

# **ETEC Prof. José Sant'Ana de Castro Cruzeiro - SP**

## ***Suscetibilidade e Vulnerabilidade a Escorregamentos de Terra***

***Luiz Tadeu da Silva***

***José Felipe da Silva Farias***

***Débora Luisa Silva Teixeira***

***Luan Moreira Grilo***

***Marcelo Barbio Rosa***

***João Alexandre Medina Corte-Real***

***17/05/2018***

***Elsa Paula Figueira Ferreira Morgado de Sampaio***

# **ETEC Prof. José Sant'Ana de Castro Cruzeiro - SP**

## ***Suscetibilidade e Vulnerabilidade a Escorregamentos de Terra***

**17/05/2018**

**Dr. Luiz Tadeu da Silva**



# ***Conceitos***

## **Suscetibilidade a escorregamentos de terra**

Entendida como sendo a disposição, a tendência ou a sensibilidade que uma determinada área geográfica tem em sofrer este tipo de desastre (Silva, 2014).

## **Vulnerabilidade a escorregamentos de terra**

Entendida como sendo a condição de risco que uma determinada área geográfica tem em sofrer tais desastres, a partir de expressiva ocorrência de precipitação de chuvas nesta área. (Silva, 2014).

## ***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***

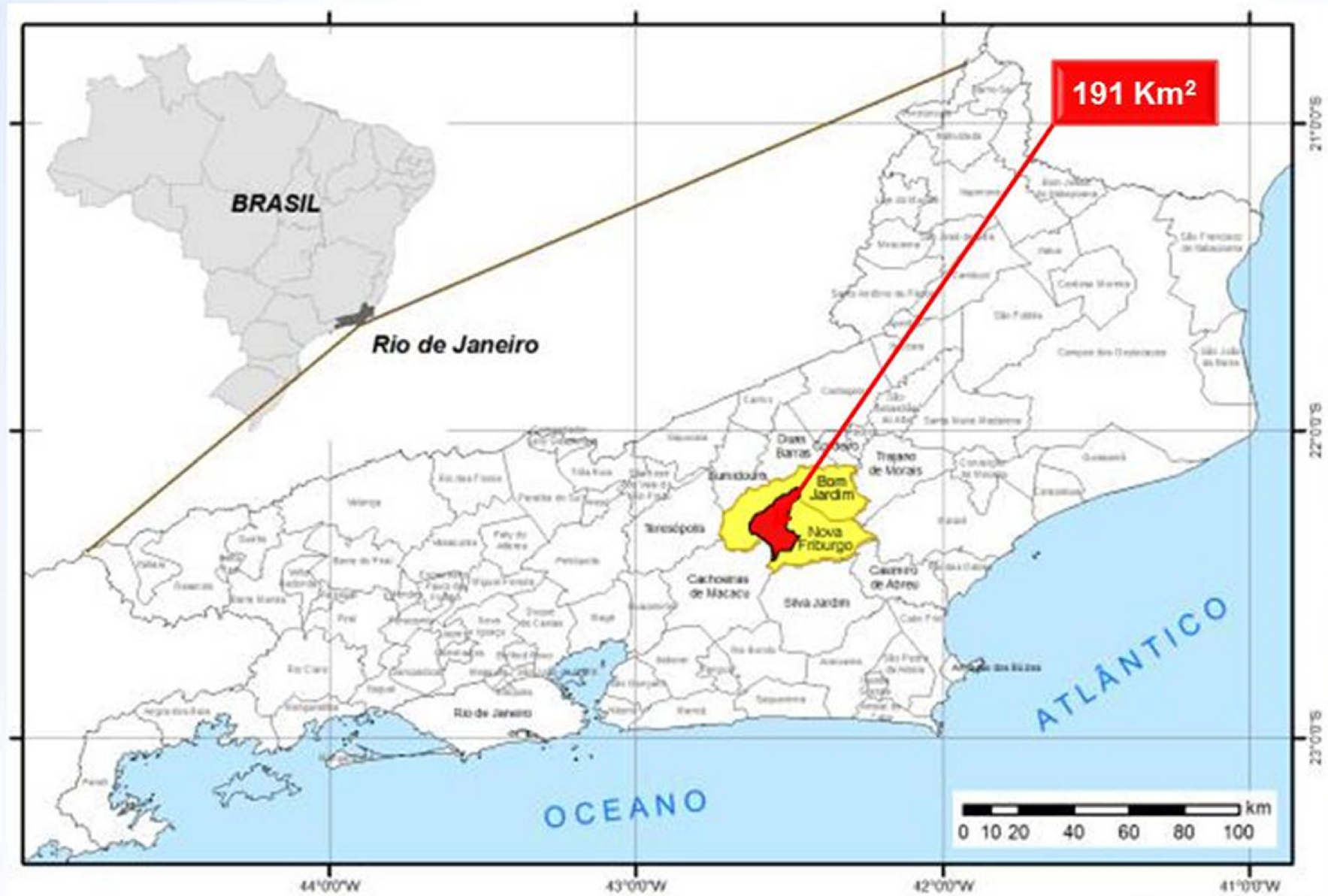
