



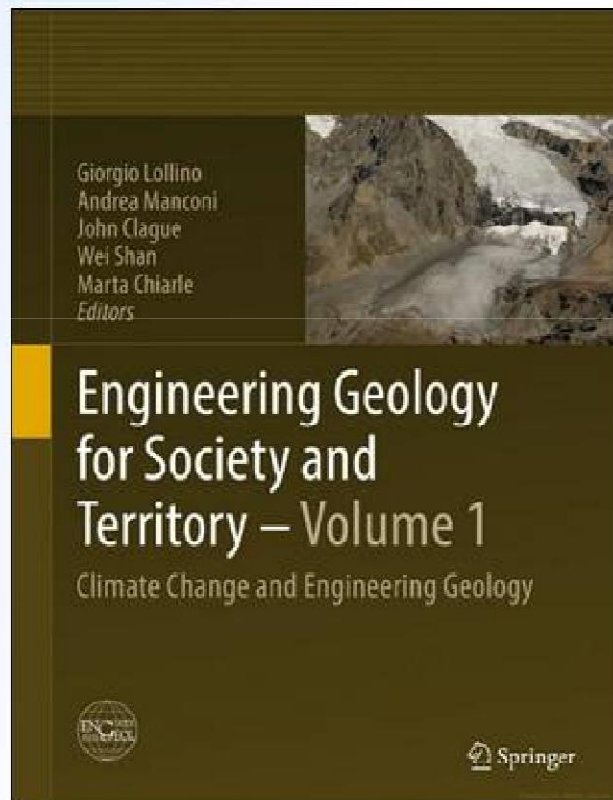
# ***Curso de Extensão Educacional Científica e Ambiental***

***Vulnerabilidade ao escorregamento de  
terras - Estudo de caso: Bacia do Rio Bengalas, 2011***

**07/10/2017**

***Dr. Luiz Tadeu da Silva***

# Tese de Doutorado com Artigo publicado em livro



The screenshot shows the SpringerLink website interface. At the top, there is a search bar and navigation links for 'Sign up / Log in', 'English', and 'Academic edition'. The Springer logo is on the right. Below the search bar, there are links for 'Home' and 'Contact Us'. A blue navigation bar contains 'Look Inside' and 'Get Access' buttons. The main content area displays the chapter title 'Susceptibility and Vulnerability to Landslides—Case Study: Basin of River Bengalas—City of Nova Friburgo—Brazil' by L. T. Silva, E. P. F. M. Sampaio, J. A. M. Corte-Real, D. A. Rodriguez, F. Carneuba Medeiros, B. E. Moraes, and D. G. M. Franca. The date is listed as 24 August 2014. There are two purchase options: 'Buy chapter' for \$29.95 / €24.95 / £19.95 and 'Buy eBook' for \$279.00 / €208.24 / £179.50. A 'Get Access' button is also present. The DOI is 10.1007/978-3-319-09300-0\_101. An abstract follows, discussing landslides in Nova Friburgo, Brazil, and the development of a model to evaluate susceptibility and vulnerability. On the right side, there is a 'Chapter Metrics' section showing 29 downloads, a 'Reference tools' section with 'Export citation' and 'Add to Papers list', and an 'Other actions' section with 'About this Book list' and 'Reprints and Permissions list'. A 'Share' section at the bottom right includes social media icons for Facebook, Twitter, and LinkedIn.

# Metodologias aprovadas para apresentação oral

**IAEG XII CONGRESS**  
**Torino, Italy**  
**September/2014**



**IAEG XII CONGRESS**

**XVI SELPER**  
**Medellín, Colombia**  
**Octubre/2014**



## **Revista Brasileira de Cartografia - Edição Especial de Desastres Naturais**

**sob as projeções de mudanças climáticas do ETA-HADGEM-ES RCP 4.5 (Res. 20 km)  
Período: 01/01/2016 a 30/12/2040**



REVISTA BRASILEIRA DE CARTOGRAFIA

CAPA SOBRE ACESSO CADASTRO PESQUISA ATUAL ANTERIORES NOTÍCIAS

Capa > v. 66, n. 9 (2016) > Site

### **A VULNERABILIDADE A ESCORREGAMENTOS DE TERRA DA BACIA DO RIO BENGALAS - NOVA FRIBURGO - BRASIL SOB AS PROJEÇÕES DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS DO ETA-HADGEM-ES RCP 4.5 / THE VULNERABILITY TO LANDSLIDES IN THE BASIN OF THE BENGALAS RIVER - NOVA FRIBURGO - BRAZIL REGARDING THE CLIMATE CHANGE PROJECTION OF THE ETA-HADGEM-ES RCP 4.5**

*Luiz Tadeu da Silva, Daniel Andrei Rodrigues, José Marcelo da Silva Brito, José Lázaro de Siqueira Junior, Liza Paula Figueira Ferreira Mergado de Sampaio, João Alexandre Medina Corra-Real, Pedro Do Monte Camarinho*

#### **RESUMO**

O documento final da Conferência Mundial para a Redução de Desastres ocorrida em Kobe - Japão, no ano de 2005, chama a atenção para a necessidade de desenvolver sistemas de indicadores de risco e vulnerabilidade a nível nacional e subnacional como forma de permitir aos tomadores de decisão um melhor diagnóstico das situações de risco e vulnerabilidade. Áreas urbanas em sua expansão avançam para áreas geologicamente instáveis e topograficamente inclinadas, como é o caso da Bacia do Rio Bengalas, localizada no Município de Nova Friburgo, Brasil. Em janeiro de 2011, com a ocorrência de fortes chuvas na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, foram registrados 183 escorregamentos de terra somente na Bacia do Rio Bengalas, causando perdas humanas, econômicas e ambientais. Sob o efeito das mudanças climáticas são esperadas mudanças na frequência e magnitude dos eventos de precipitação extrema que afetam a vulnerabilidade a desastres e podem se tornar preocupantes a condição de vida das populações que vivem principalmente em áreas de riscos a escorregamentos de terra. Neste contexto, este trabalho tem por objetivo estudar a vulnerabilidade a escorregamentos de terra da Bacia do Rio Bengalas para o período de 01/01/2016 a 30/12/2040, utilizando índices de vulnerabilidade a escorregamentos de terra que se mostraram eficazes na prevenção, monitoramento e previsão a estes tipos de desastres. Os índices indicam apenas a ocorrência de um evento de vulnerabilidade escorregamentos na Bacia, associado com a ocorrência de um evento de alta intensidade de precipitação. Esta resultado está de acordo com a diminuição das precipitações médias e extremas na região associadas com as projeções Eta-HadGEM-ES RCP 4.5 e relatadas na literatura científica.

#### **TEXTO COMPLETO:**

PDF

Fonte: <http://www.lsie.unb.br/rbc/index.php/rbc/article/view/1352>

## ***Objetivo***

**Desenvolver novas metodologias para cálculos de suscetibilidade e de vulnerabilidade a escorregamentos de terra, utilizando dados ambientais e de precipitação de chuvas.**

