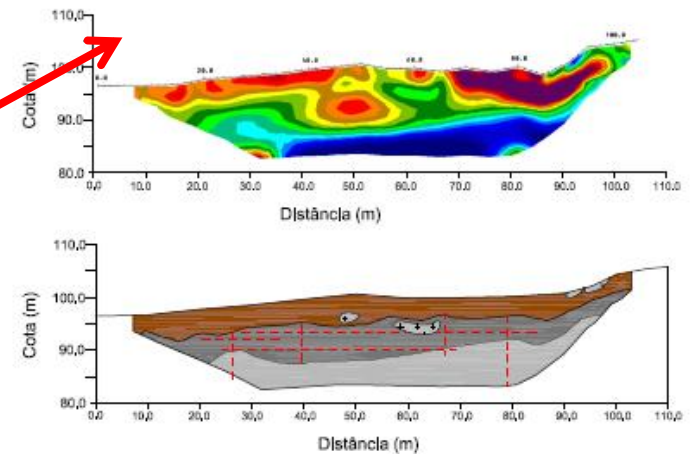


Morro do Boi – Ensaios Geofísicos

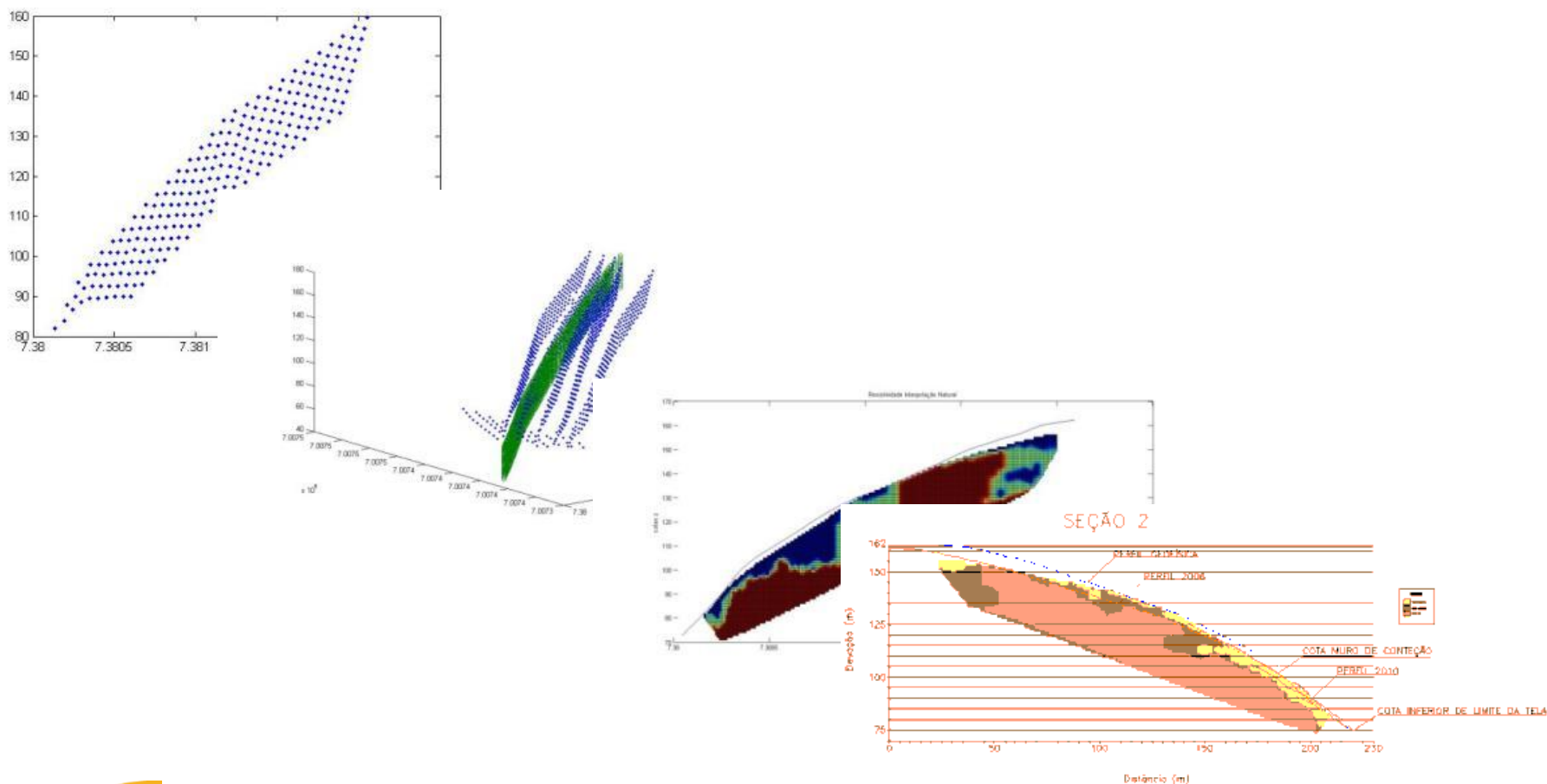
- Km 140+700 m



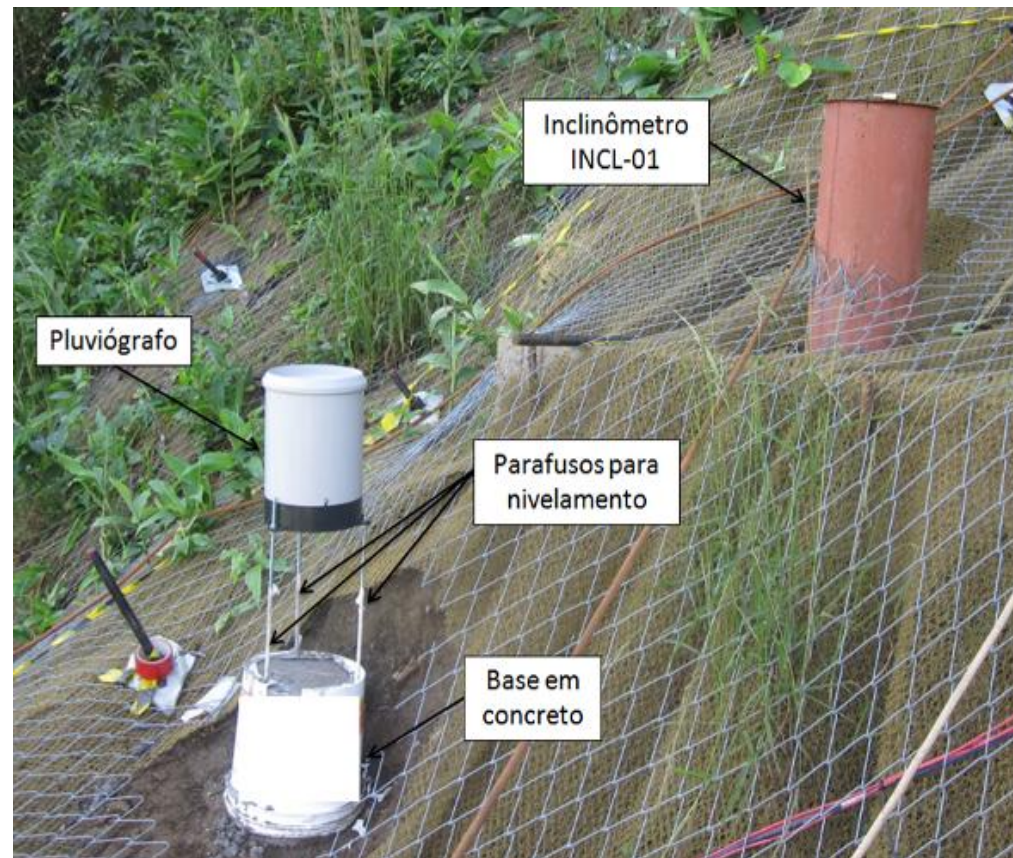
CE 14



Morro do Boi – Ensaios Geofísicos

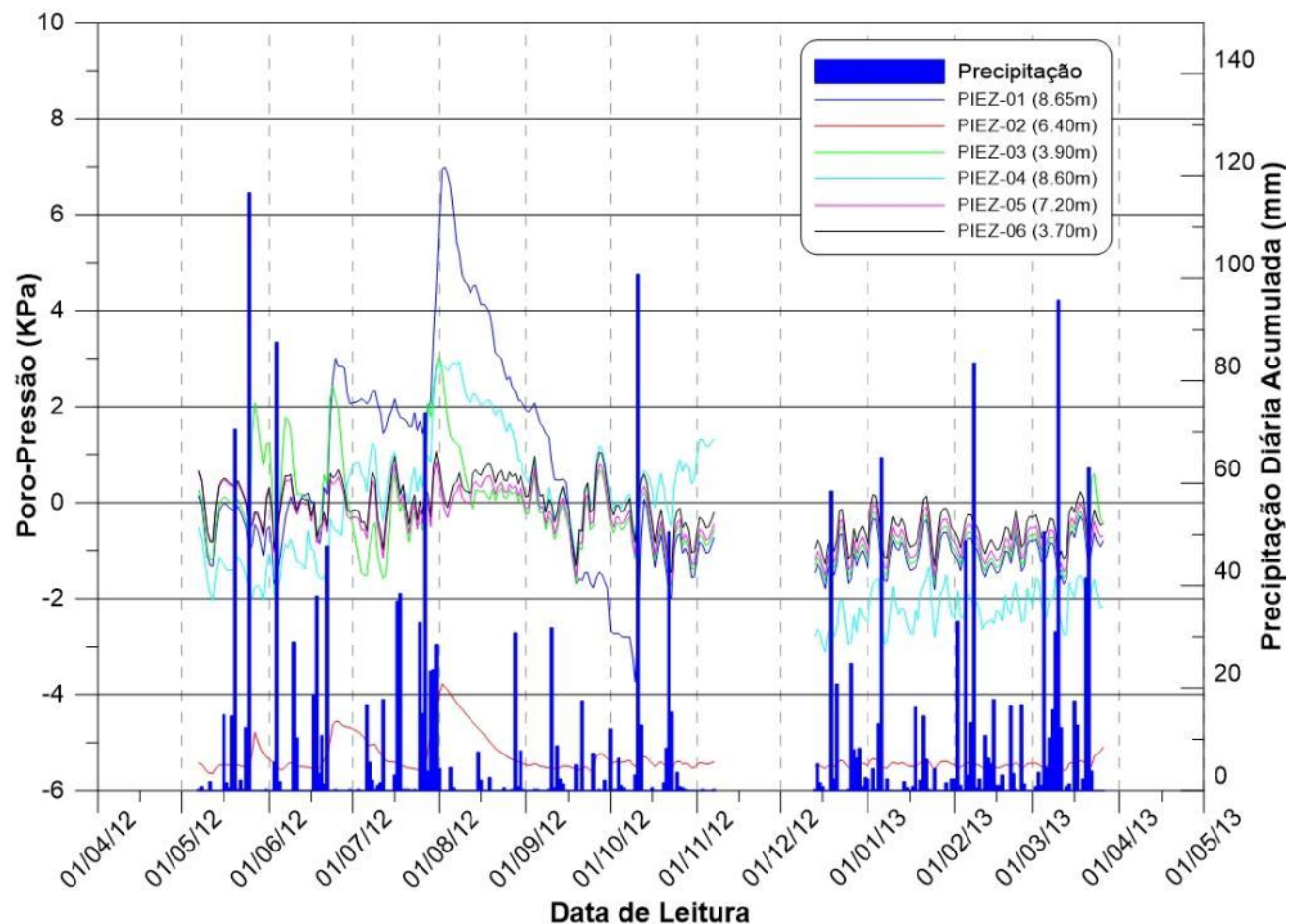


Morro do Boi – Plano de Instrumentação