***Bacia do Rio Bengalas***

***Município de Nova Friburgo***

***Região Serrana do Estado do RJ***

***Brasil***

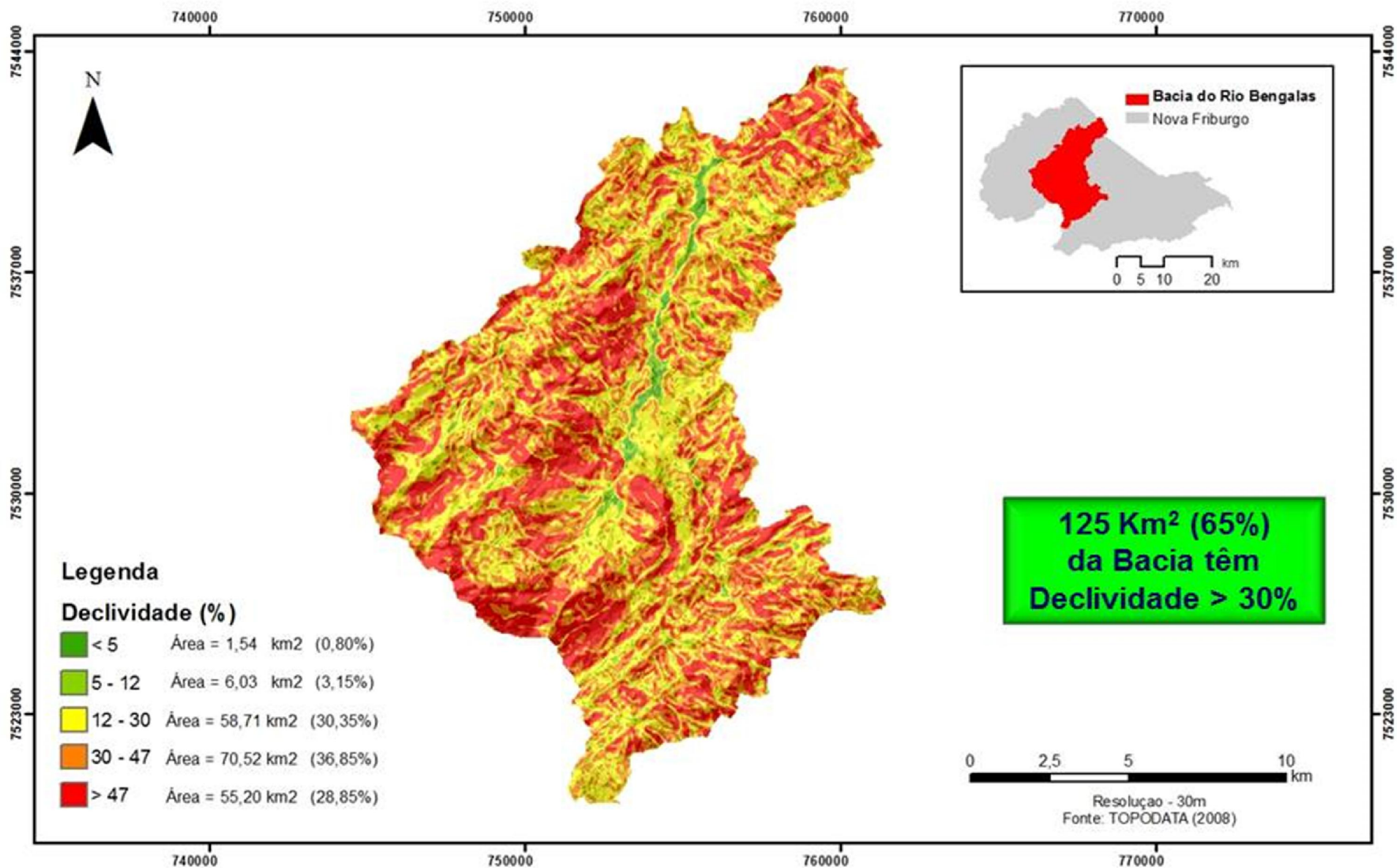
# Área de Estudo



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

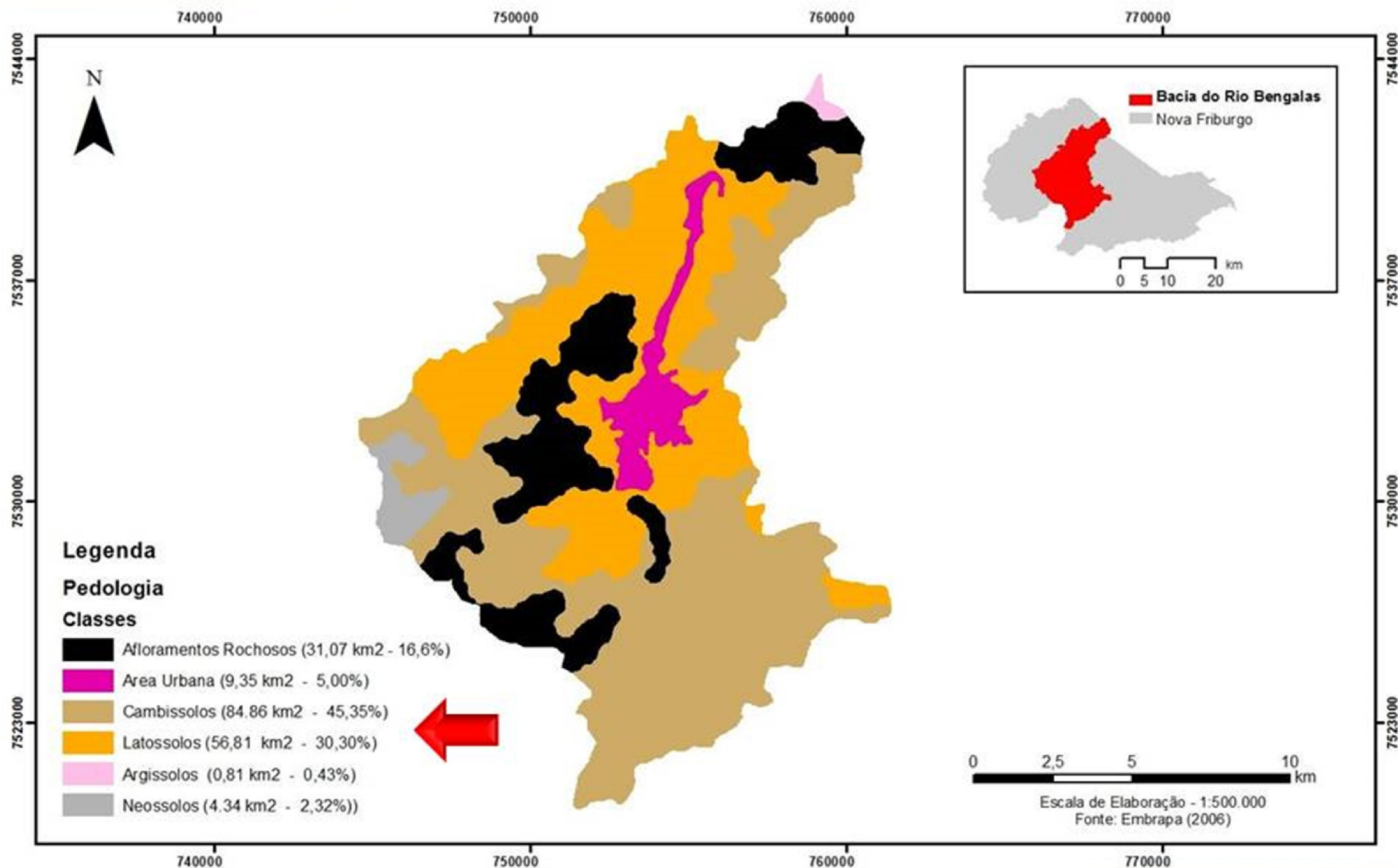


# Área de Estudo: Declividade



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

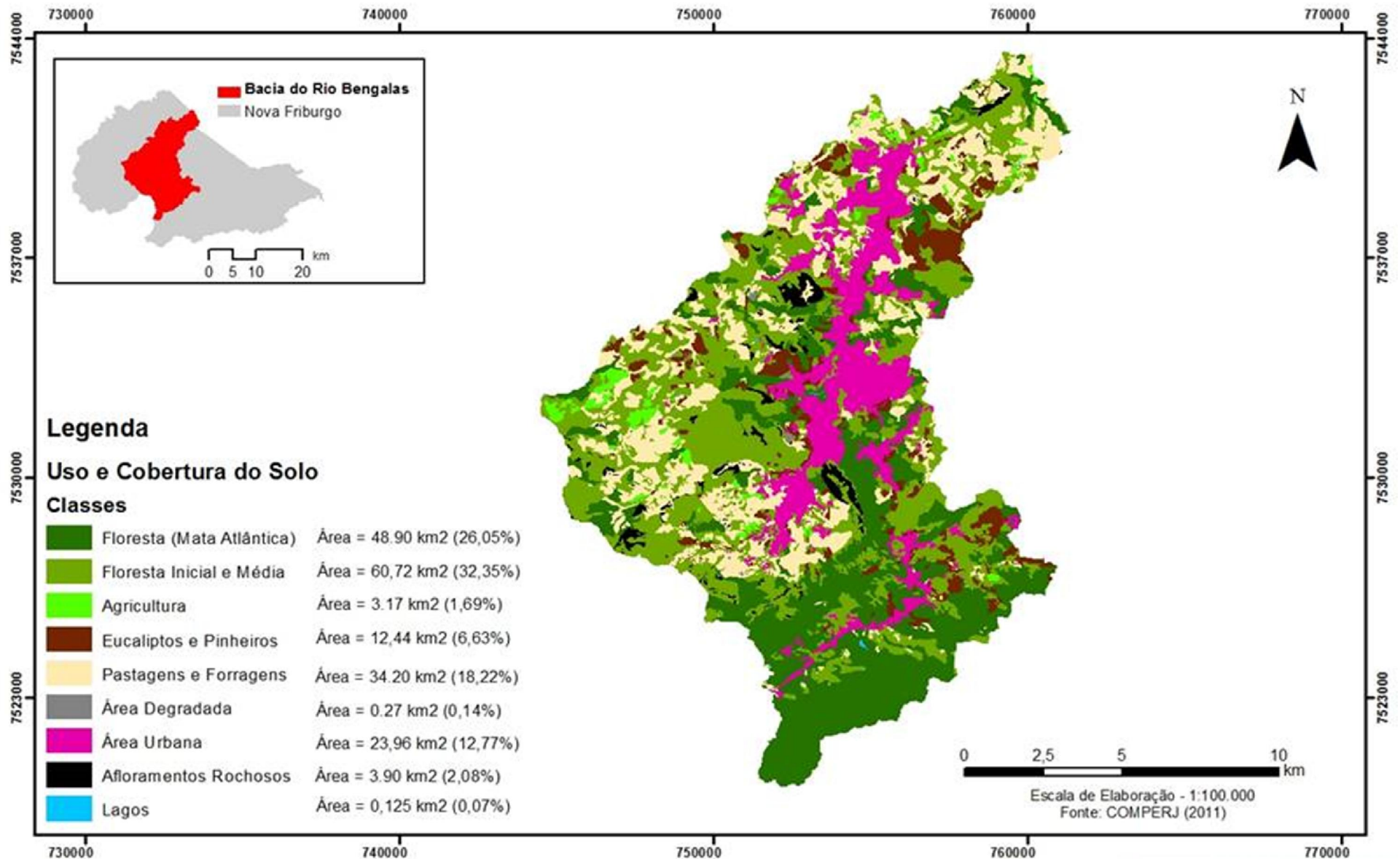
# Área de Estudo: Pedologia



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

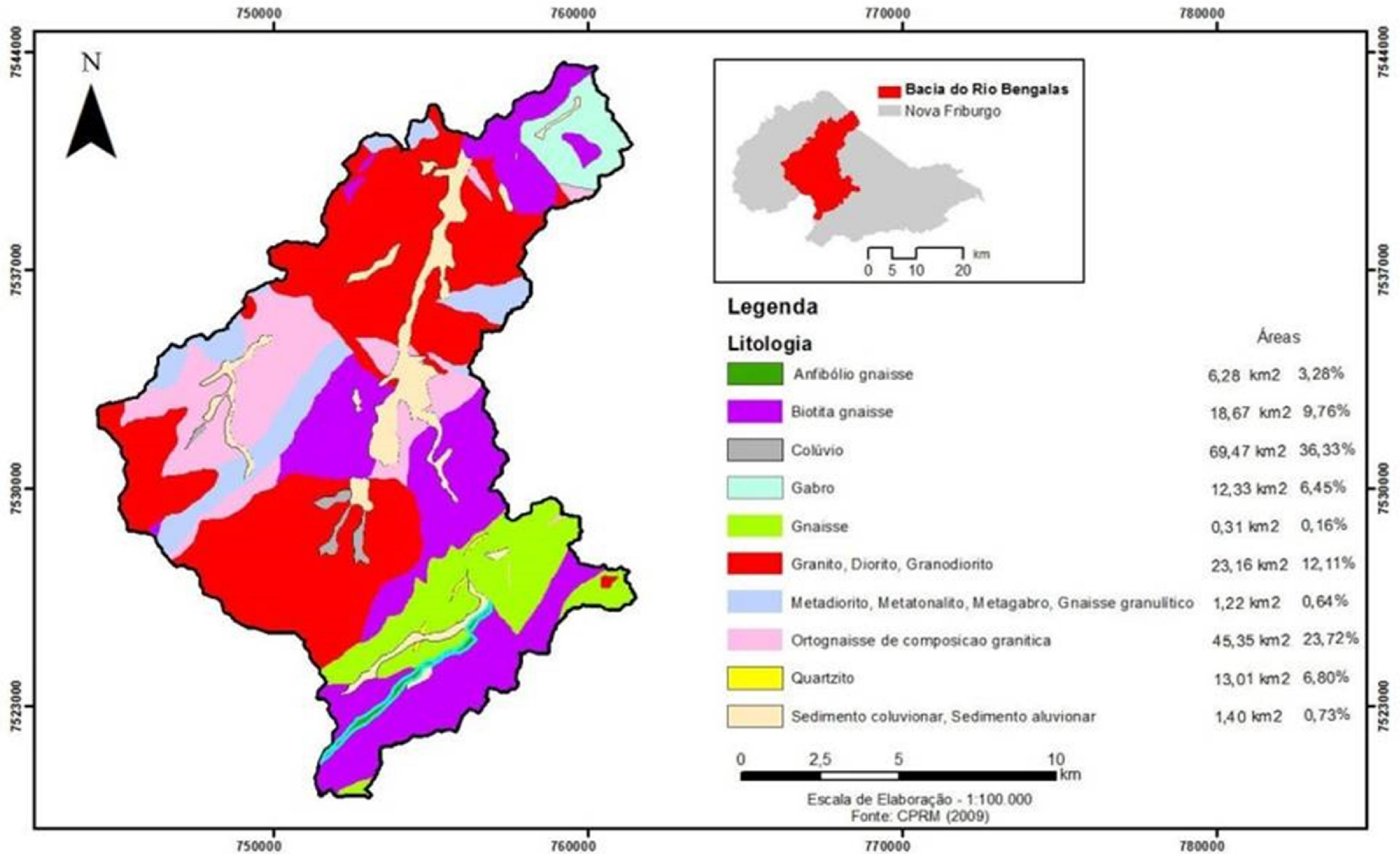


# Área de Estudo: Uso e Cobertura do Solo



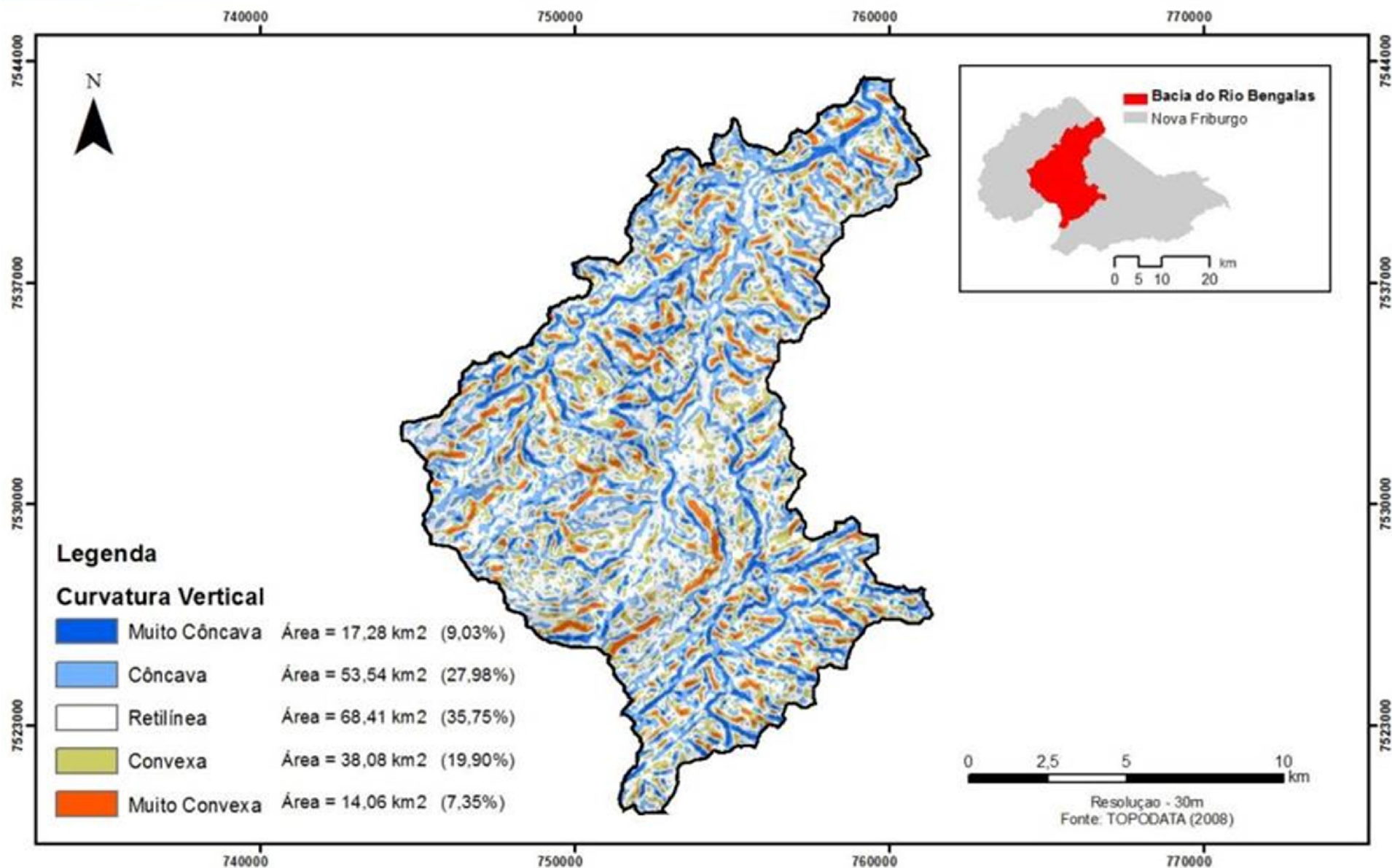
Fonte: Própria, dados provenientes do COMPERJ (2011).