# ***Área de Estudo***

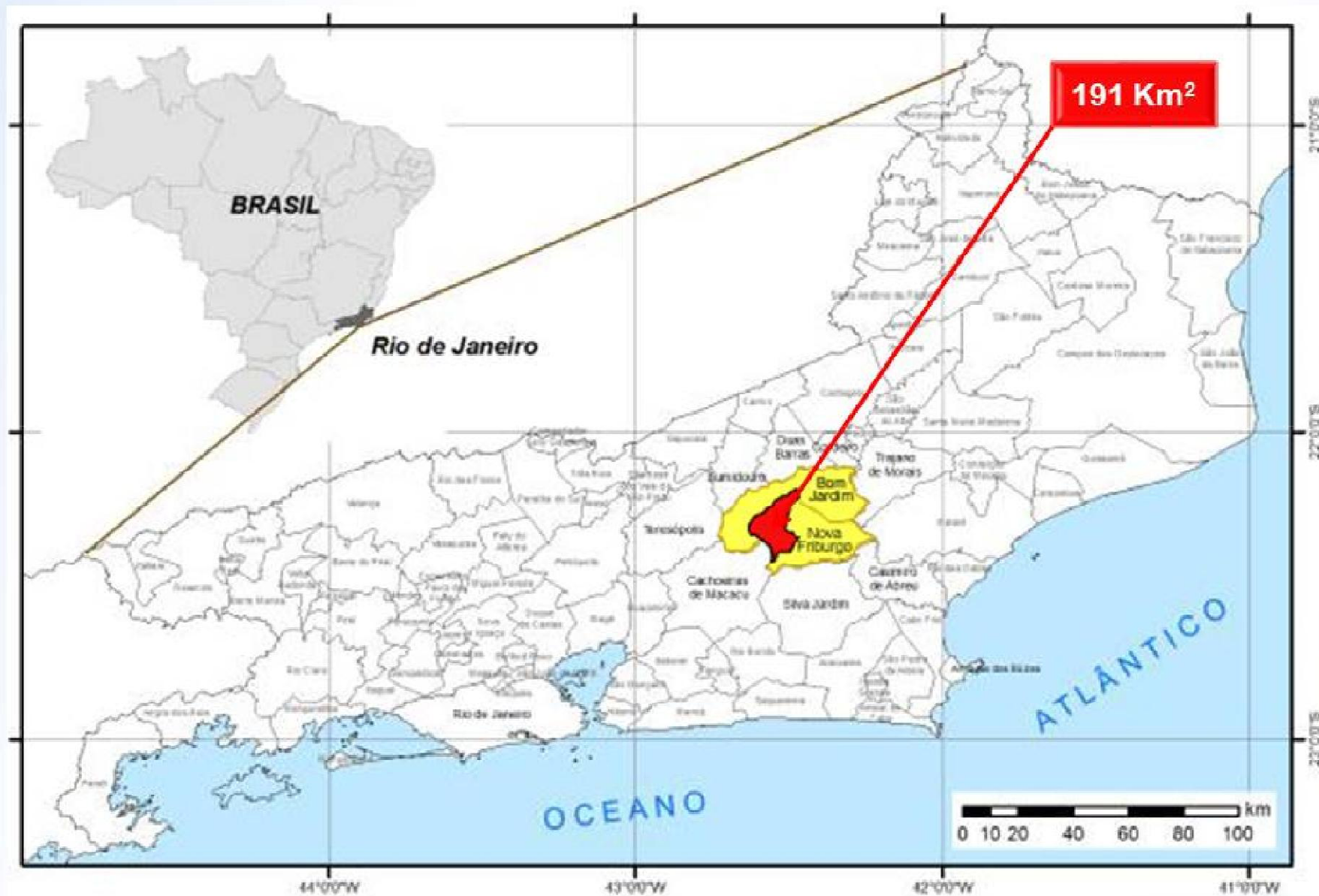
***Bacia do Rio Bengalas***

***Município de Nova Friburgo***

***Região Serrana do Estado do RJ***

***Brasil***

# Área de Estudo



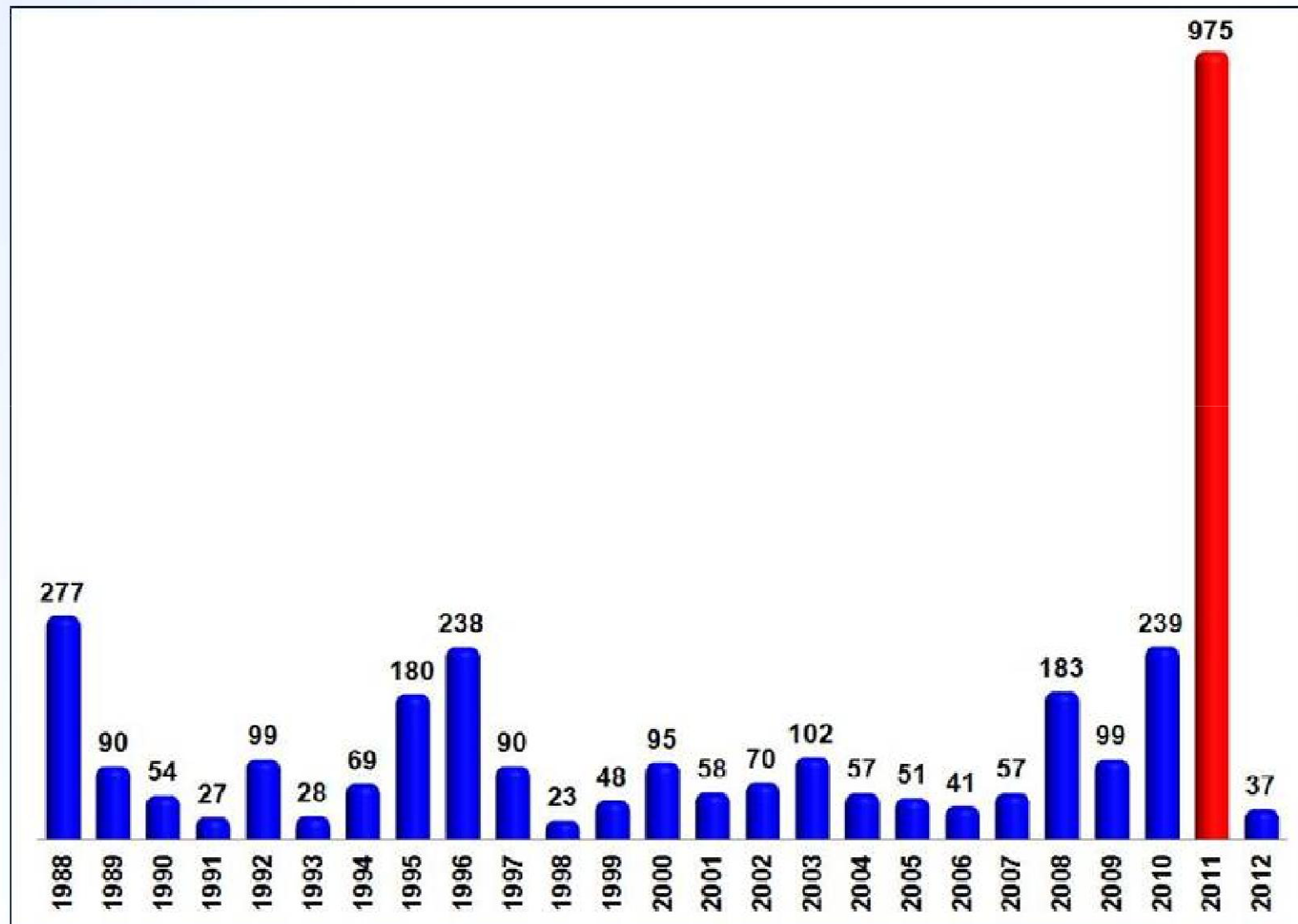
Fonte: IBGE (2011b), adaptada pelo Autor.

***Justificativas***



# *Justificativas*

Distribuição anual do número de mortes por escorregamentos de terra no Brasil



Fonte: IPT (2009), adaptada pelo Autor.

## ***Justificativas***

- ✓ **Constatou-se na área de Estudo (BBC-Brasil 2012)**
  - **429 óbitos (44% de todo o Brasil em 2011)**
  - **789 desabrigados (amparados pelo Governo)**
  - **4.528 desalojados (amparados pelas famílias)**
  - **183 escorregamentos de terra**
- ✓ **Município: Prejuízo de US\$ 882 milhões**
- ✓ **Indústria: Prejuízo de US\$ 412 milhões**
- ✓ **20% das empresas foram destruídas, deixando de arrecadar/mês US\$ 11,7 milhões aos cofres públicos (R7 NOTÍCIAS, 2011a).**

## ***Justificativas***

- ✓ Entre o dia 11 e 12/janeiro/2011, um forte temporal atingiu o Município de Nova Friburgo, Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, Brasil,

***com uma precipitação de chuva na ordem de***

- 83,73 mm: 11/janeiro
- 136,03 mm: 12/janeiro }  **$\Sigma$  219,76 mm**
- 84,98 mm: Acumulada 5 dias (07 a 11/janeiro)
- 219,94 mm: Acumulada 5 dias (08 a 12/janeiro).

**Segundo as Normais Climatológicas as chuvas esperadas para o Município para o mês de janeiro é de 232,1 mm (INMET, 2009).**