Riscos geológico-geotécnicos em taludes rodoviários: desenvolvimento de uma metodologia de mapeamento e gerenciamento integrado de informações para a BR-376, trecho da Serra do Mar (PR-SC)

Plano de Instrumentação - Piezometria



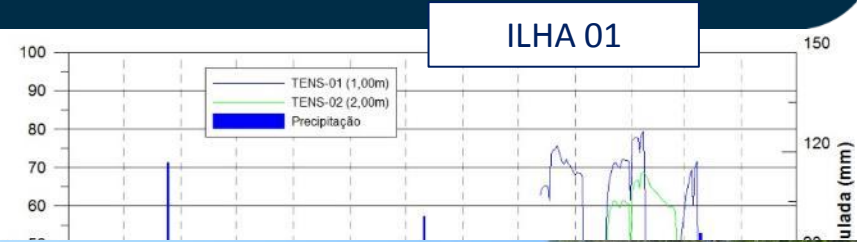
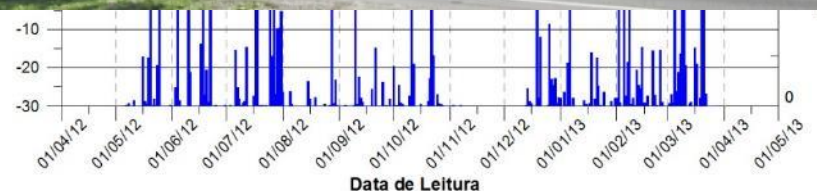
3 Estudos Prévios