# Área de Estudo: Litologia

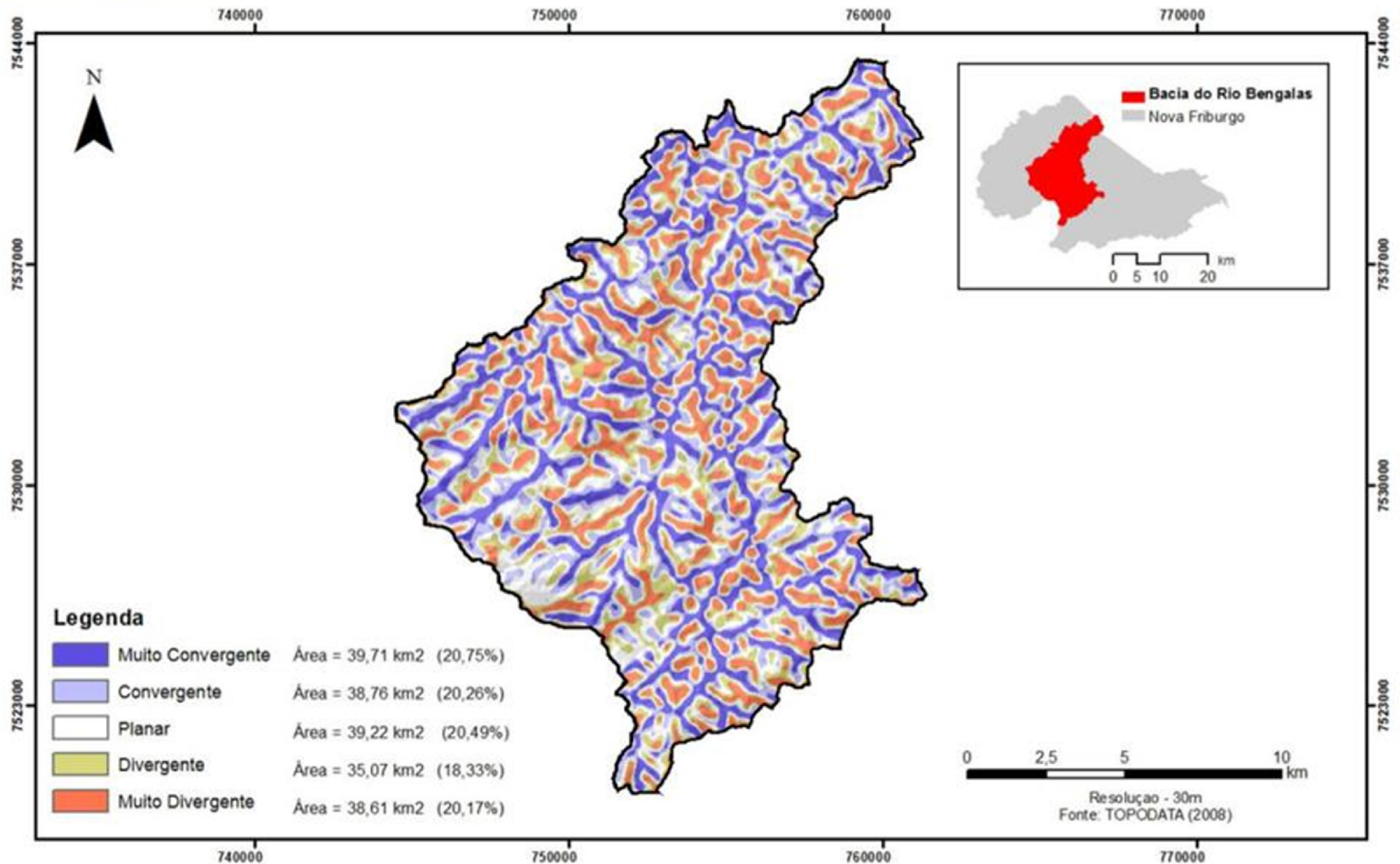




# Área de Estudo: Curvatura Vertical



# Área de Estudo: Curvatura Horizontal



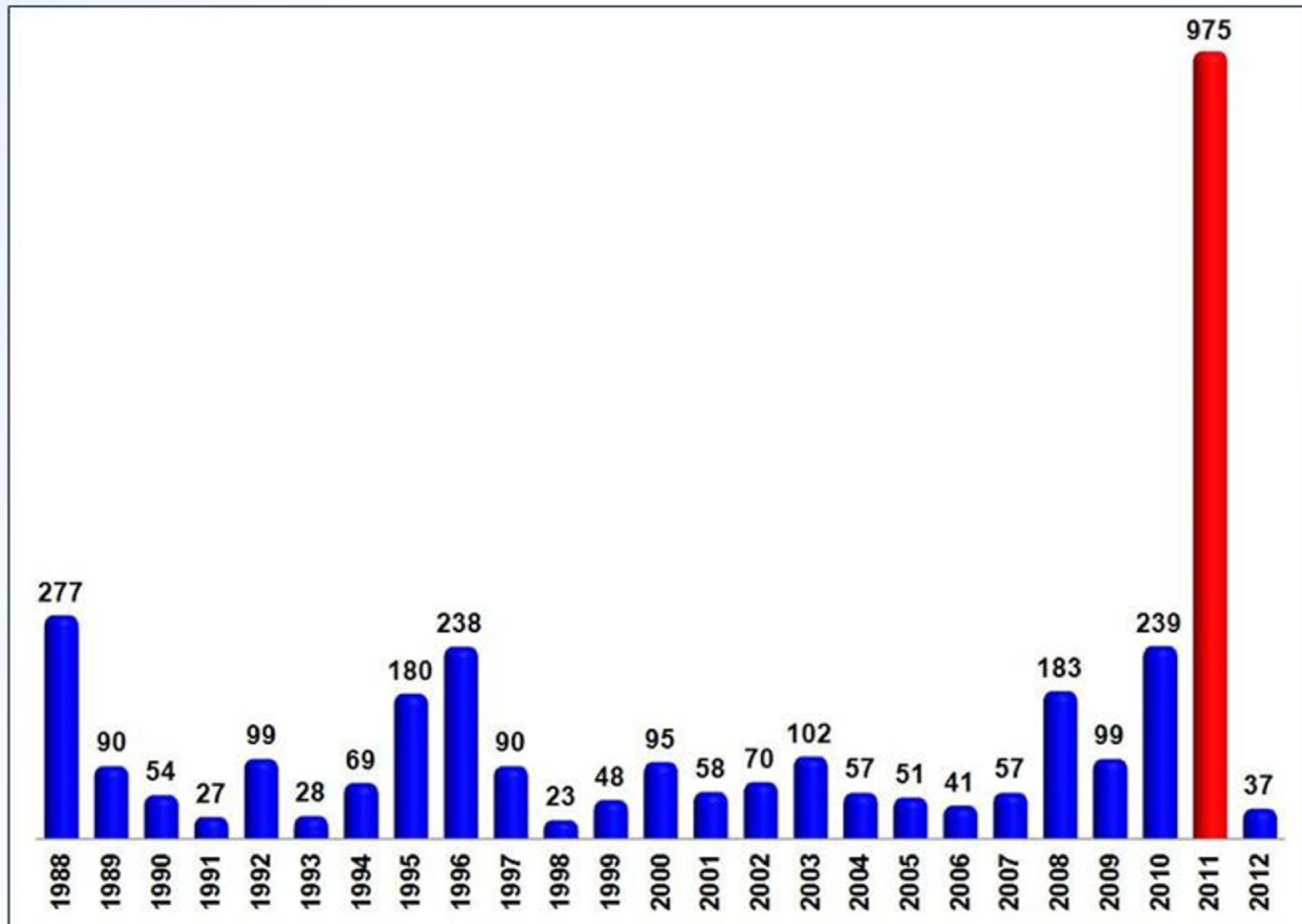




# *Justificativas*

# *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,**

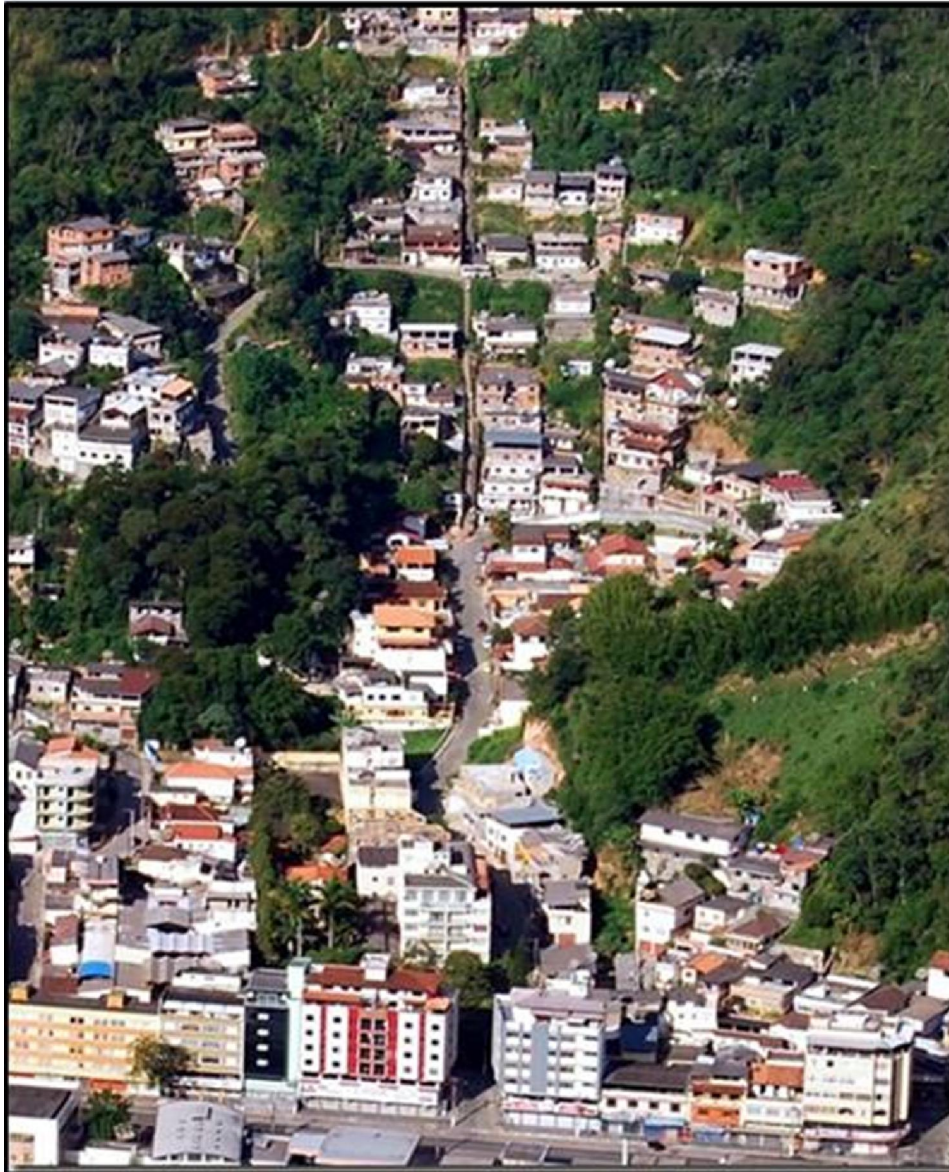
***com uma precipitação de chuva na ordem de***

- **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).**

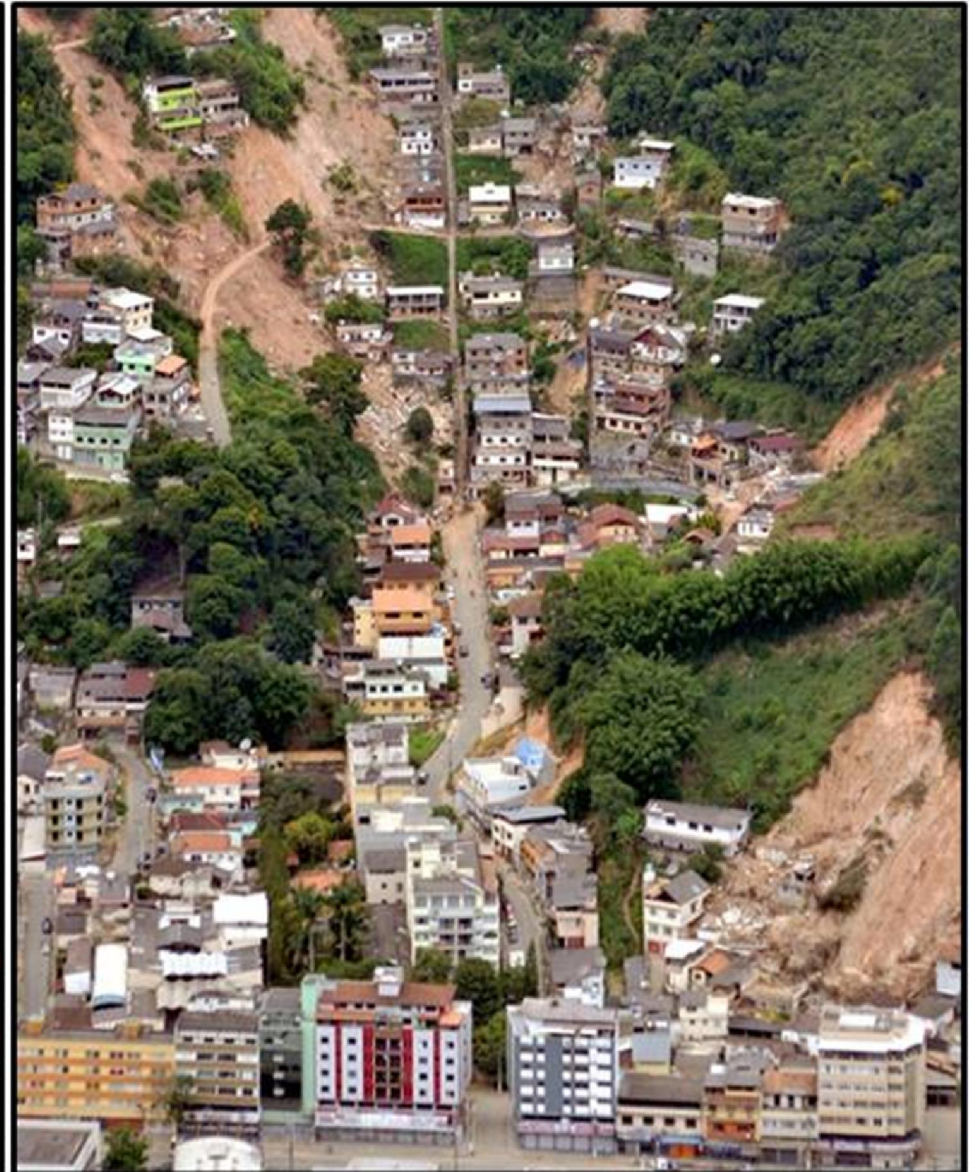
**Segundo as Normais Climatológicas as chuvas esperadas para o Município para o mês de janeiro é de 232,1 mm (INMET, 2009).**



***Antes do evento***



***Após o evento***





# *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)



# ***Modelagem desenvolvida para calcular a Suscetibilidade a Escorregamentos de Terra***

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

## ***Critérios de Observação e Análise Adotados***

***Declividade (ângulo do terreno)***

***Pedologia (solos)***

***Uso e cobertura do solo (superfície do terreno)***

***Litologia (descrição de rochas)***

***Curvatura vertical (formas do terreno)***

***Curvatura horizontal (formas do terreno)***



# Cálculo da Suscetibilidade

Termo 1  
Suscetibilidade

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

<b>NVA</b>	: Número de Variáveis (6)
<b>S</b>	: 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

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

<b>Classes da Suscetibilidade</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*