## ***Variáveis ambientais analisadas da área de estudo***

***Declividade***

***Pedologia***

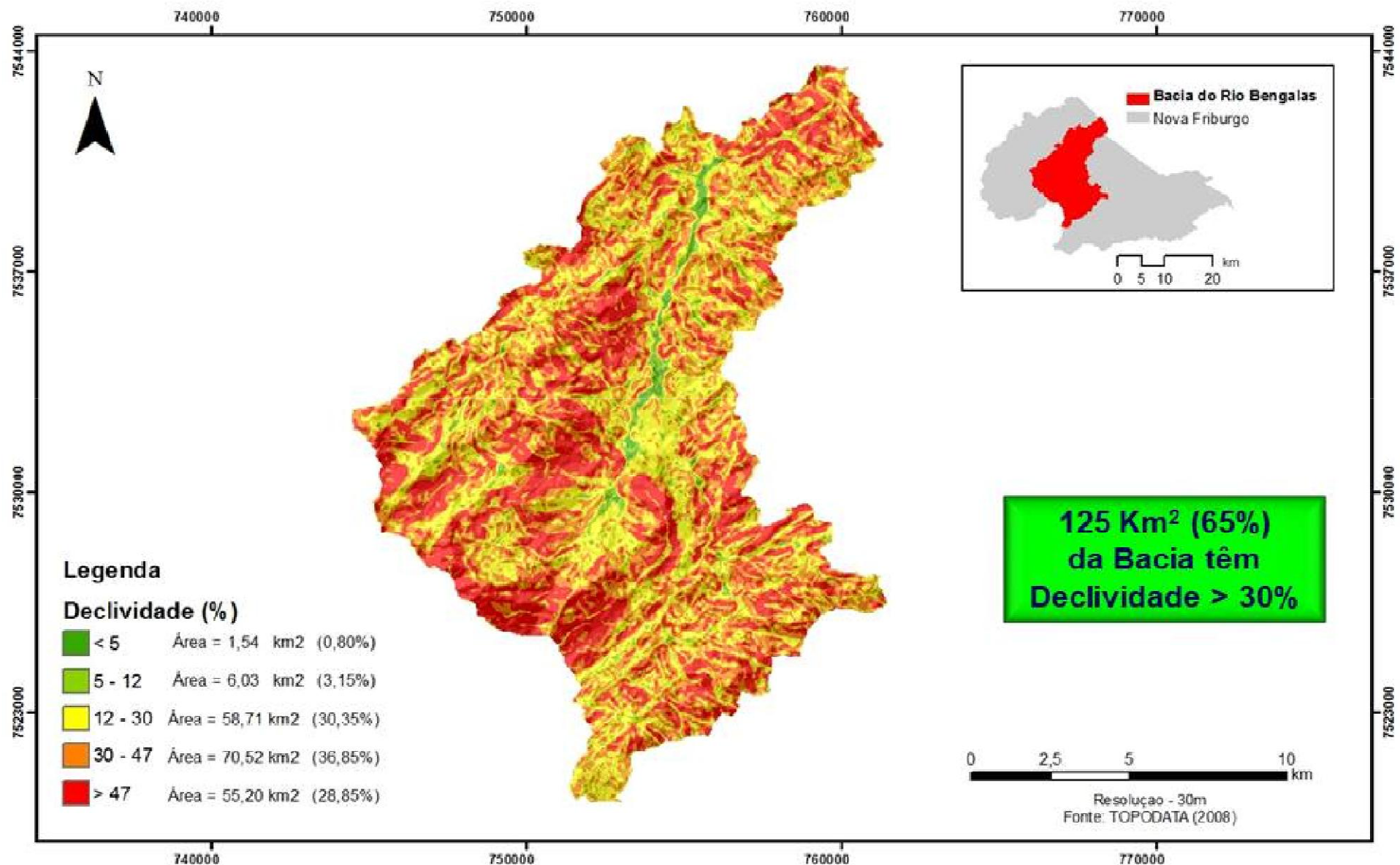
***Uso e cobertura do solo***

***Litologia***

***Curvatura vertical***

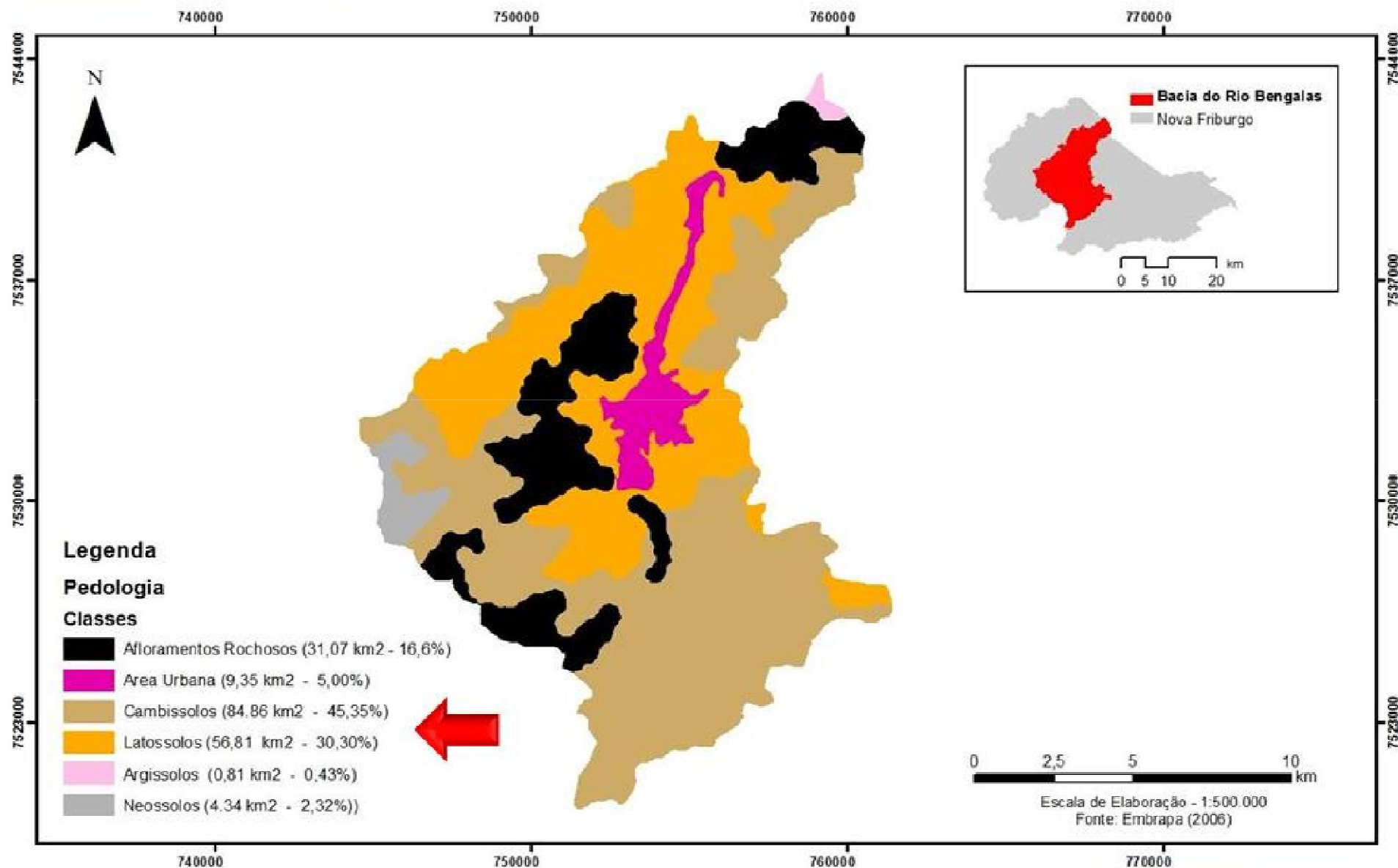
***Curvatura horizontal***

# Área de Estudo: Declividade



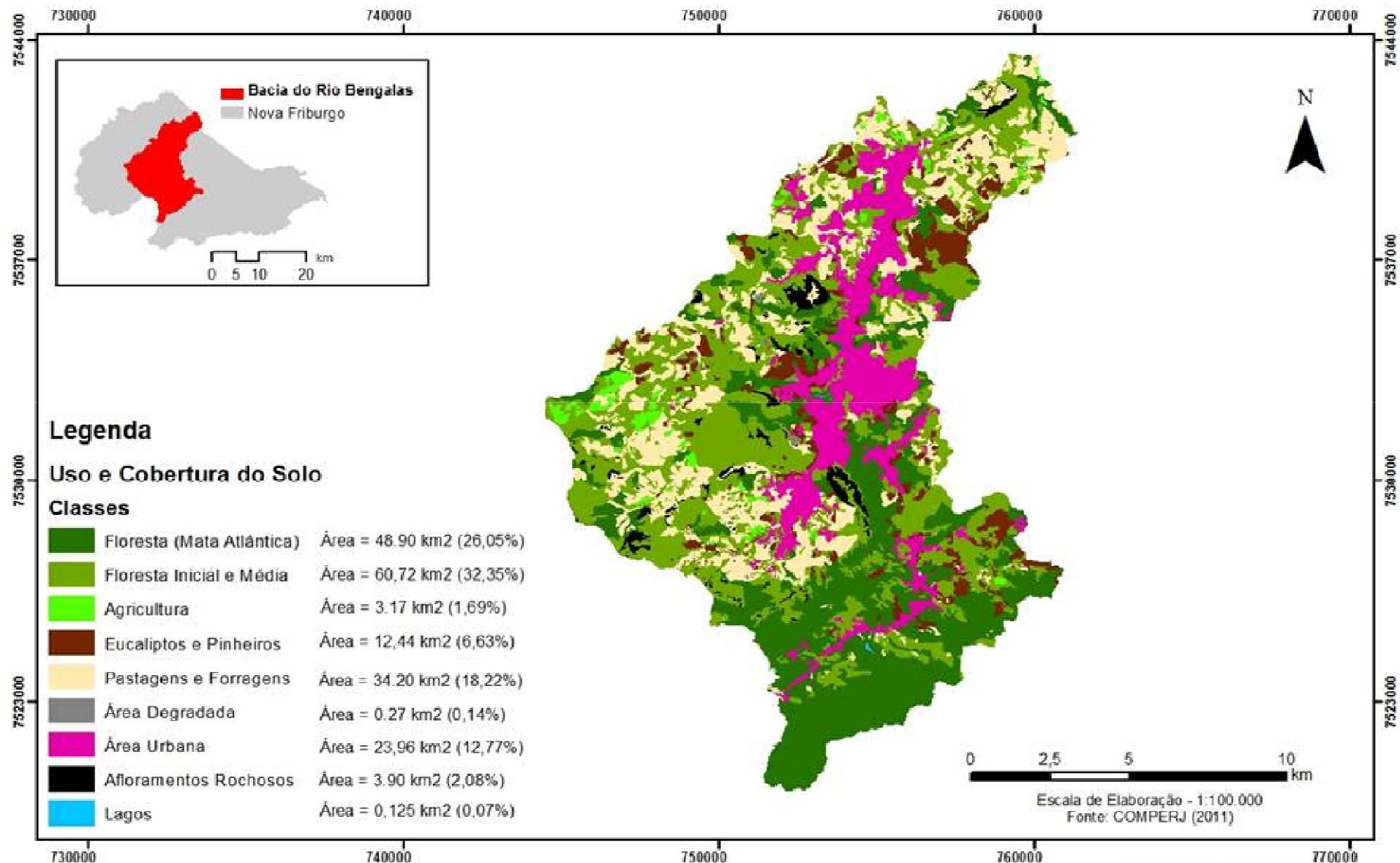
Fonte: Própria, dados provenientes do TOPODATA (2008).

# Área de Estudo: Pedologia



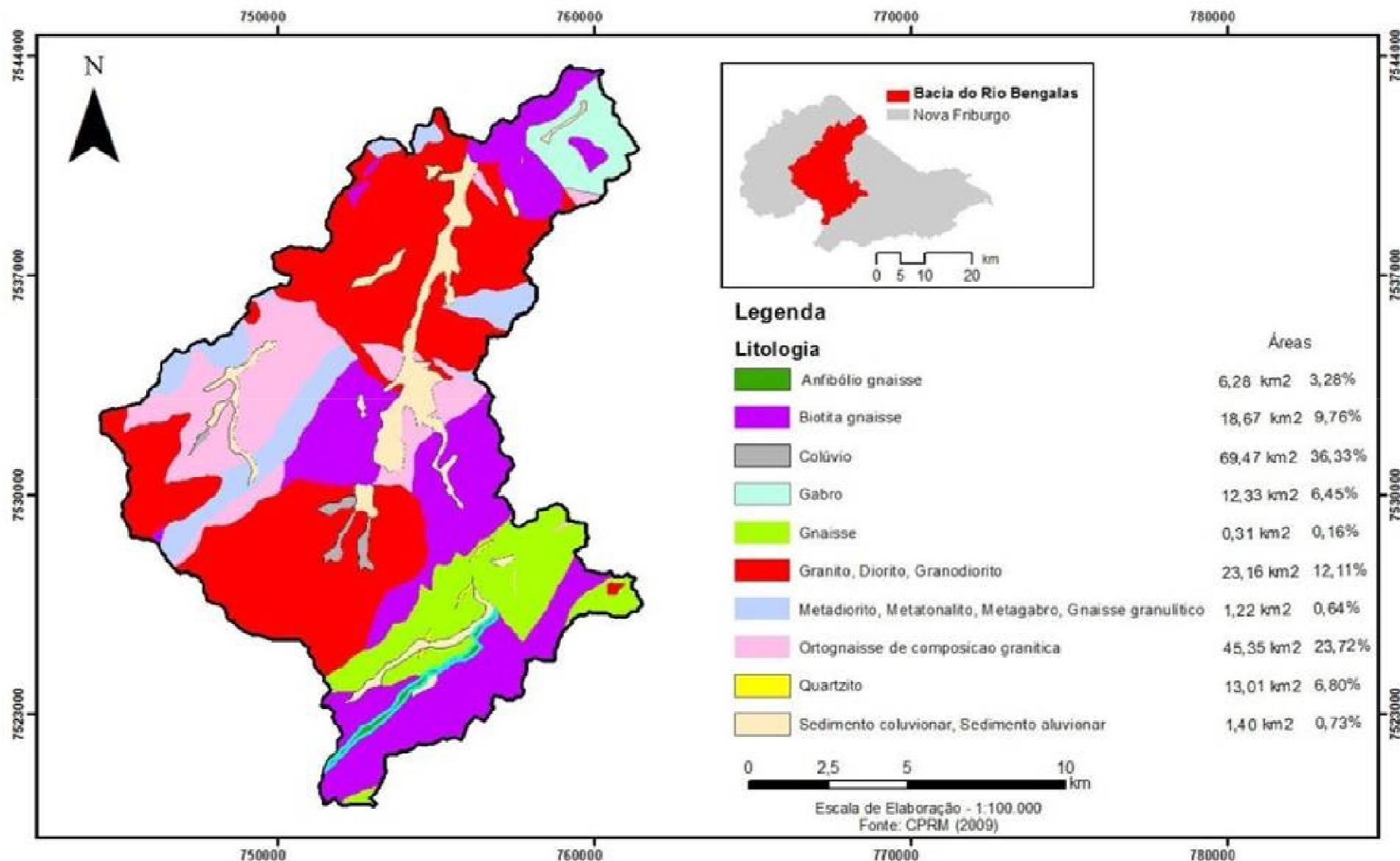
Fonte: Própria, dados provenientes da EMBRAPA (2006).

# Área de Estudo: Uso e Cobertura do Solo



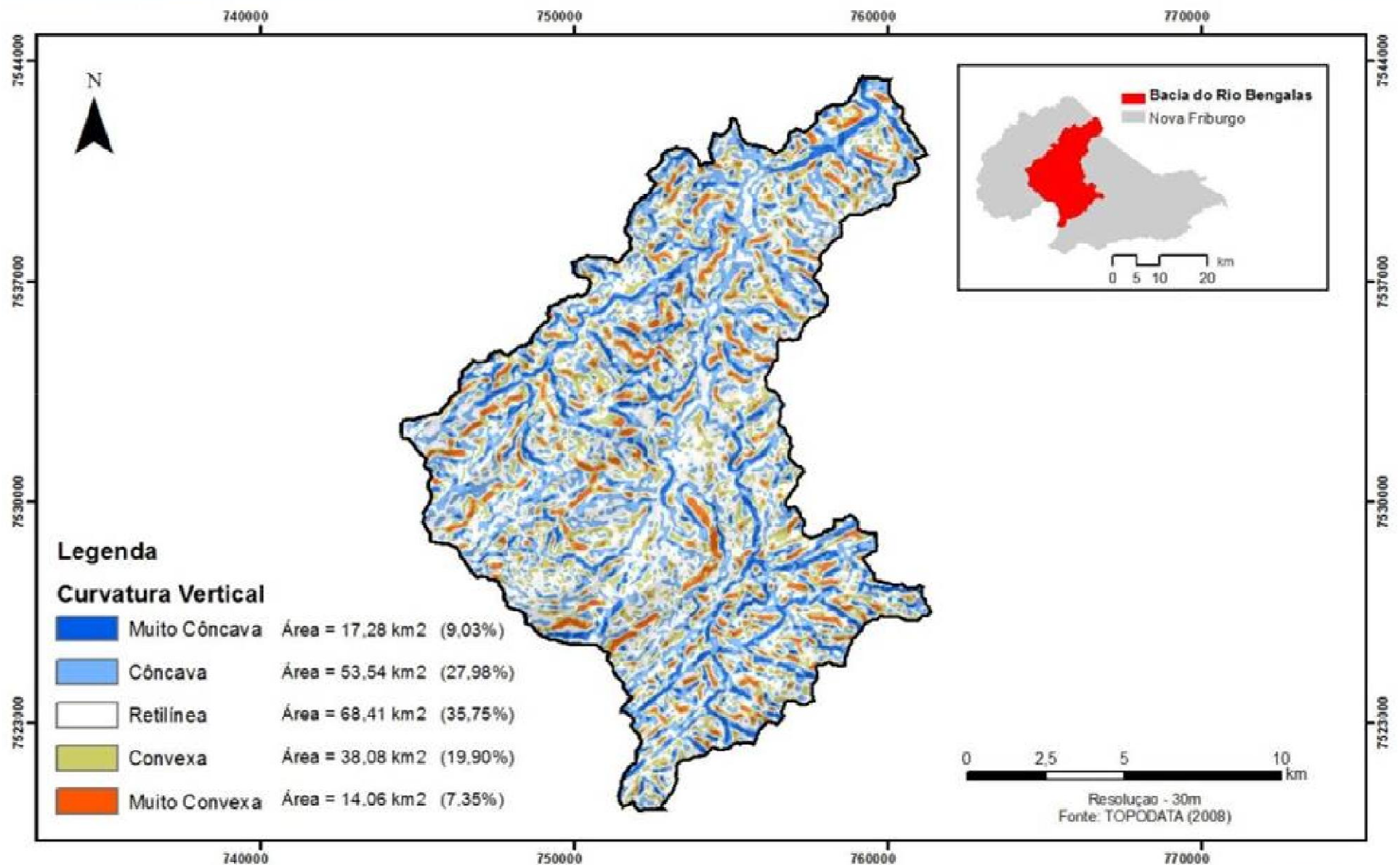
Fonte: Própria, dados provenientes do COMPERJ (2011).