Plano de Instrumentação - Sucção



Autopista Litoral Sul

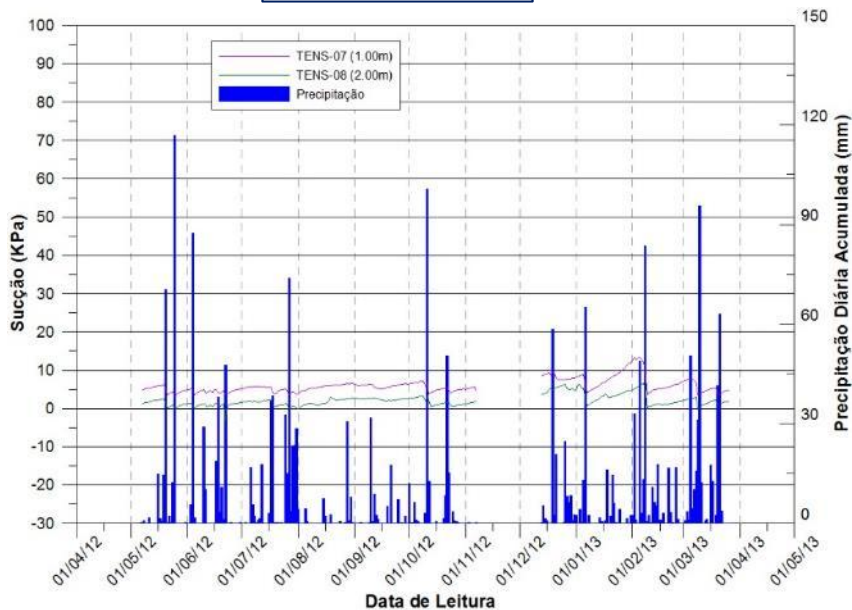
ILHA 02



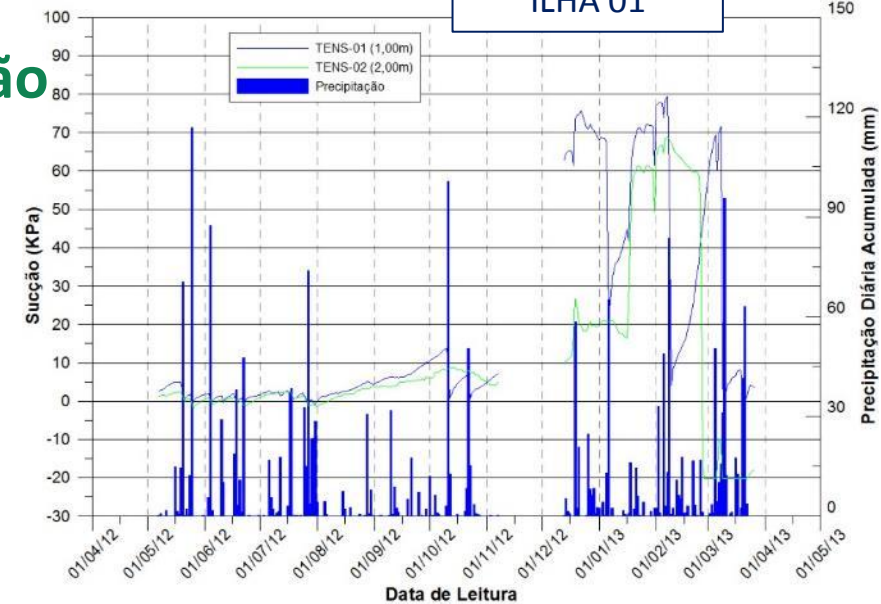
ILHA 01

Plano de Instrumentação - Sucção

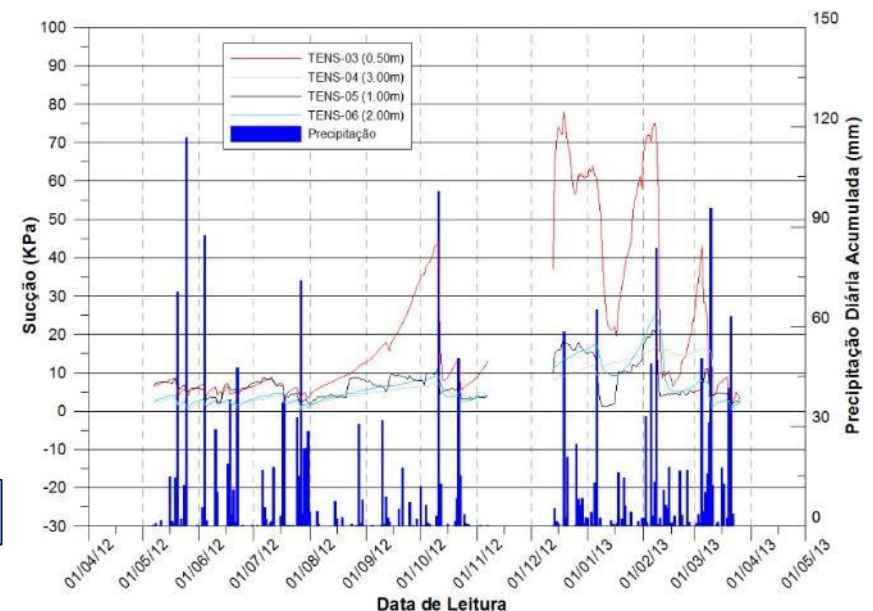
ILHA 03



ILHA 01



ILHA 02



Plano de Instrumentação – Análise de Séries Temporais

- Correlações diretas
- Correlações acumuladas/atrasadas

$$\hat{\rho}(X, Y) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO LINEAR

Instrumento	TENS-01 (1.00m)	TENS-02 (2.00m)	TENS-03 (0.50m)	TENS-04 (3.00m)	TENS-05 (1.00m)	TENS-06 (2.00m)	TENS-07 (1.00m)	TENS-08 (2.00m)
TENS-01	1.000	0.829	0.897	0.903	0.760	0.905	0.837	0.835
TENS-02	0.829	1.000	0.686	0.880	0.552	0.778	0.809	0.611
TENS-03	0.897	0.686	1.000	0.841	0.835	0.951	0.825	0.855
TENS-04	0.903	0.880	0.841	1.000	0.622	0.929	0.826	0.785
TENS-05	0.760	0.552	0.835	0.622	1.000	0.787	0.795	0.848
TENS-06	0.905	0.778	0.951	0.929	0.787	1.000	0.864	0.878
TENS-07	0.837	0.809	0.825	0.826	0.795	0.864	1.000	0.859
TENS-08	0.835	0.611	0.855	0.785	0.848	0.878	0.859	1.000

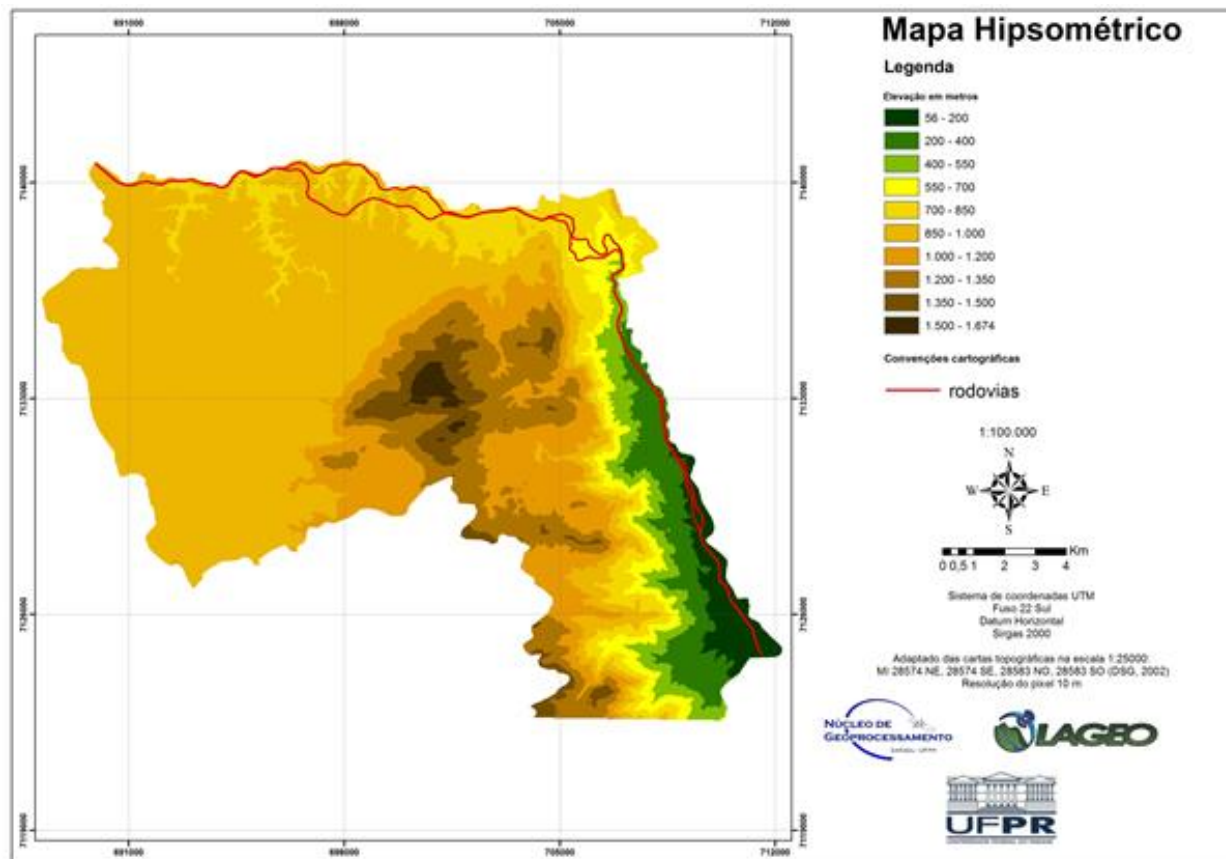
Etapas em Andamento: Mapeamento Geotécnico