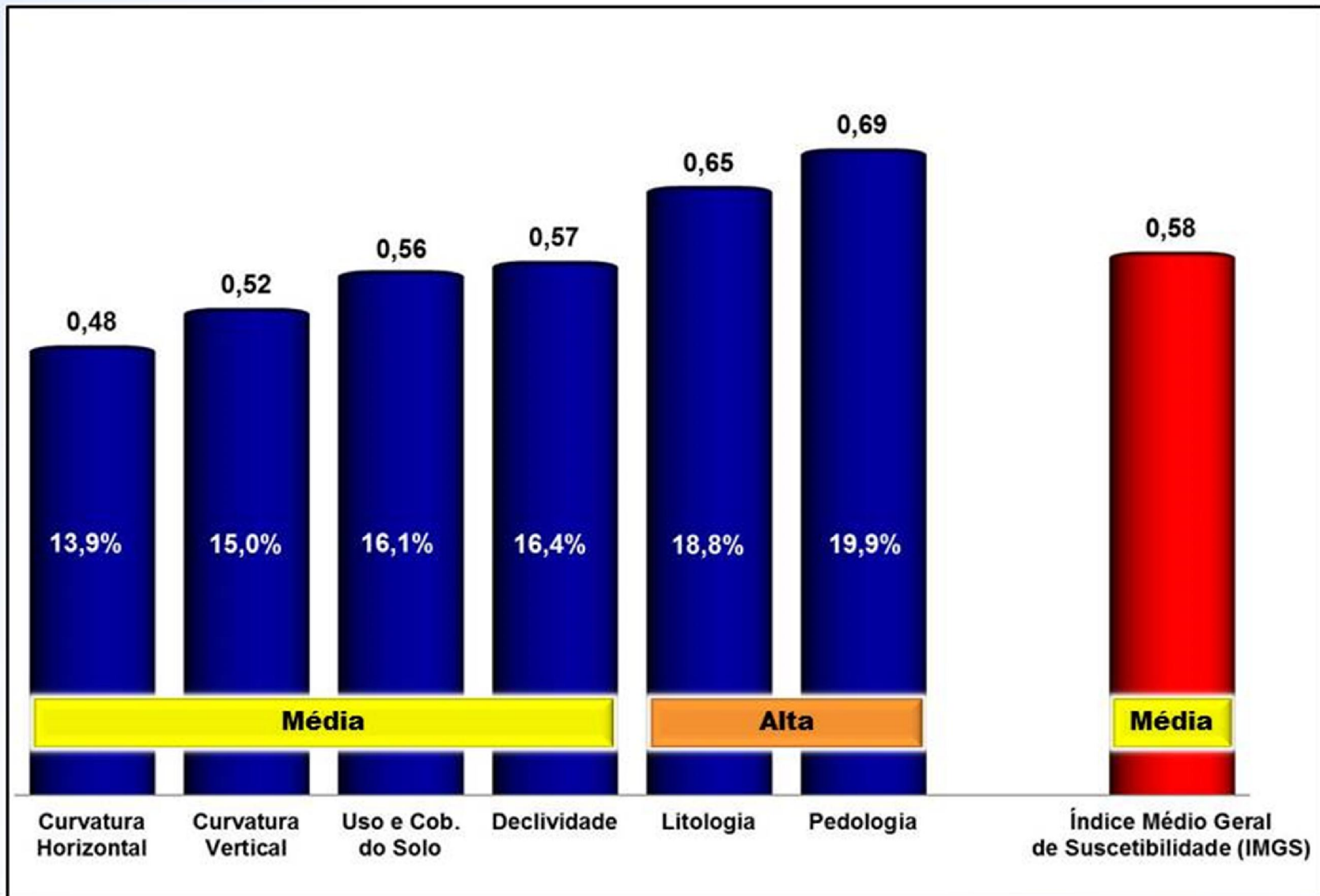


# SUSCETIBILIDADE

a escorregamentos de terra

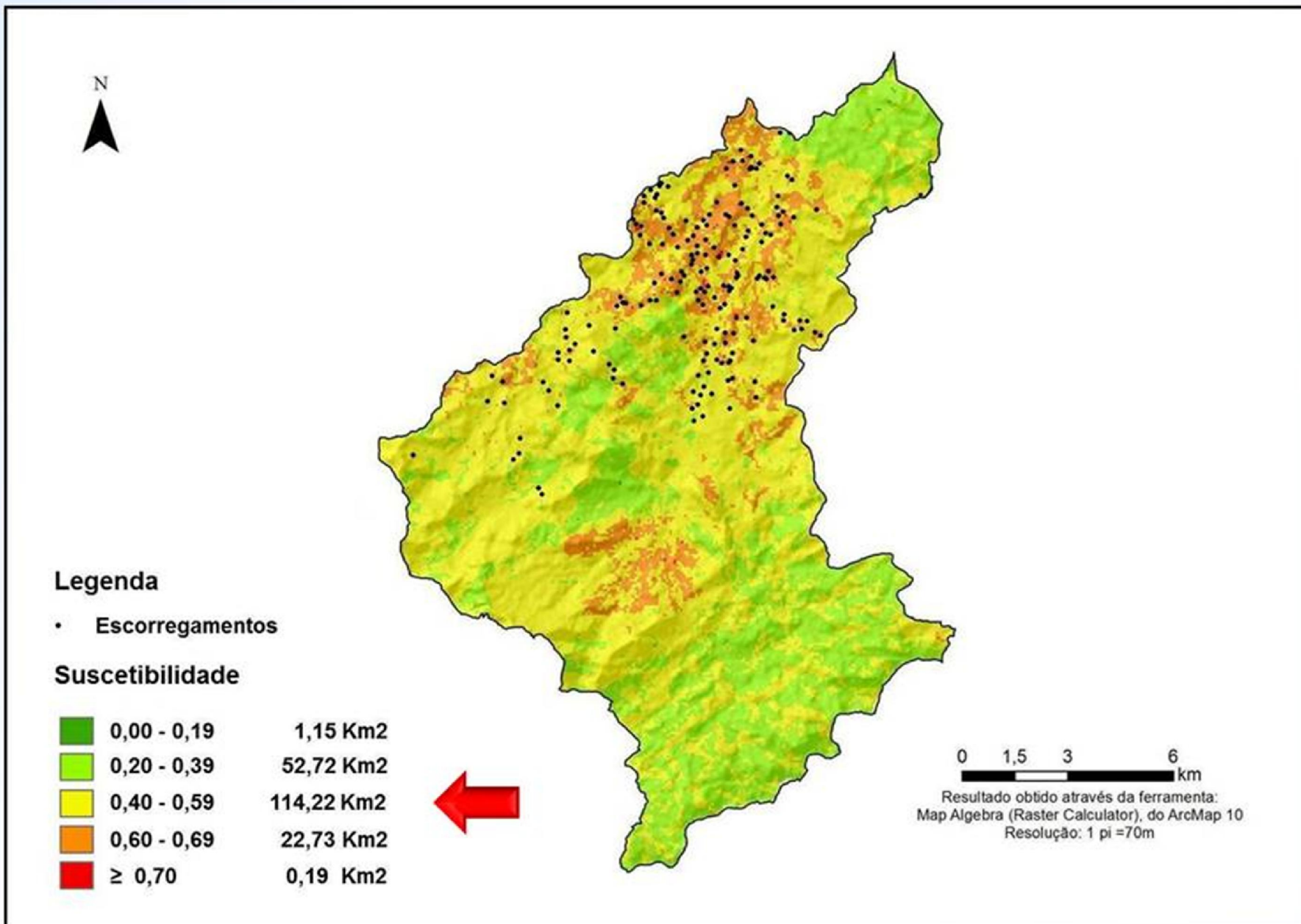
$$S = \left( \frac{\sqrt{V_{dc}} + \sqrt{V_{pd}} + \sqrt{V_{li}} + \sqrt{V_{us}} + \sqrt{V_{cv}} + \sqrt{V_{ch}}}{NVA} \right)$$

# IMSV & IMGS



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

# Mapa de Suscetibilidade







# ***Modelagem desenvolvida para calcular a Vulnerabilidade a Escorregamentos de Terra***

# **Cálculo da Vulnerabilidade a Escorregamentos de Terra**

**Termo 1  
Suscetibilidade**

**Termo 2  
Precipitação**

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

# **Cálculo da Vulnerabilidade a Escorregamentos de Terra**

**Termo 1**  
**Suscetibilidade**

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

<b>NVA</b>	: Número de Variáveis (6)
<b>S</b>	: 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