# Área de Estudo: Litologia

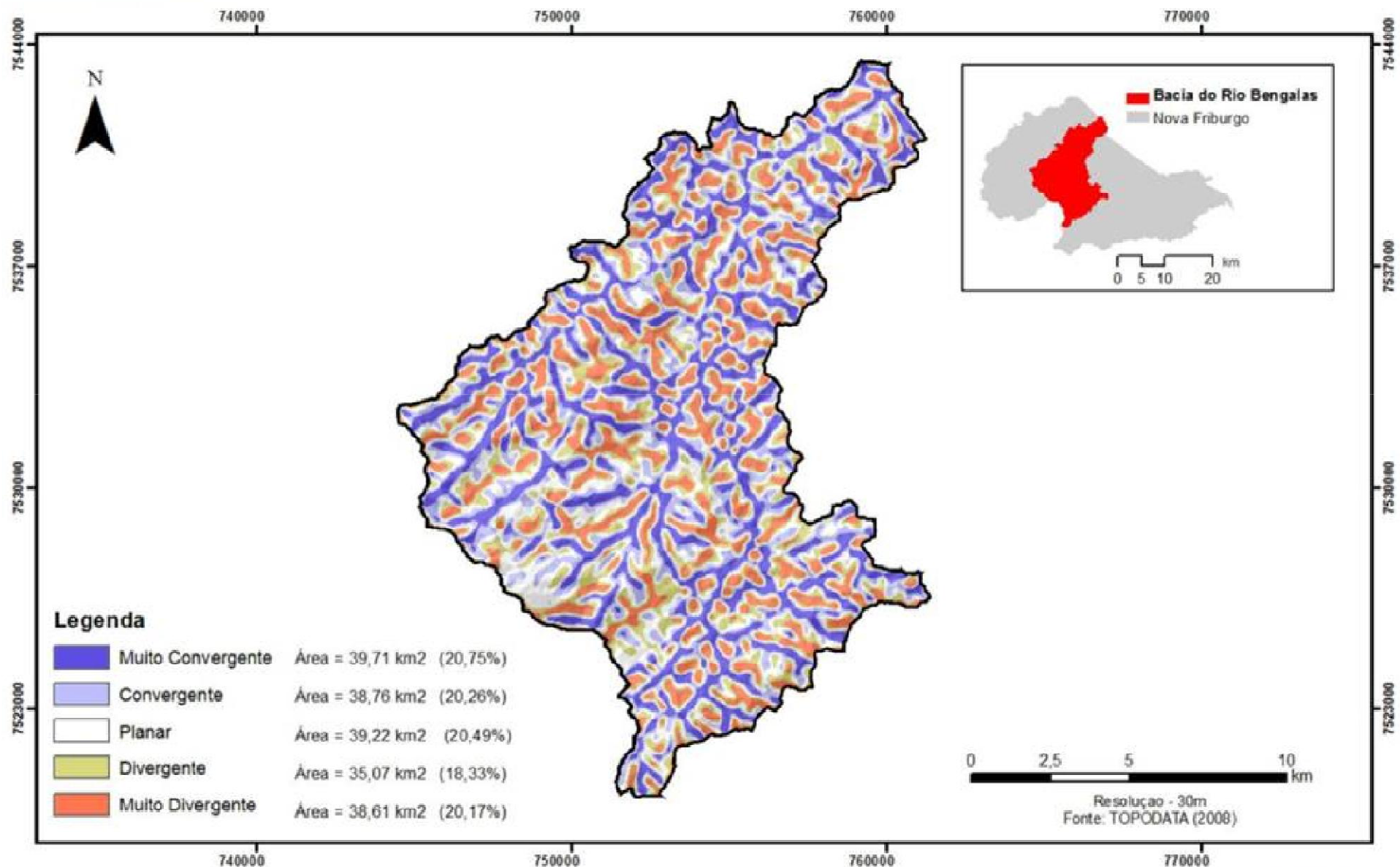




# Área de Estudo: Curvatura Vertical



# Área de Estudo: Curvatura Horizontal



***Metodologia  
existente na  
Literatura***

# ***Metodologia existente na Literatura***

$$V = \frac{G + R + S + Vg + C}{5}$$

**Onde:**

**V = Vulnerabilidade**

**G = vulnerabilidade para Geologia**

**R = vulnerabilidade para Geomorfologia  
(dissecação, altimetria e declividade)**

**S = vulnerabilidade para Solos**

**Vg = vulnerabilidade para Vegetação**

**C = vulnerabilidade para Clima**

**Fonte: CREPANI (2001, p. 22 e 81)**

***Novas Metodologias  
desenvolvidas***

# **Cálculo da Suscetibilidade**

**Termo 1  
Suscetibilidade**

$$S = \left( \frac{\sqrt{V_{dc}} + \sqrt{V_{pd}} + \sqrt{V_{li}} + \sqrt{V_{us}} + \sqrt{V_{cv}} + \sqrt{V_{ch}}}{NVA} \right)$$

**NVA** : Número de Variáveis (6)

**S** : Suscetibilidade

$\sqrt{V_{dc}}$  : Raiz Quadrada da Variável Declividade

$\sqrt{V_{pd}}$  : Raiz Quadrada da Variável Pedologia

$\sqrt{V_{li}}$  : Raiz Quadrada da Variável Litologia

$\sqrt{V_{us}}$  : Raiz Quadrada da Variável Uso e Cobertura do Solo

$\sqrt{V_{cv}}$  : Raiz Quadrada da Variável Curvatura Vertical

$\sqrt{V_{ch}}$  : Raiz Quadrada da Variável Curvatura Horizontal

# Cálculo da Vulnerabilidade

Termo 1  
Suscetibilidade

Termo 2  
Precipitação

$$V = \frac{\left( \frac{\sqrt{V_{dc}} + \sqrt{V_{pd}} + \sqrt{V_{li}} + \sqrt{V_{us}} + \sqrt{V_{cv}} + \sqrt{V_{ch}}}{NVA} \right) + \sqrt{\left[ \frac{\left( \frac{PD}{CPC} \right) + \left( \frac{PA5}{MAXPA5} \right)}{2} \right]}}{2}$$

**Termo 2  
Precipitação**

$$\sqrt{\left[ \frac{\left( \frac{PD}{CPC} \right) + \left( \frac{PA5}{MAXPA5} \right)}{2} \right]}$$

**PD** : Precipitação Diária

**CPC** : Coeficiente de Precipitação Crítica (70 mm/24 horas)

**PA5** : Precipitação Acumulada de 5 dias

**MAXPA5** : Máxima Precipitação Acumulada 5 dias (01/01/1995 a 19/03/2013)

**O índice resultante do termo 2 da equação foi classificado de acordo com os pesos pré-definidos a seguir:**

Índice resultante do 2º termo da equação		Pesos
De	A	
0,00	0,19	0,00
0,20	0,39	0,20
0,40	0,59	0,40
0,60	0,69	0,60
≥ a 0,70		1,00



***Índices adotados para a  
classificação da suscetibilidade e da vulnerabilidade***

<b>Classes da Suscetibilidade / Vulnerabilidade</b>	
<b>Classes</b>	<b>Índices Adotados</b>
Muito Baixa	0,00 a 0,19
Baixa	0,20 a 0,39
Média	0,40 a 0,59
Alta	0,60 a 0,69
Muito Alta	$\geq$ a 0,70