- Diversas metodologias de avaliação das condições de segurança para gestão de riscos geológico-geotécnicos vem sendo desenvolvidas → redução dos impactos negativos nos âmbitos ambientais, sociais e econômicos e aumento do conforto dos usuários;
- Principais critérios utilizados:
 - Análise das bacias de drenagem principais e secundárias, declividades, parâmetros de resistência dos terrenos (COLLOTA, 2003);
 - Sistemas de Informações Geográficas – SIG (ABDALLAH et al., 2000; SAKELLARIOU&FERENTINOU, 2001)
 - Deslizamentos pretéritos com integração de dados a partir de SIG (CHAU, 2004; FERNANDES et al., 2001); SUJATHA et al.,2011; WANG et al.,2013; KAWABATA, 2009)

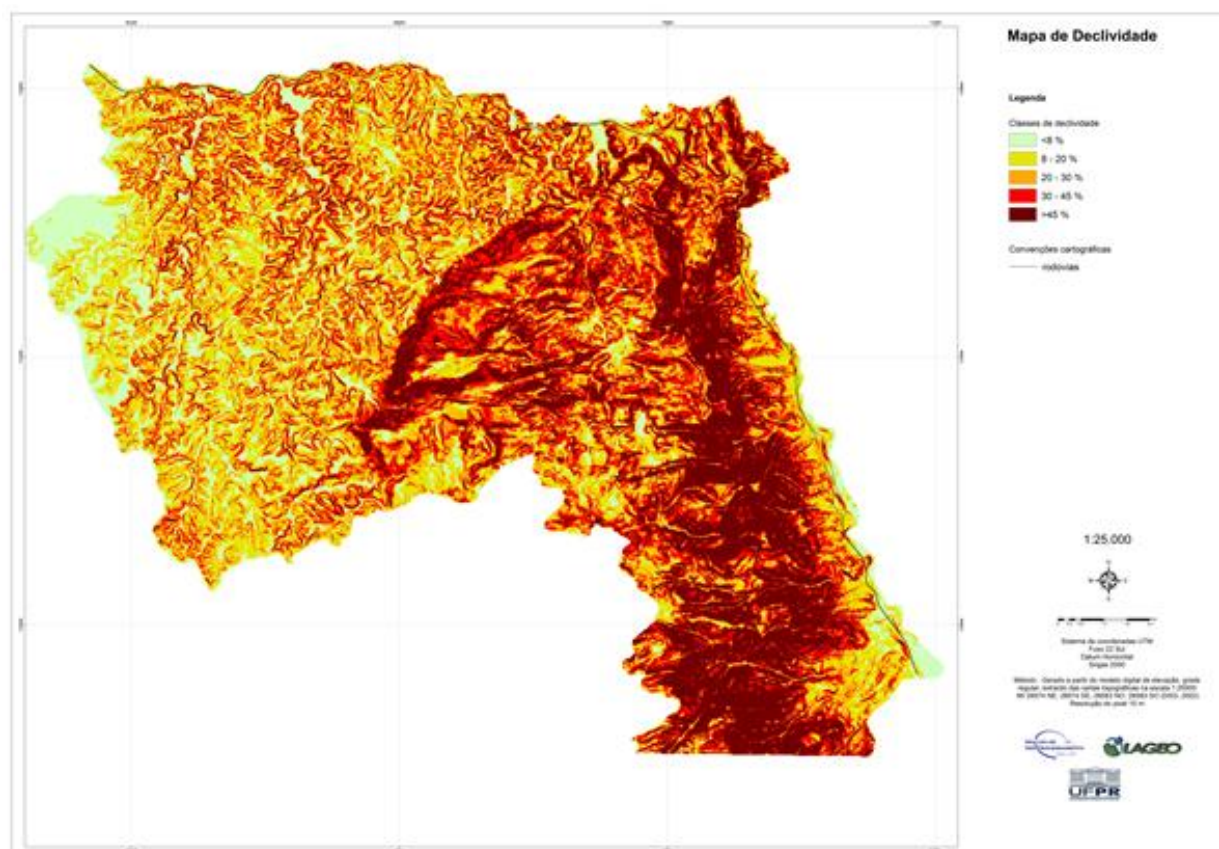
Etapas em Andamento: Mapeamento Geotécnico

- Independentemente do método de análise, considerar:
 - Agentes deflagradores – físicos predisponentes (formação geológica) ou sócio comportamentais (intervenções antrópicas)
 - Entendimento de fatores multidisciplinares: geológicos, geotécnicos, hidrológicos e ambientais

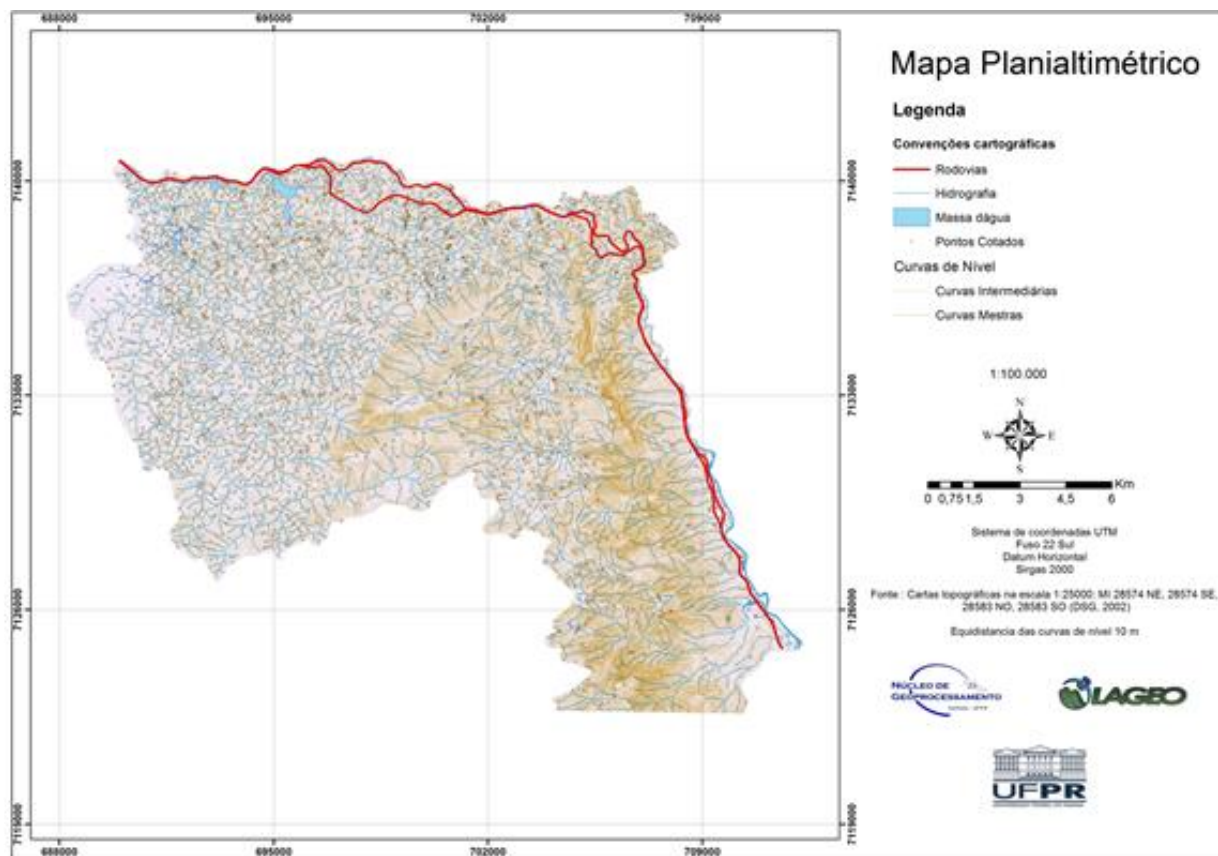
Etapas em Andamento: Criação de um Modelo Digital do Terreno e Mapas Temáticos