**Termo 2  
Precipitação**

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

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

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

**PA5** : Precipitação Acumulada de 5 dias

**PD** : Precipitação Diária

**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 vulnerabilidade***

<b>Classes da 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

# 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 19/01/2005
		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	

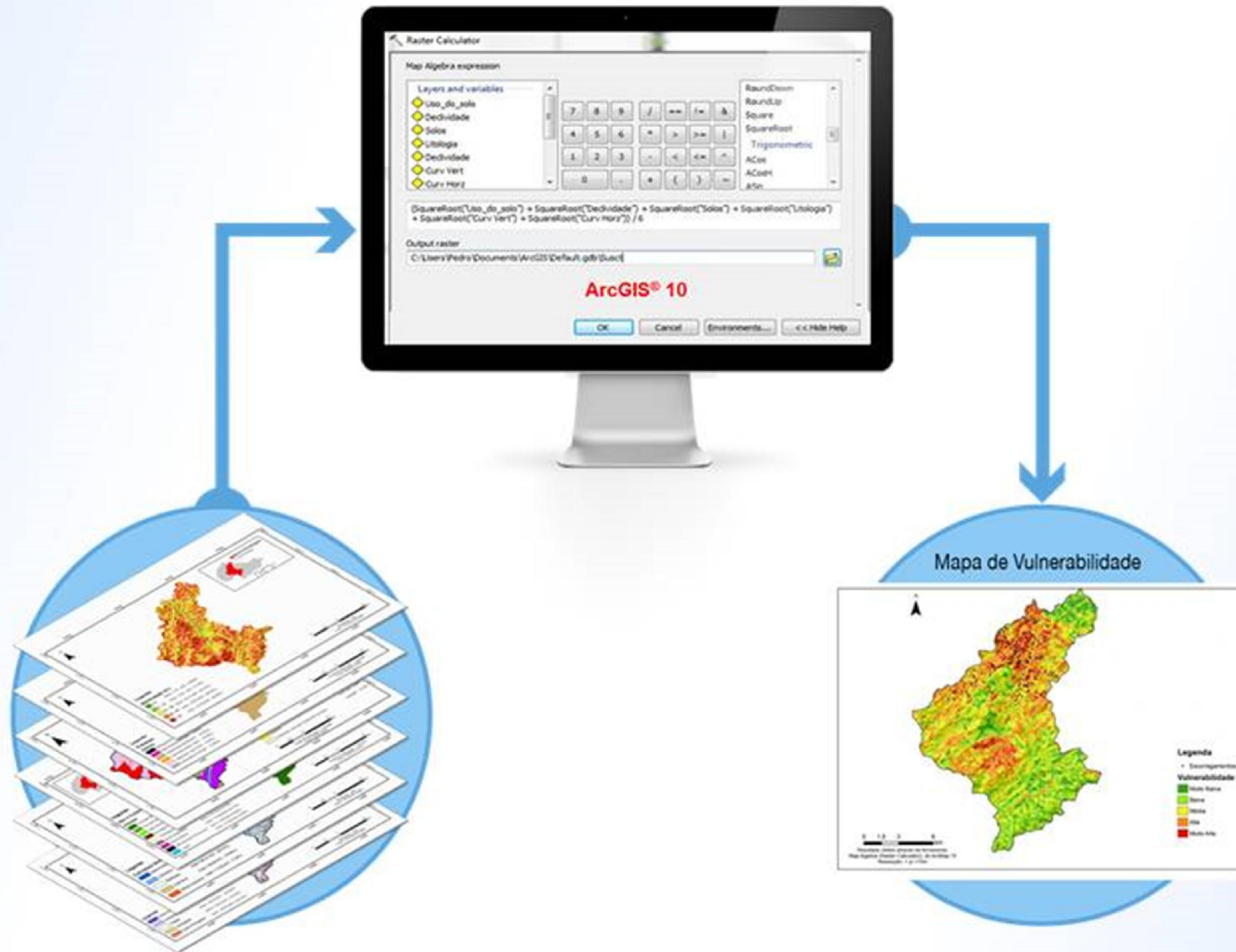
04/01/2007	Nº de Escorregamentos	Cinco (5) dias que antecedem o dia do evento					Dia do Evento 04/01/2007
		5º dia	4º dia	3º dia	2º dia	1º dia	
		30/12/2006	31/12/2006	01/01/2007	02/01/2007	03/01/2007	
350	0,39	0,39	0,39	0,49	0,79	0,79	

12/01/2011	Nº de Escorregamentos	Cinco (5) dias que antecedem o dia do evento					Dia do Evento 12/01/2011
		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 18/03/2013
		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	



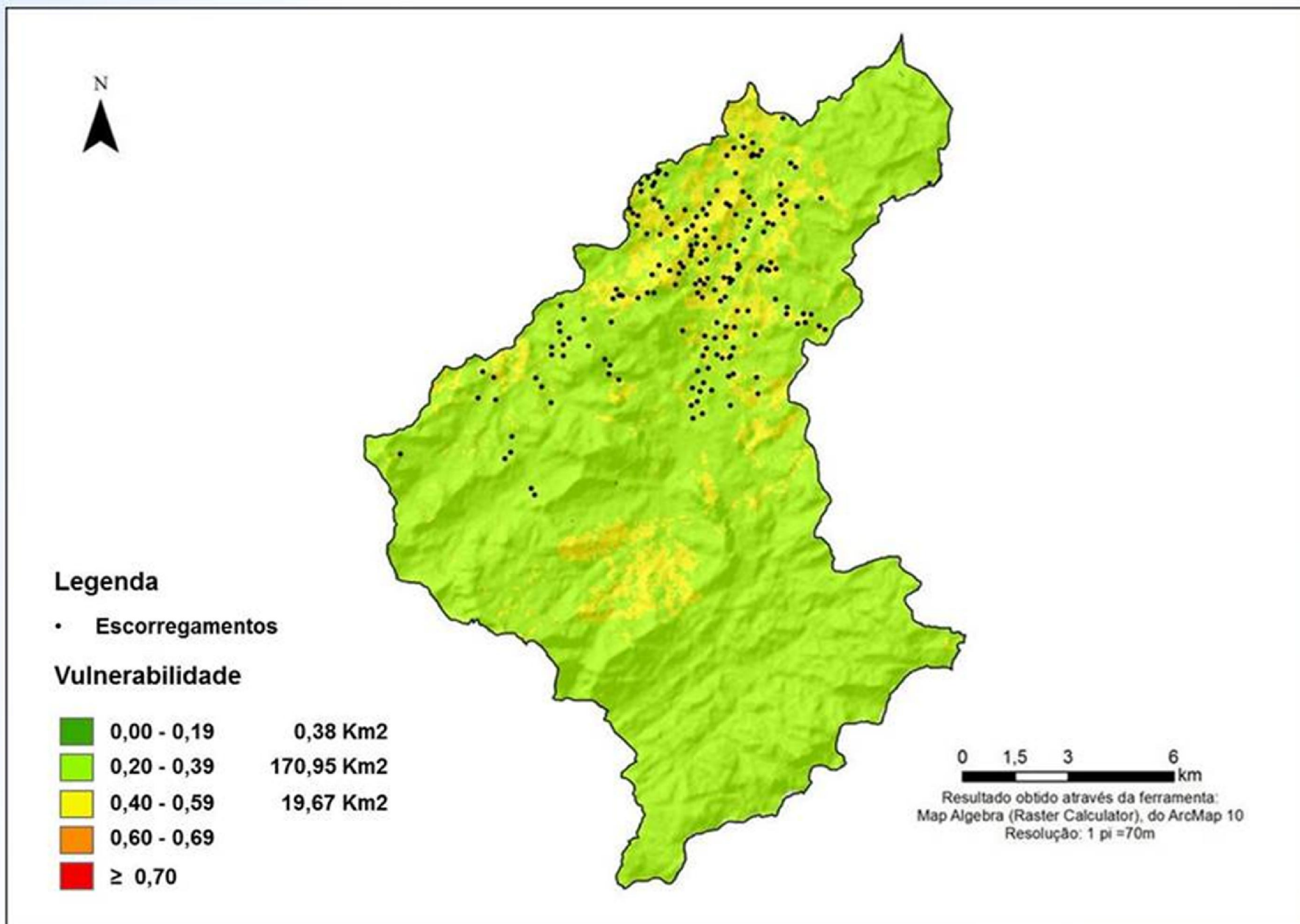
# Os mapas de vulnerabilidade foram gerados por meio...