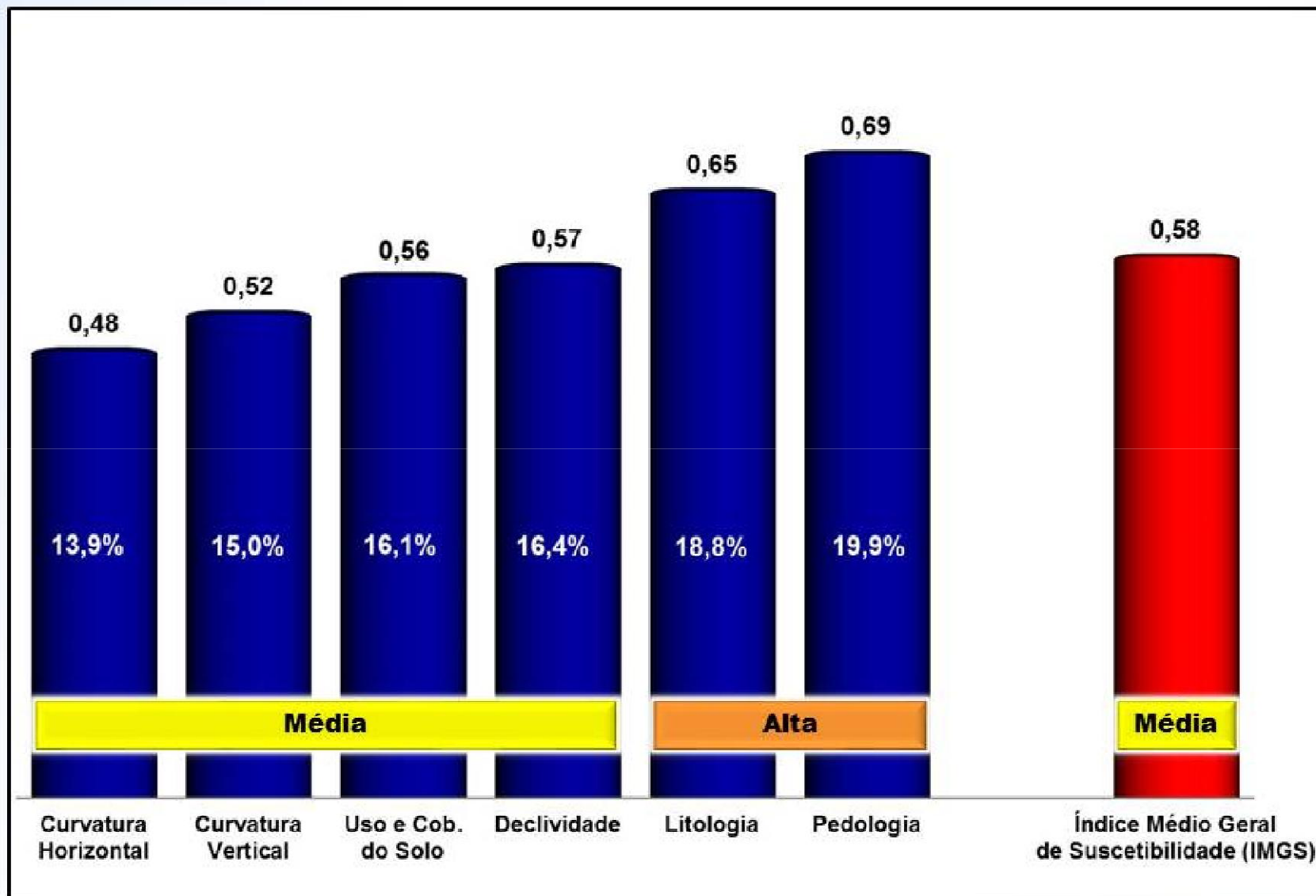
# ***Resultados***

# SUSCETIBILIDADE

a escorregamentos de terra

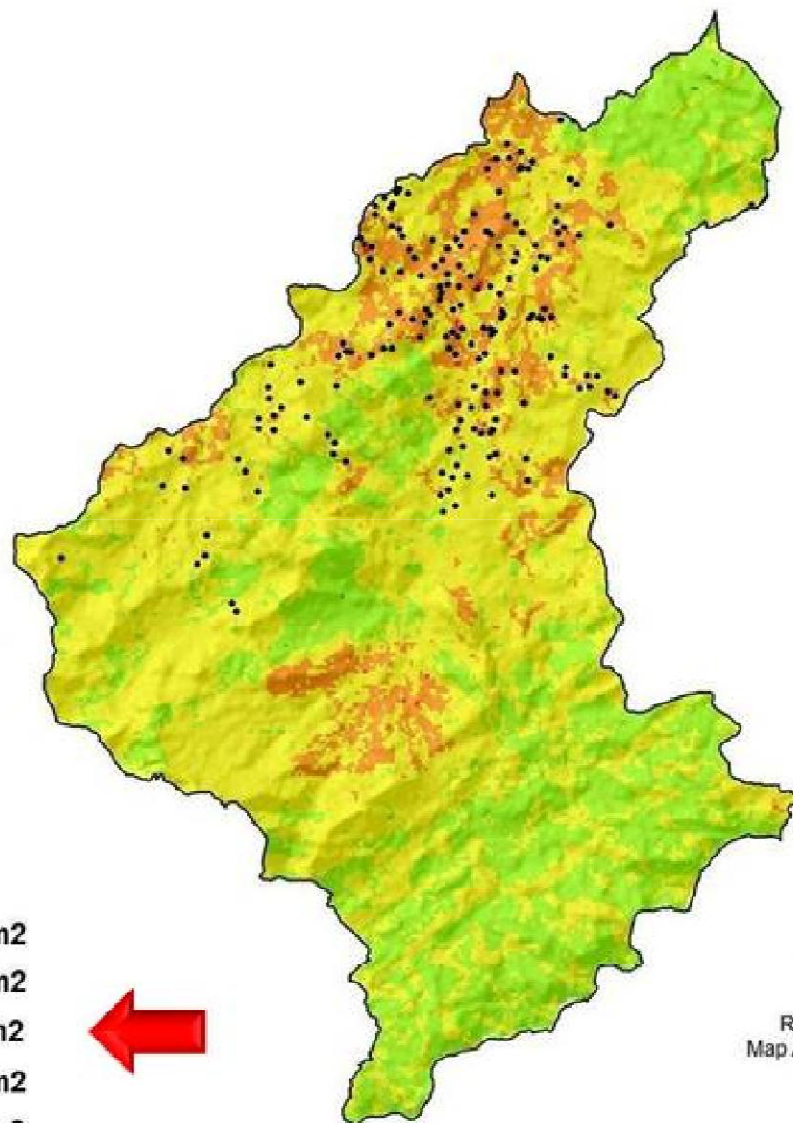
$$S = \left( \frac{\sqrt{V_{dc}} + \sqrt{V_{pd}} + \sqrt{V_{li}} + \sqrt{V_{us}} + \sqrt{V_{cv}} + \sqrt{V_{ch}}}{NVA} \right)$$

## IMSV & IMGS



IMSV: Índice Médio de Suscetibilidade da Variável  
IMGS: Índice Médio Geral de Suscetibilidade






# Mapa de Suscetibilidade



## Legenda

- Escorregamentos

## Suscetibilidade

	0,00 - 0,19	1,15 Km <sup>2</sup>
	0,20 - 0,39	52,72 Km <sup>2</sup>
	0,40 - 0,59	114,22 Km <sup>2</sup>
	0,60 - 0,69	22,73 Km <sup>2</sup>
	≥ 0,70	0,19 Km <sup>2</sup>

0 1,5 3 6 km

Resultado obtido através da ferramenta:  
Map Algebra (Raster Calculator), do ArcMap 10  
Resolução: 1 pi = 70m

# VULNERABILIDADE

a escorregamentos de terra

$$V = \frac{\left( \frac{\sqrt{V_{dc}} + \sqrt{V_{pd}} + \sqrt{V_{li}} + \sqrt{V_{us}} + \sqrt{V_{cv}} + \sqrt{V_{ch}}}{NVA} \right) + \sqrt{\left[ \frac{\left( \frac{PD}{CPC} \right) + \left( \frac{PA5}{MAXPA5} \right)}{2} \right]}}{2}$$

## ***Vulnerabilidade***

Na **validação** da nova metodologia usou-se dados de:

- Precipitação acumulada de chuvas para 5 dias (PA5) para medir a magnitude dos eventos.
- A série histórica escolhida para a análise foi de 01/01/1995 a 19/03/2013 (13 anos e 3 meses).
- Os dias 19/01/2005, 04/01/2007, 12/01/2011 e 18/03/2013 tiveram seus dados separados **para análise e validação**.
- Nestes dias foi registada na área de estudo uma precipitação diária de chuva superior a 80 mm, **com a ocorrência de escorregamentos de terra nos dias 04/01/2007 e 12/01/2011**.

## Índice Médio da Vulnerabilidade Diária (IMVD)

19/01/2005	Nº de Escorregamentos	Cinco (5) dias que antecedem o dia do evento					Dia do Evento
		5º dia	4º dia	3º dia	2º dia	1º dia	
		14/01/2005	15/01/2005	16/01/2005	17/01/2005	18/01/2005	
0	0,49	0,39	0,39	0,49	0,39	0,79	

04/01/2007	Nº de Escorregamentos	Cinco (5) dias que antecedem o dia do evento					Dia do Evento
		5º dia	4º dia	3º dia	2º dia	1º dia	
		30/12/2006	31/12/2006	01/01/2007	02/01/2007	03/01/2007	
350	0,39	0,39	0,39	0,49	0,79	0,79	



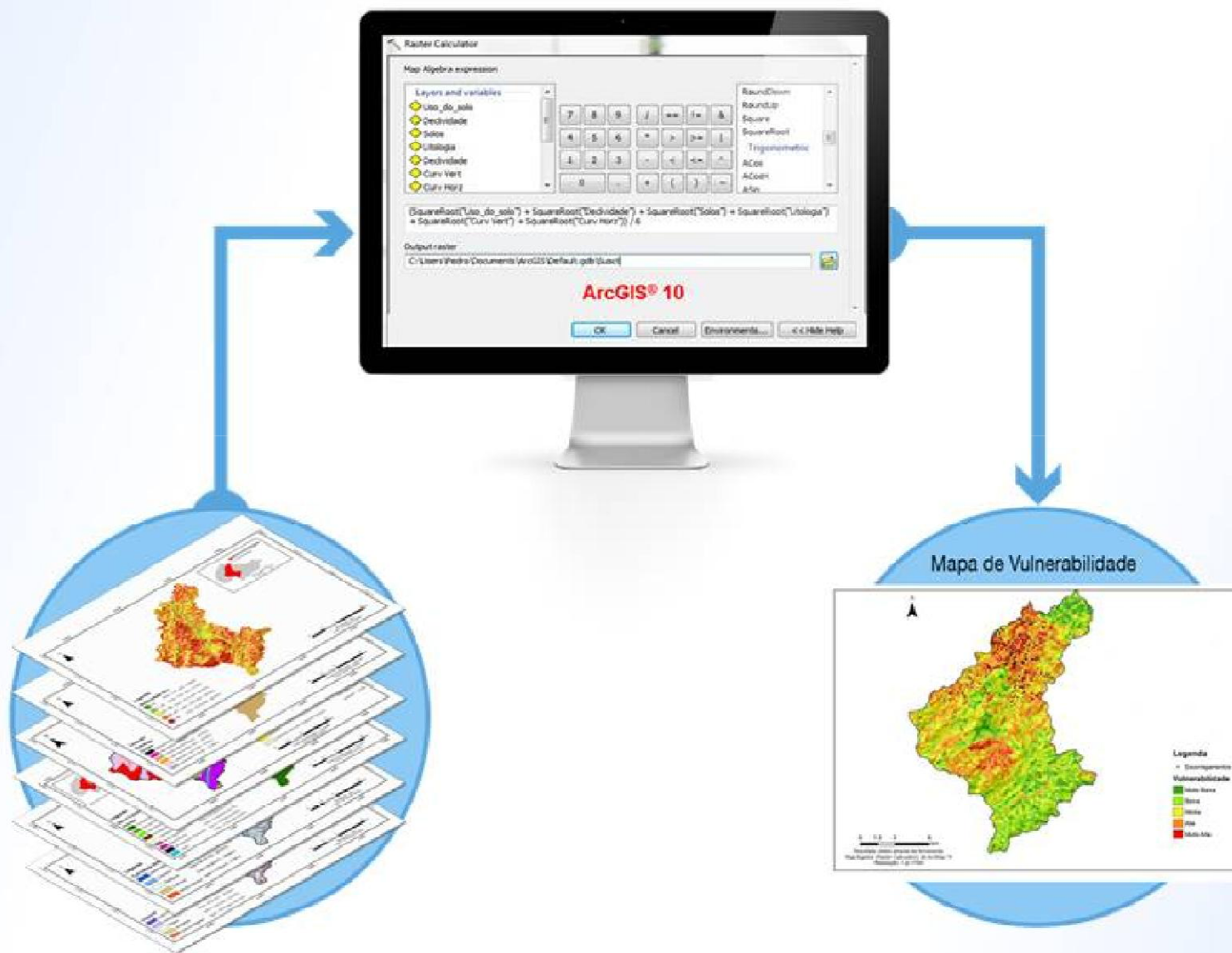
12/01/2011	Nº de Escorregamentos	Cinco (5) dias que antecedem o dia do evento					Dia do Evento
		5º dia	4º dia	3º dia	2º dia	1º dia	
		07/01/2011	08/01/2011	09/01/2011	10/01/2011	11/01/2011	
800	0,39	0,39	0,39	0,29	0,79	0,79	