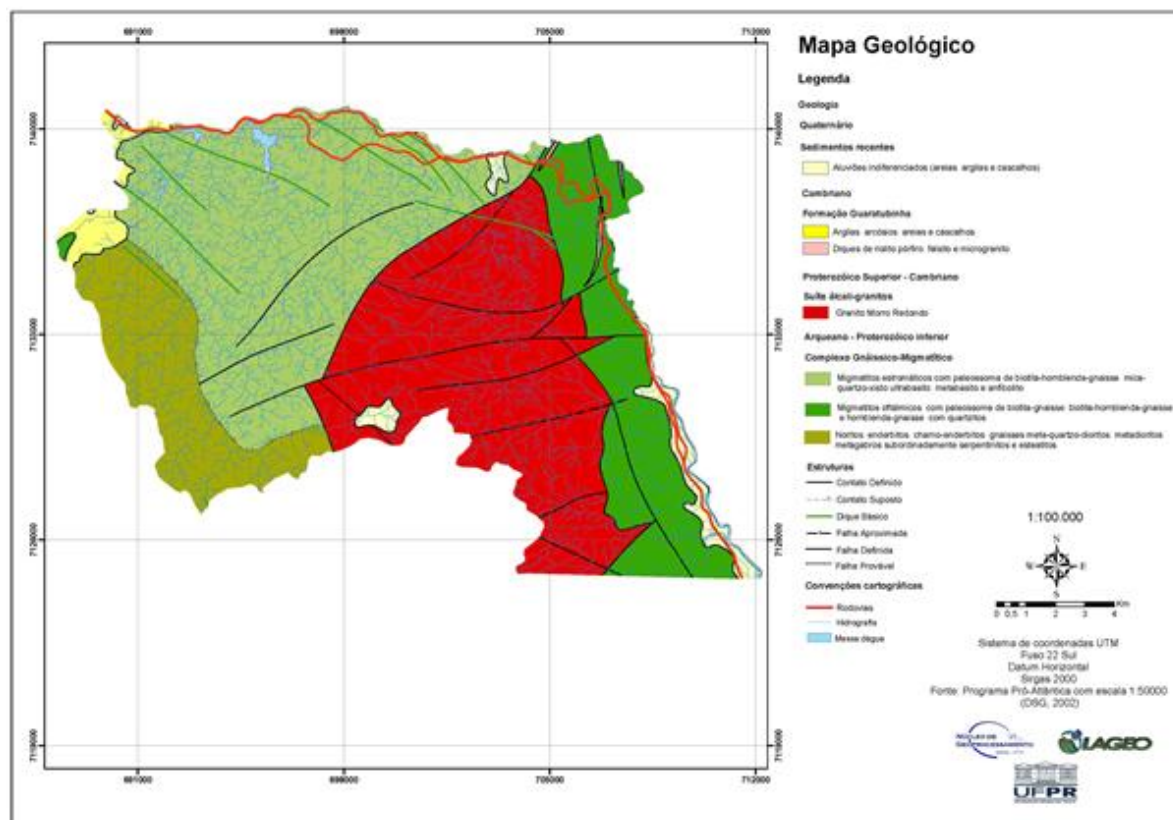
Etapas em Andamento: Criação de um Modelo Digital do Terreno e Mapas Temáticos



Etapas em Andamento: Criação de um Modelo Digital do Terreno e Mapas Temáticos

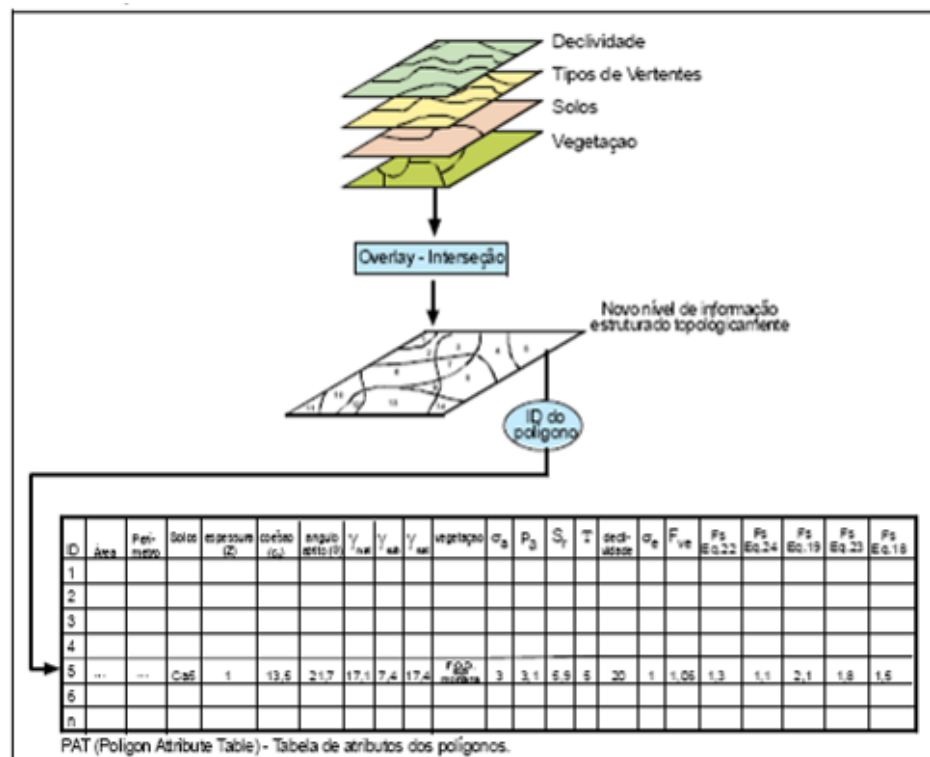


Etapas em Andamento: Criação de um Modelo Digital do Terreno e Mapas Temáticos

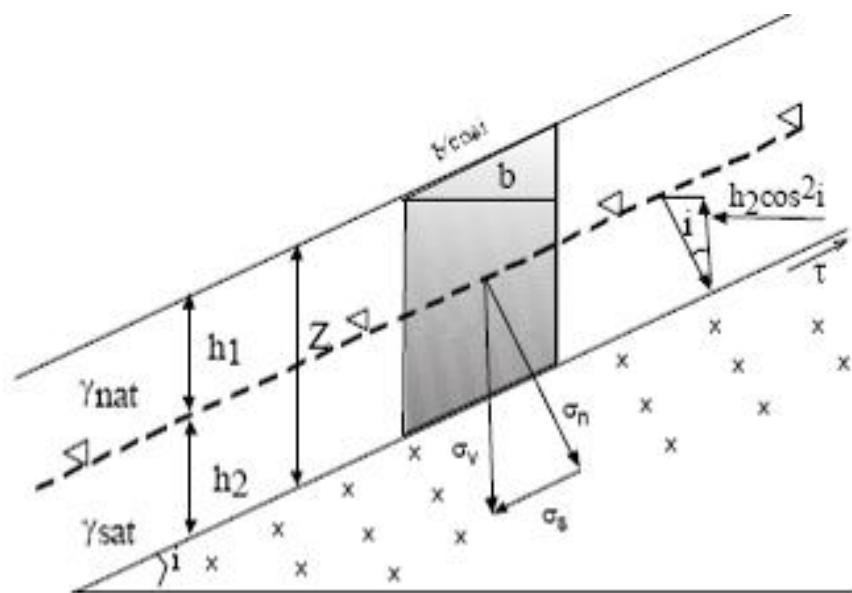


Etapas em Andamento: Criação de um Modelo Digital do Terreno e Mapas Temáticos

- Desenvolvimento passa pela elaboração de mapas temáticos → sobreposição de informações → subsídios para a análise da estabilidade de taludes no trecho da BR-376 entre Curitiba e Garuva:
 - Mapas hipsométrico
 - Mapa de declividade
 - Mapa planialtimétrico
 - Mapa geológico