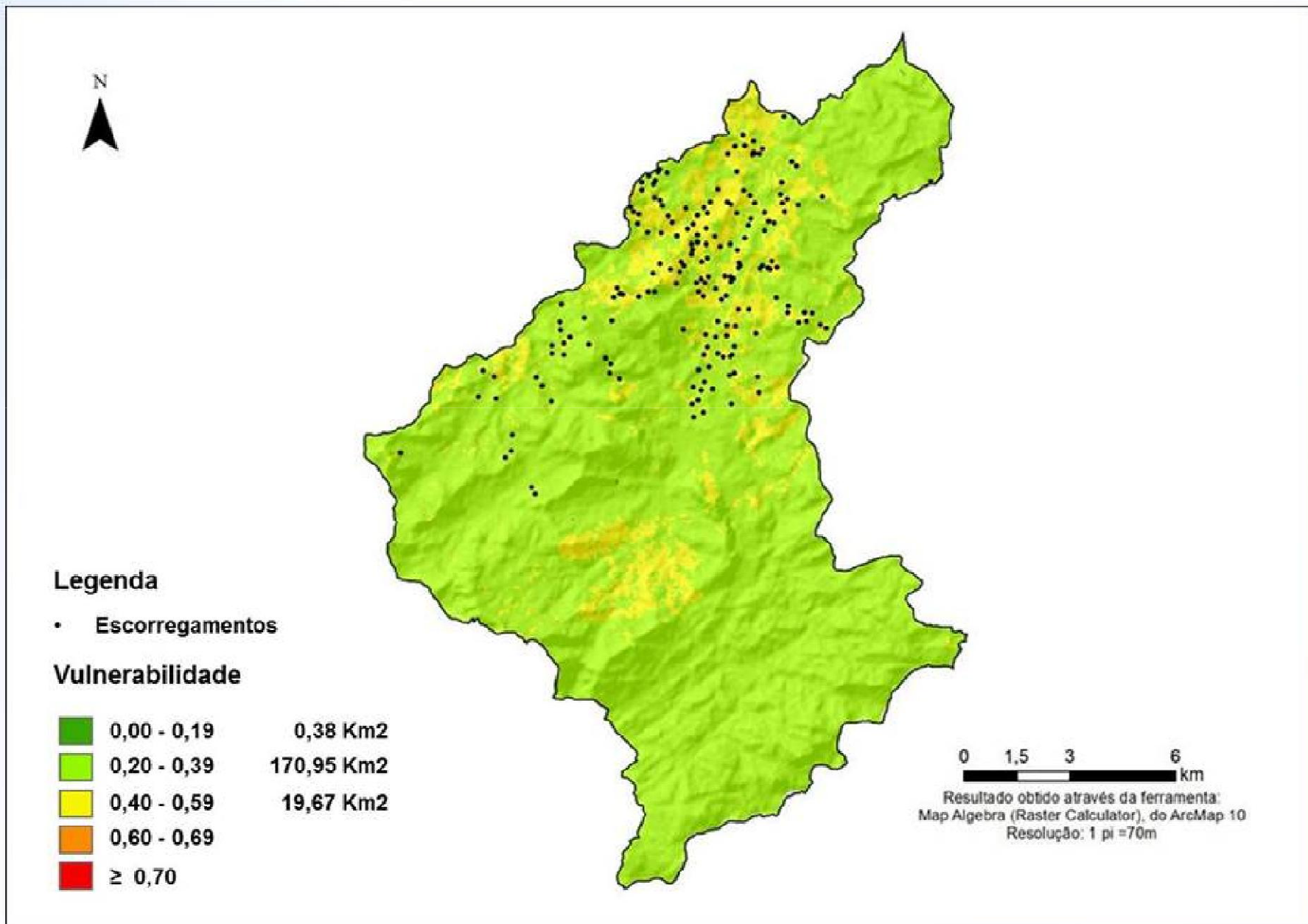
18/03/2013	Nº de Escorregamentos	Cinco (5) dias que antecedem o dia do evento					Dia do Evento
		5º dia	4º dia	3º dia	2º dia	1º dia	
		13/03/2013	14/03/2013	15/03/2013	16/03/2013	17/03/2013	
0	0,39	0,49	0,39	0,39	0,39	0,79	



# Os mapas de vulnerabilidade foram gerados por meio...

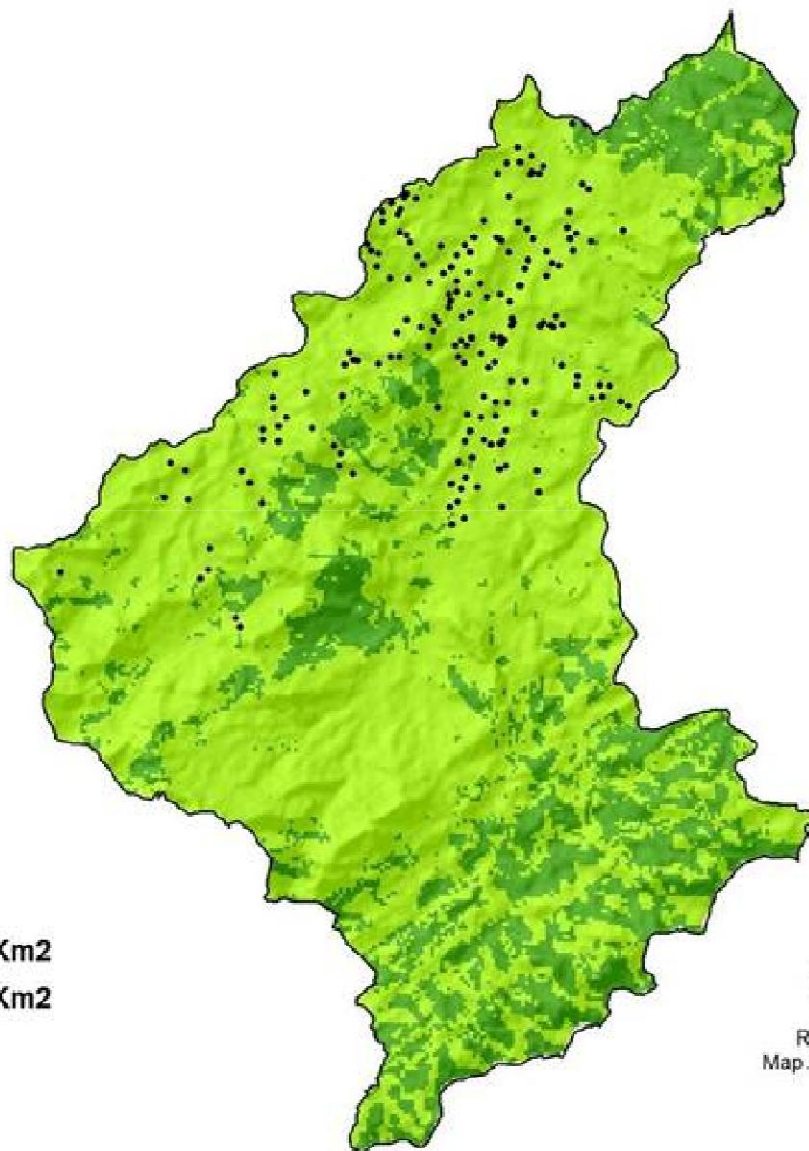


# Vulnerabilidade para os dias 07, 08 e 09/01/2011 (respectivamente o 5º, 4º e 3º dia antes do dia do evento)



# Vulnerabilidade para o dia 10/01/2011






(2º dia antes do dia do evento)



## Legenda

- Escorregamentos

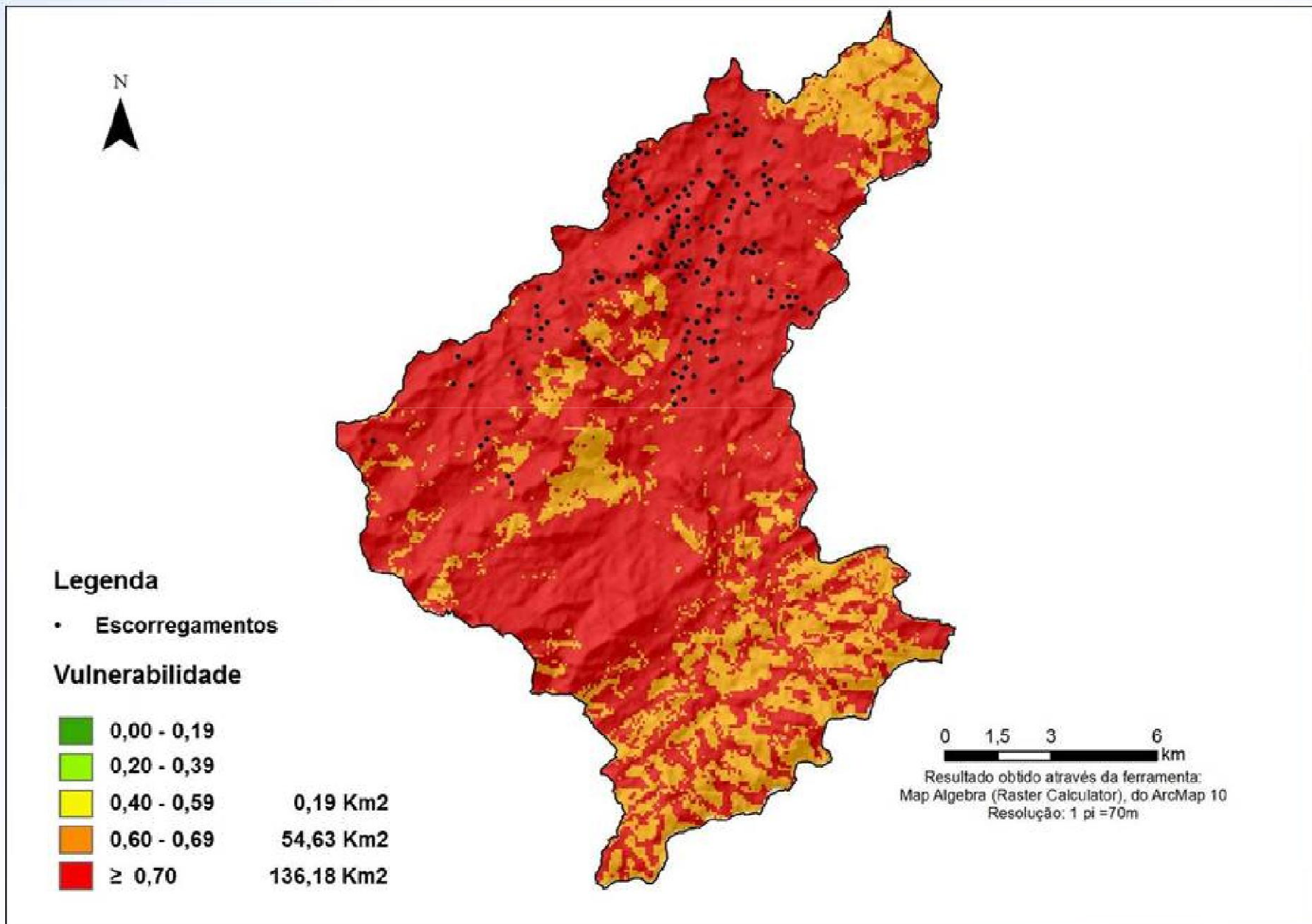
## Vulnerabilidade

	0,00 - 0,19	55,58 Km2
	0,20 - 0,39	135,42 Km2
	0,40 - 0,59	
	0,60 - 0,69	
	≥ 0,70	

0 1,5 3 6 km

Resultado obtido através da ferramenta:  
Map Algebra (Raster Calculator), do ArcMap 10  
Resolução: 1 pi = 70m

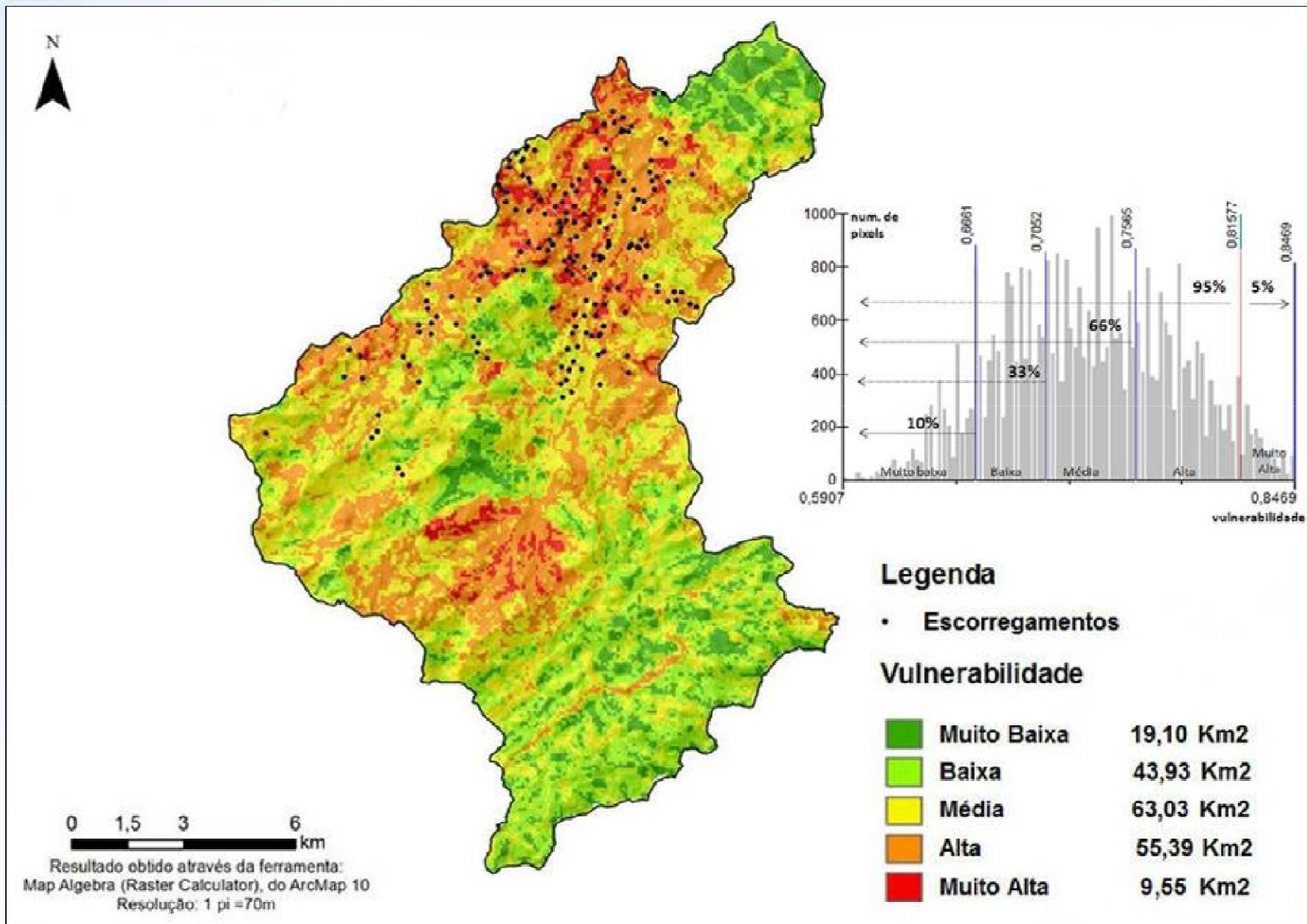
# Vulnerabilidade para os dias 11 e 12/01/2011 (1º dia antes do dia do evento e para o dia do evento )



- ✓ **A primeira impressão é de que praticamente toda a área de estudo apresenta a mesma característica, porém a técnica de álgebra de mapas aplicada permite outras formas de categorização das áreas mais críticas da Bacia.**
- ✓ **Na literatura existem diversos estudos validados que indicam que a classe mais crítica de vulnerabilidade ocupa, normalmente, entre 3,5% e 8,0% das bacias analisadas (KAYASTHA et al., 2013; BAI et al., 2009; AYALEW et al., 2004).**

- ✓ Neste trabalho, o limite para a classe de vulnerabilidade “muito alta” foi traçado para o **percentil 95%** como opção de visualização dos resultados apresentados no mapa de vulnerabilidade.
- ✓ Significa que a classe de vulnerabilidade “muito alta” **está acima de 95%** dos valores encontrados na Bacia, representando os **5% mais críticos da área em relação a escorregamentos de terra.**

# Vulnerabilidade para os dias 11 e 12/01/2011 (1º dia antes do dia do evento e para o dia do evento)



# ***Comparando os Índices de Vulnerabilidade***

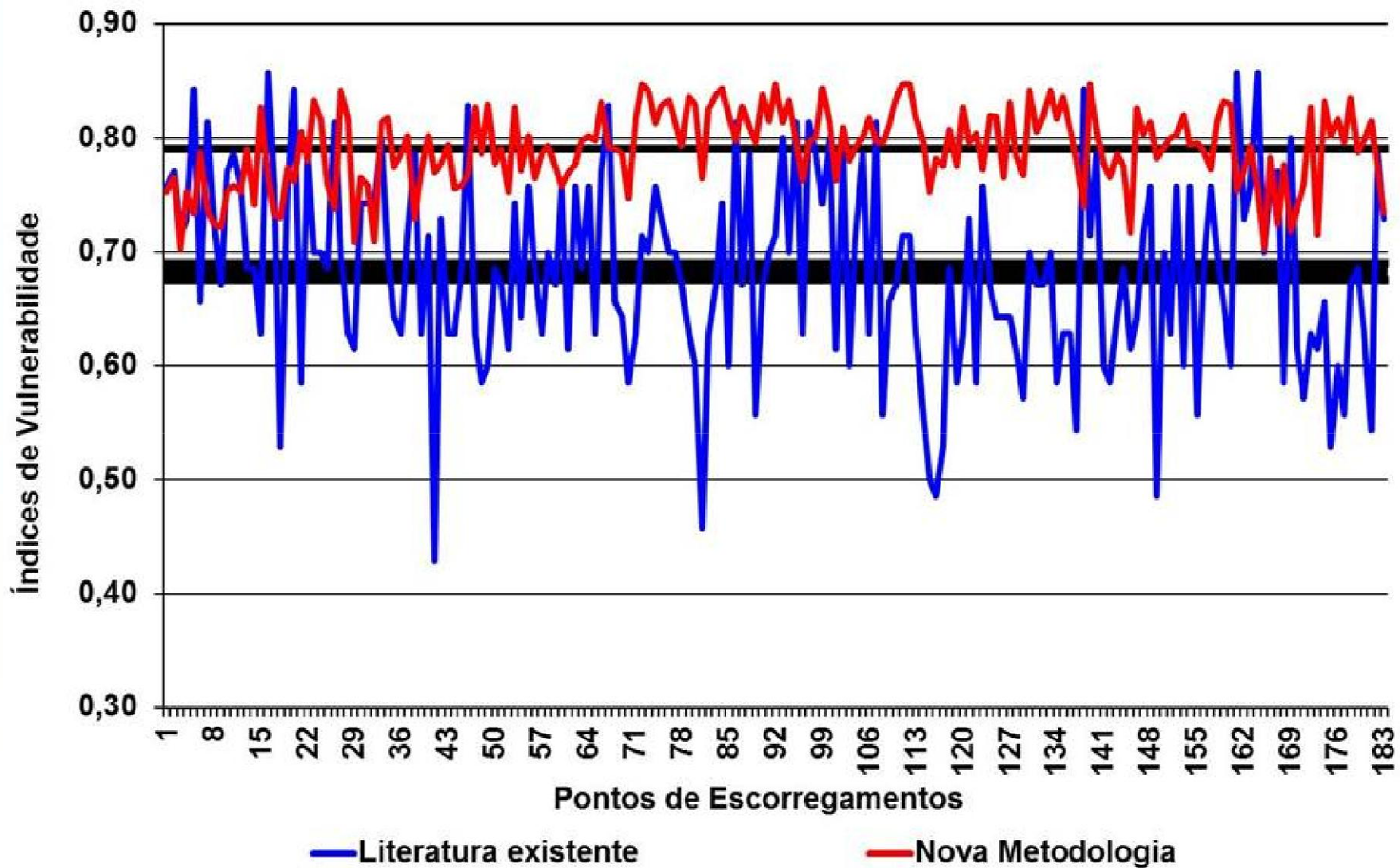
***Metodologia  
existente  
na Literatura***