Etapas em Andamento: Criação de um Modelo Digital do Terreno e Mapas Temáticos

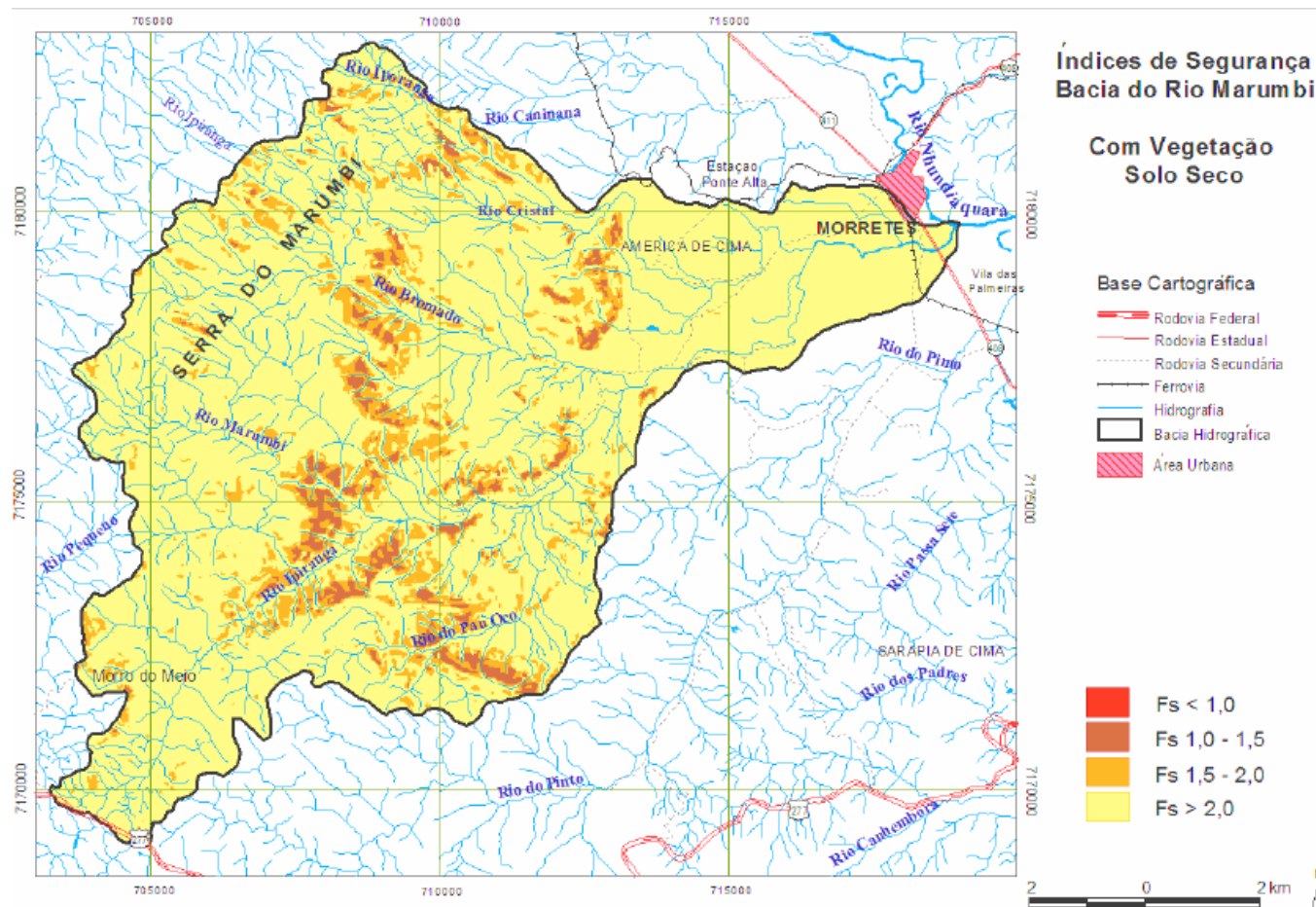


$$F_s = \frac{c + (h_1 \gamma_{nat} + h_2 \gamma_{sub}) \cos^2 i \tan \phi}{(h_1 \gamma_{nat} + h_2 \gamma_{sub} + h_2 \gamma_a) \sin i \cos i}$$

FONTE: FIORI & CARMIGNANI (2001).

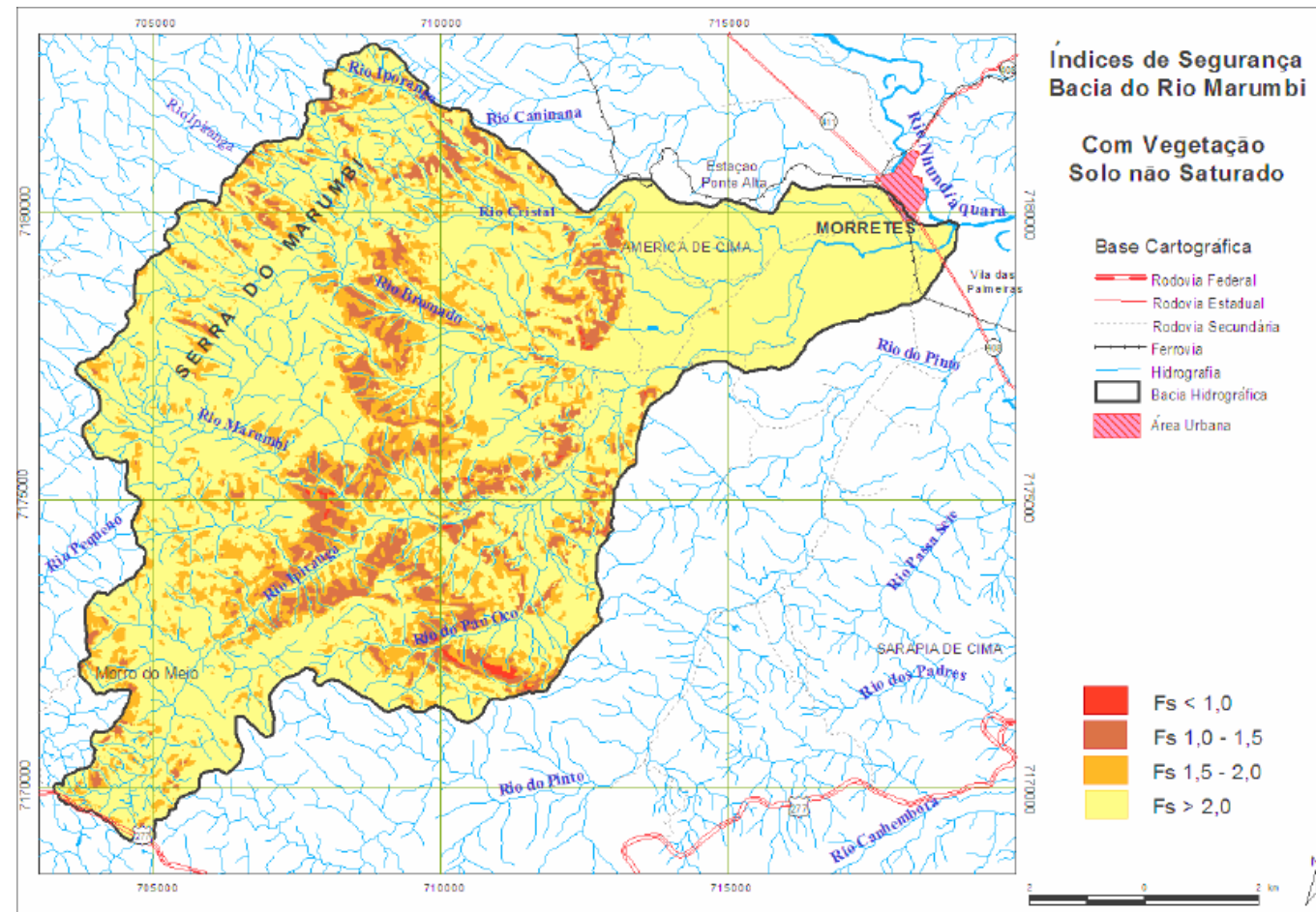
Etapas em Andamento: Criação de um Modelo Digital do Terreno e Mapas Temáticos