**X**

***Metodologia  
proposta  
neste Trabalho***



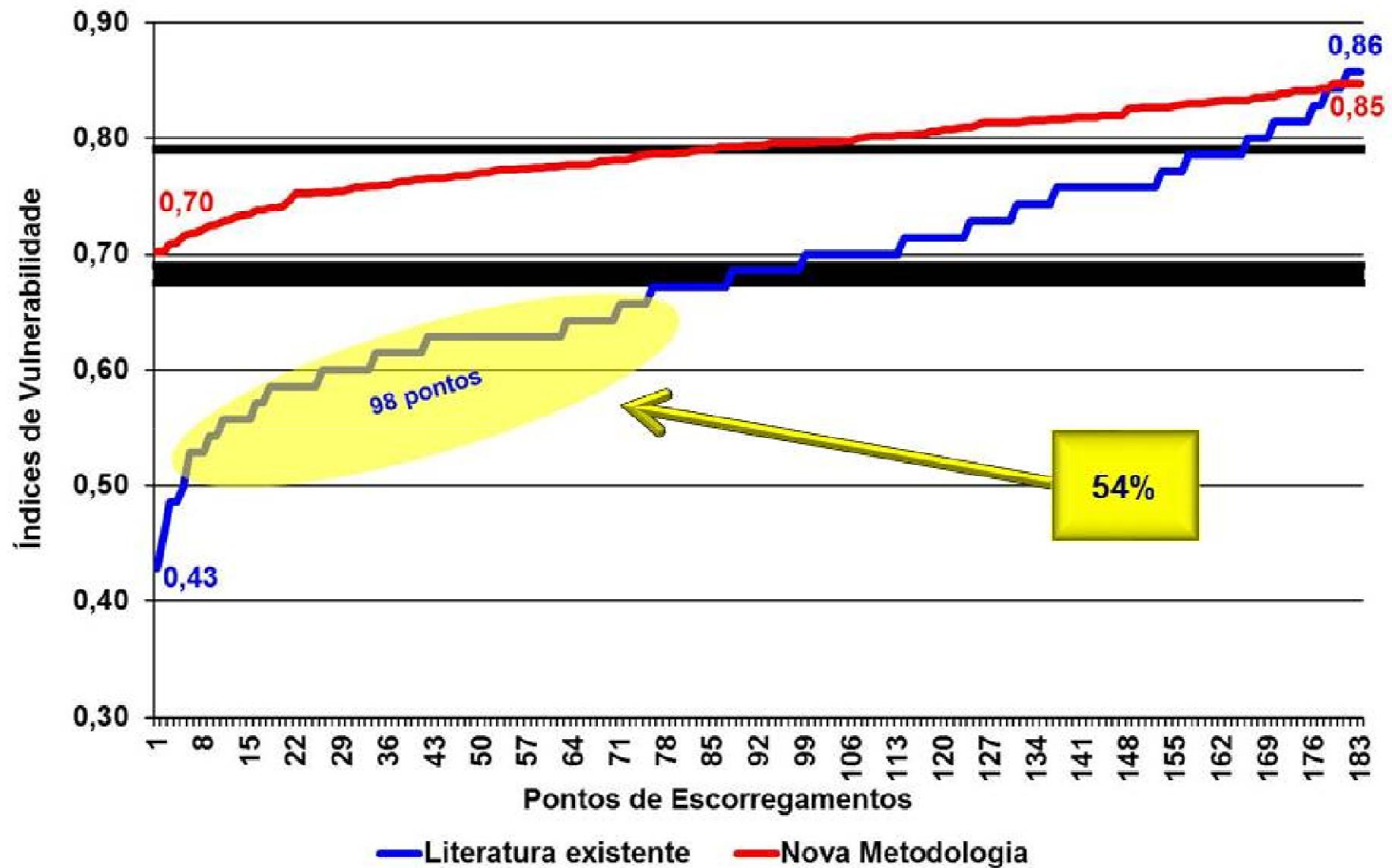
## Comparando os Índices de Vulnerabilidade X Metodologias



Literatura existente: índice mínimo de 0,43 e máximo de 0,86 (média simples: 0,68; desvio padrão: 0,09)

Nova metodologia: índice mínimo de 0,70 e máximo de 0,85 (média simples: 0,79; desvio padrão: 0,03)

# Índices de Vulnerabilidade na ordem crescente



Literatura existente: índice mínimo de 0,43 e máximo de 0,86 (média simples: 0,68; desvio padrão: 0,09)  
Nova metodologia: índice mínimo de 0,70 e máximo de 0,85 (média simples: 0,79; desvio padrão: 0,03)

***Conclusões***

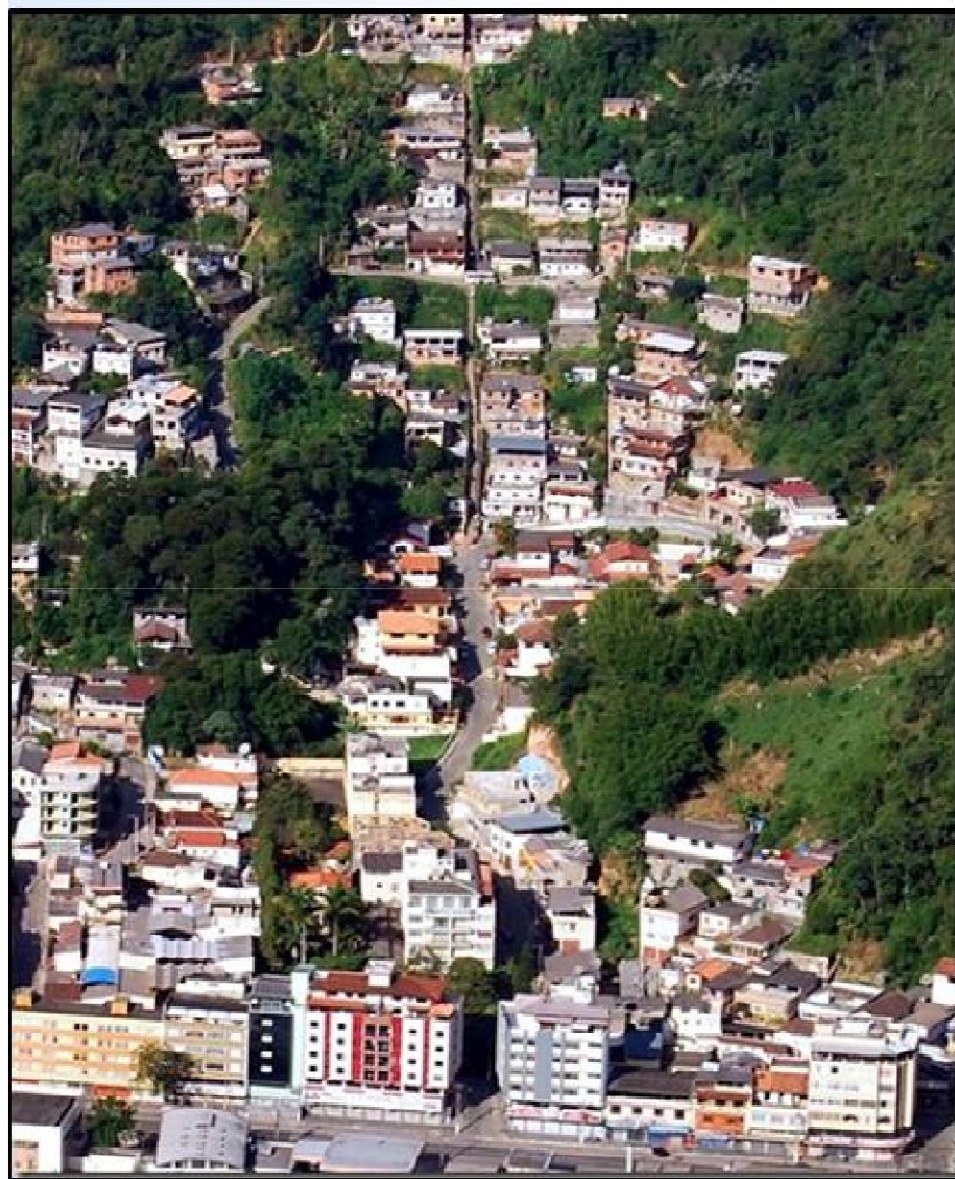
# Conclusões

- A metodologia proposta foi eficiente para os 4 eventos de alta precipitação ocorridos na área de estudo, 2 com e 2 sem escorregamentos.
- Se mostrou eficaz, pois foi capaz de registrar todos os 183 escorregamentos, enquanto que a metodologia existente da literatura deixou de apontar 98 (54%) destes desastres.
- Observou-se que quando o índice de vulnerabilidade for  $\geq 0,70$  (limiar crítico) para dois 2 dias consecutivos, a incidência destes tipos de desastres é “muito alta”.

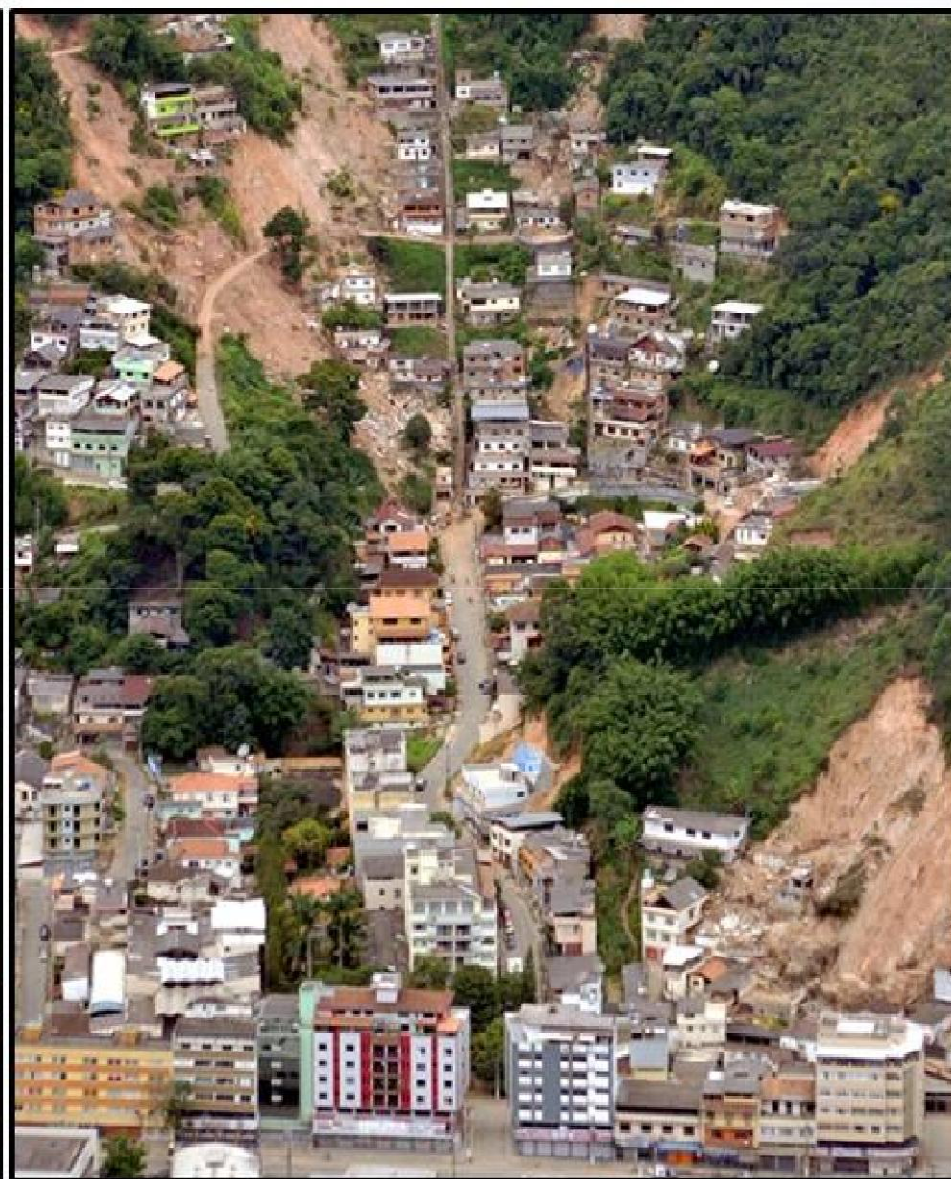
# **Conclusões**

- **Destaca-se a importância de se analisar a Precipitação Acumulada de 5 dias (PA5) de no mínimo dois (2) dias.**
- **Poderá ser utilizada universalmente na prevenção, monitoramento e previsão de escorregamentos de terra por:**
  - **Centros e Institutos de Pesquisas**
  - **Governos (Federal, Estaduais e Municipais)**
  - **Gestores públicos e profissionais envolvidos no parcelamento, uso e ocupação do solo.**

***Antes do evento***



***Após o evento***





***Obrigado!***

**Dúvidas e sugestões estou à disposição.**

***Dr. Luiz Tadeu da Silva***

***CCST / INPE***

***luiz.tadeu@inpe.br***