- Exemplo



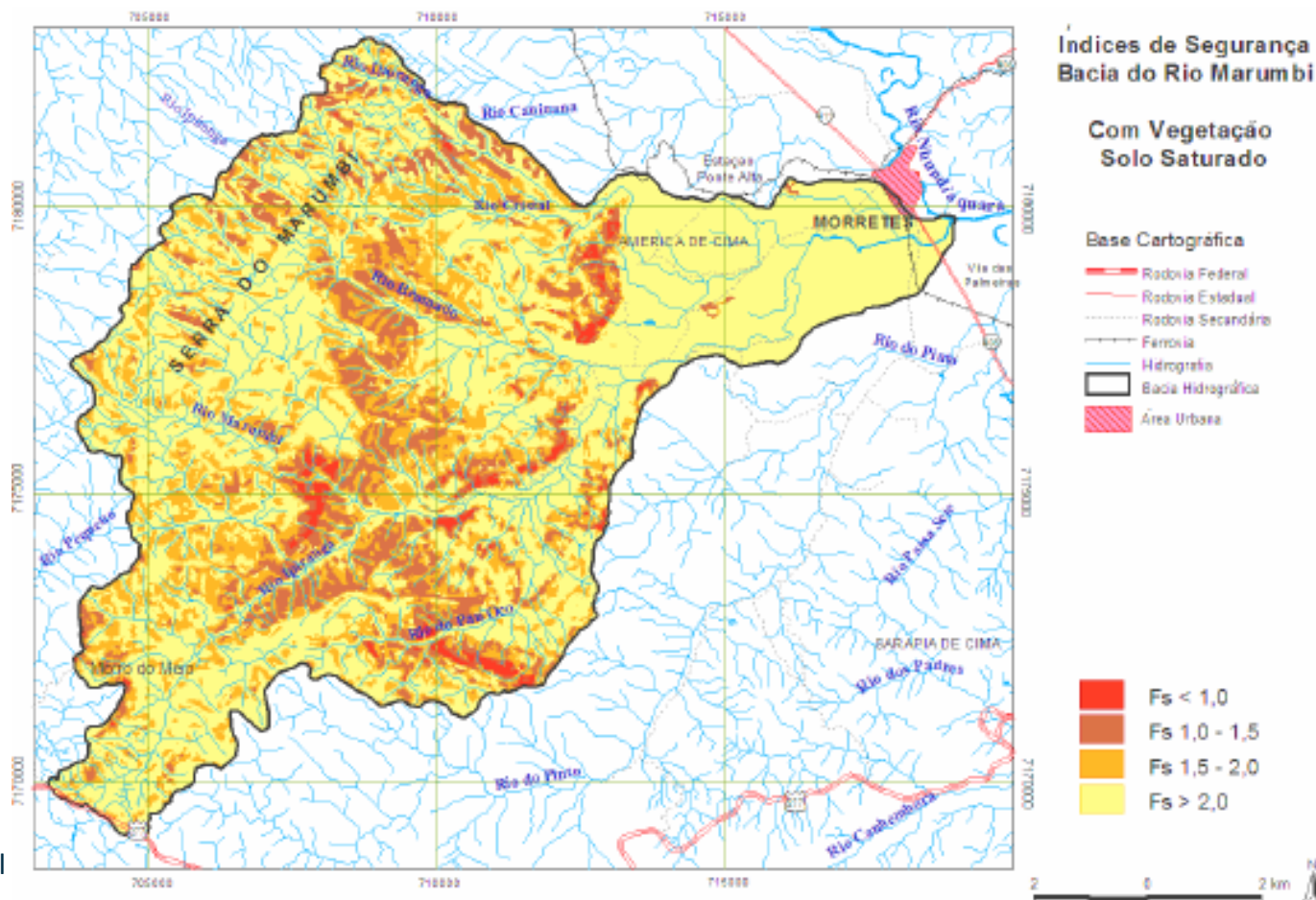
Etapas em Andamento: Criação de um Modelo Digital do Terreno e Mapas Temáticos

- Exemplo



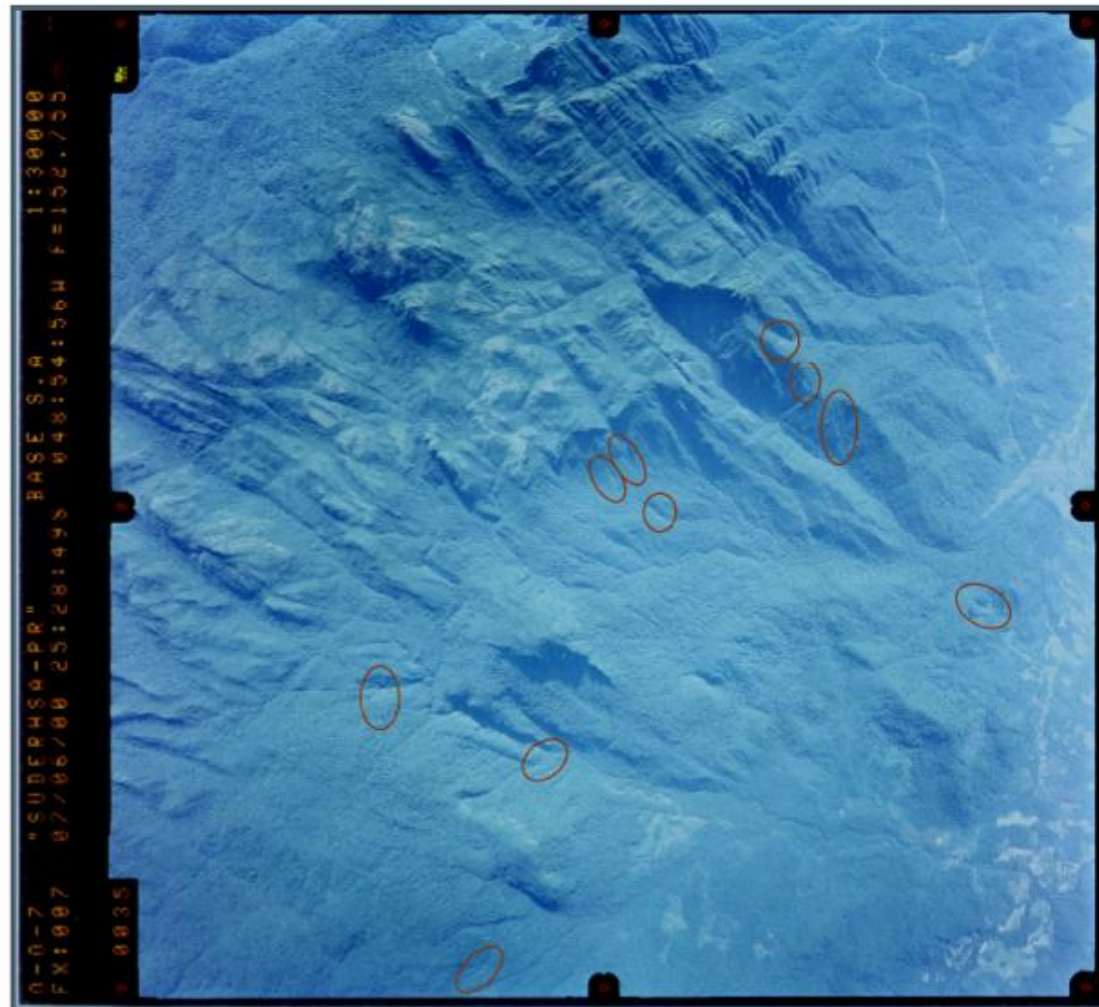
Etapas em Andamento: Criação de um Modelo Digital do Terreno e Mapas Temáticos

- Exemplo



Etapas em Andamento: Criação de um Modelo Digital do Terreno e Mapas Temáticos

- Exemplo

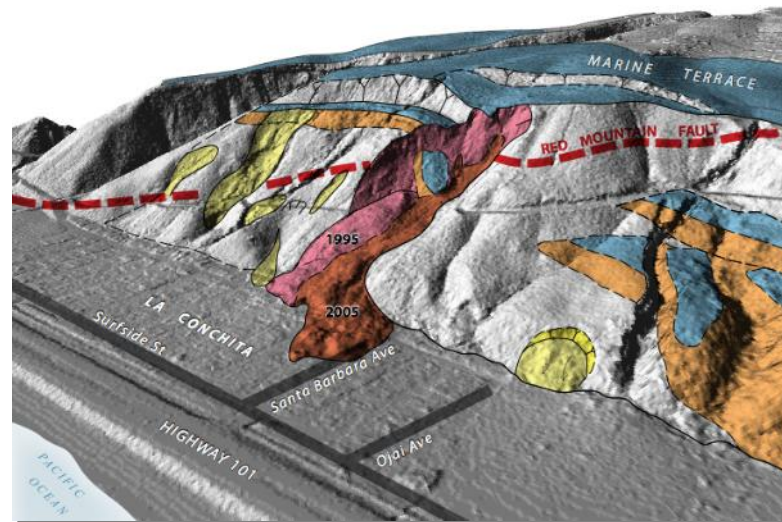
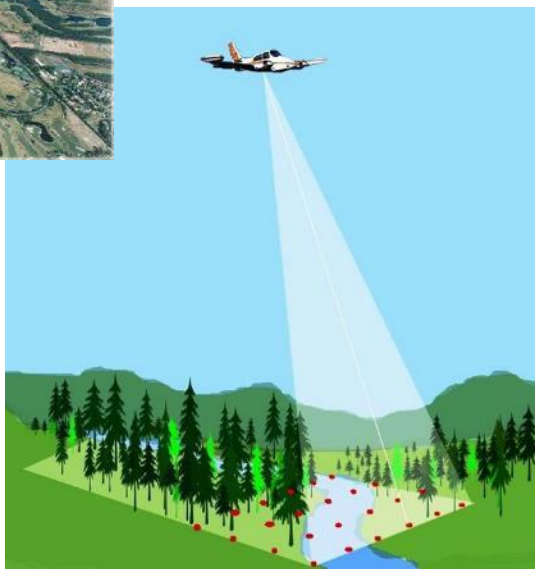


NOTA: ESCALA ORIGINAL 1:30.000 – FAIXA 007 – FOTO 0035 – ANO 2000.

FONTE: Kozciak (2005)

Etapas em Andamento: Mapeamento Geotécnico

- Perfilamento a *laser* com LiDAR



Etapas Futuras: Implantação de uma Rede de Pluviógrafos

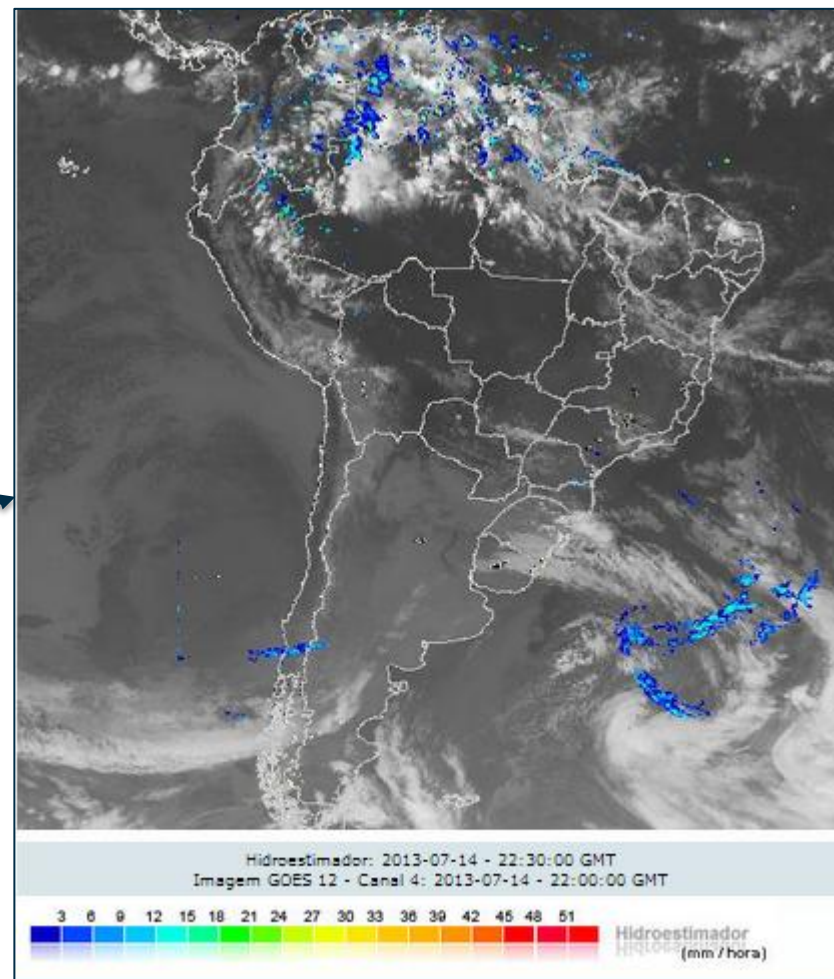
- Locados em posições de interesse → dados alimentarão os mapas de índice de segurança gerados
- Com base nos dados de pluviometria, no modelo digital de elevação obtido com o LiDAR e os parâmetros de resistência dos solos das diferentes regiões geológicas subsidiarão **novas avaliações de áreas de risco**



Etapas Futuras: Implantação de uma Rede de Pluviógrafos

- Técnicas alternativas para estimativa de pluviometria: baseadas em dados de satélites ou radar

Imagens do canal infravermelho do satélite GOES-12 sobre o Brasil no dia 14/05/2013



Riscos geológico-geotécnicos em taludes rodoviários: desenvolvimento de uma metodologia de mapeamento e gerenciamento integrado de informações para a BR-376, trecho da Serra do Mar (PR-SC)

Etapas Futuras: Implantação de uma Rede de Pluviógrafos

- Técnicas alternativas para estimativa de pluviometria: baseadas em dados de satélites ou radar

Imagem do Radar Meteorológico Morro da Igreja



Riscos geológico-geotécnicos em taludes rodoviários: desenvolvimento de uma metodologia de mapeamento e gerenciamento integrado de informações para a BR-376, trecho da Serra do Mar (PR-SC)

Conclusões Preliminares

- O principal fator deflagrador dos movimentos de massa na área de estudo é a pluviometria → análise mais detalhada no decorrer da pesquisa para um maior entendimento
- A chuva não atua isoladamente na ocorrência de escorregamentos → necessário considerar fatores como: propriedades dos solos envolvidos, geometria do talude e uso do solo
- Movimentações em cortes, aterros e encostas naturais, em todas as formações geológicas do trecho da BR-376 em estudo → até o momento, não foi possível verificar uma tendência de ocorrência em determinadas formações geológicas ou geometria específica

Conclusões Preliminares

- As imagens de satélite e de radar tem se mostrado eficientes para a observação da distribuição espacial da precipitação
- Dados quantitativos de precipitação → os erros na captação de informações pelo satélite e os inseridos nos métodos de estimativa de precipitação comprometem a confiabilidade
- Estudos anteriores evidenciam a necessidade de se correlacionar as informações com dados de pluviógrafos, a fim de se avaliar a consistência das estimativas

Conclusões Preliminares

- A integração de dados plani-altimétricos e geológico-geotécnicos em plataformas digitais permite criar novos níveis de informação
- Produtos da pesquisa → nortear ações da concessionária, identificando-se os trechos que demandam tratamento com vistas à prevenção ou mitigação de futuros deslizamentos
- Subsídio para a tomada de decisão → ações de cunho prático e operacional

5 Agradecimentos