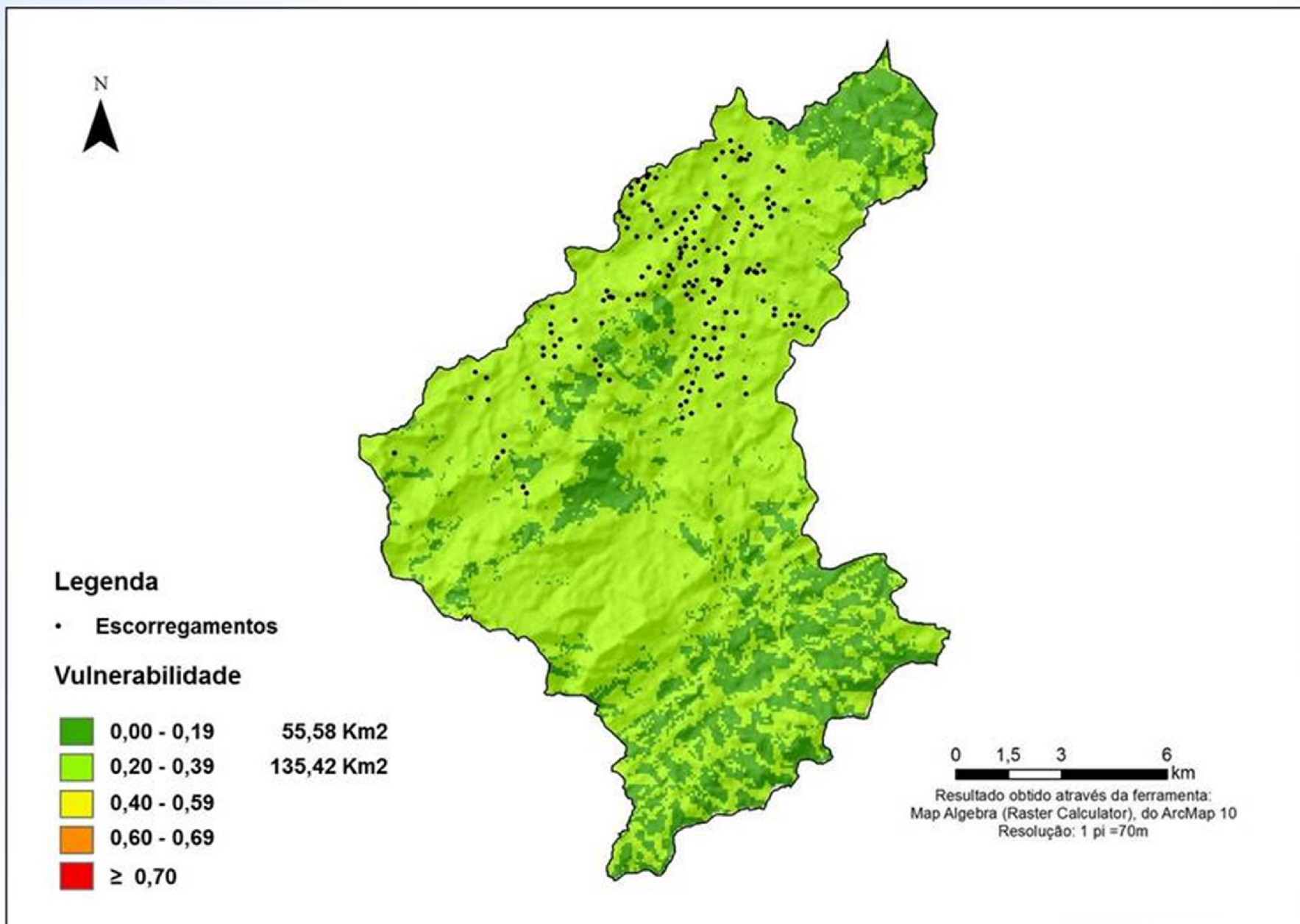


# Vulnerabilidade para os dias 07, 08 e 09/01/2011

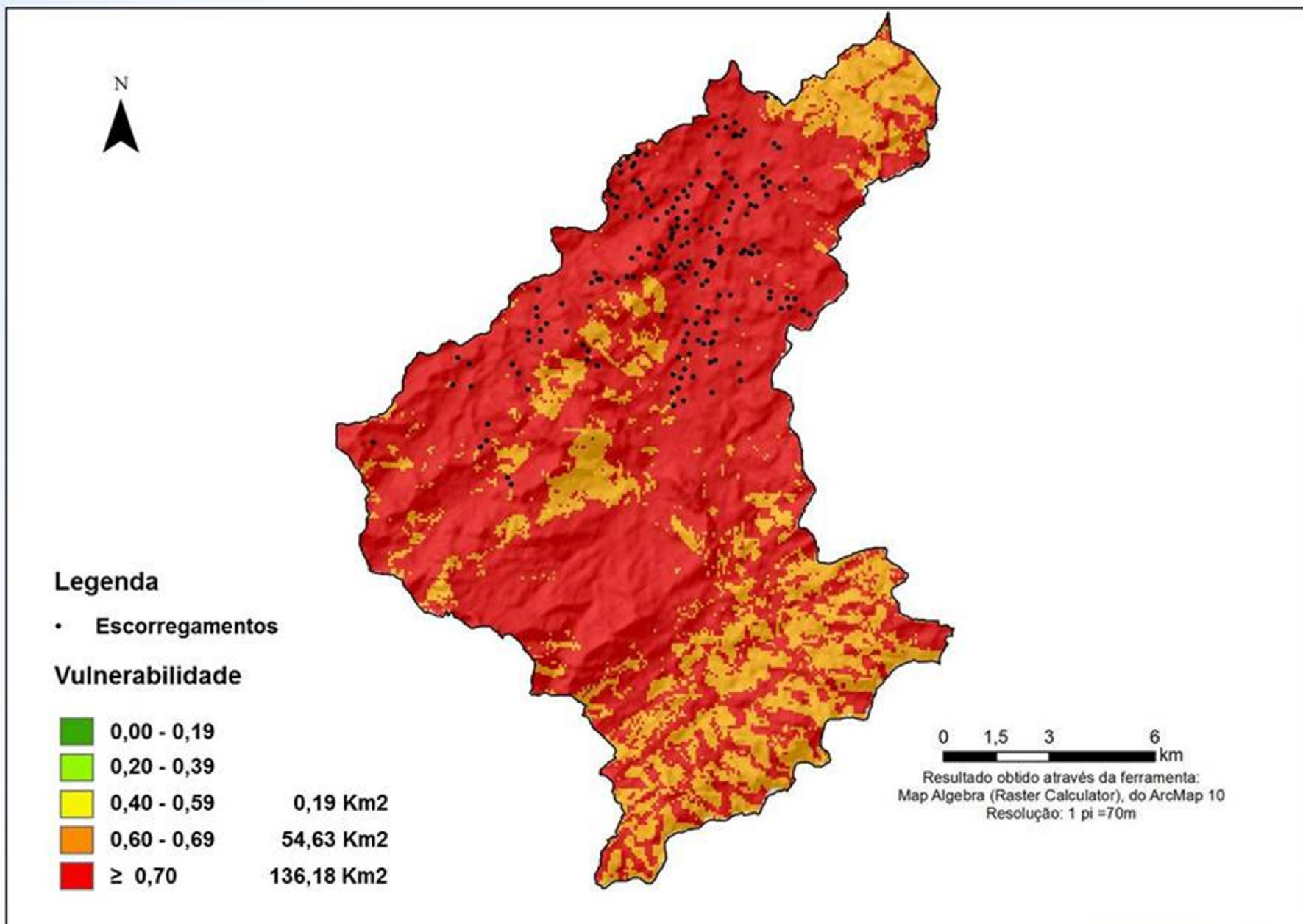
(respectivamente o 5º, 4º e 3º dia antes do dia do evento)



# Vulnerabilidade para o dia 10/01/2011 (2º dia antes do dia do evento)



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



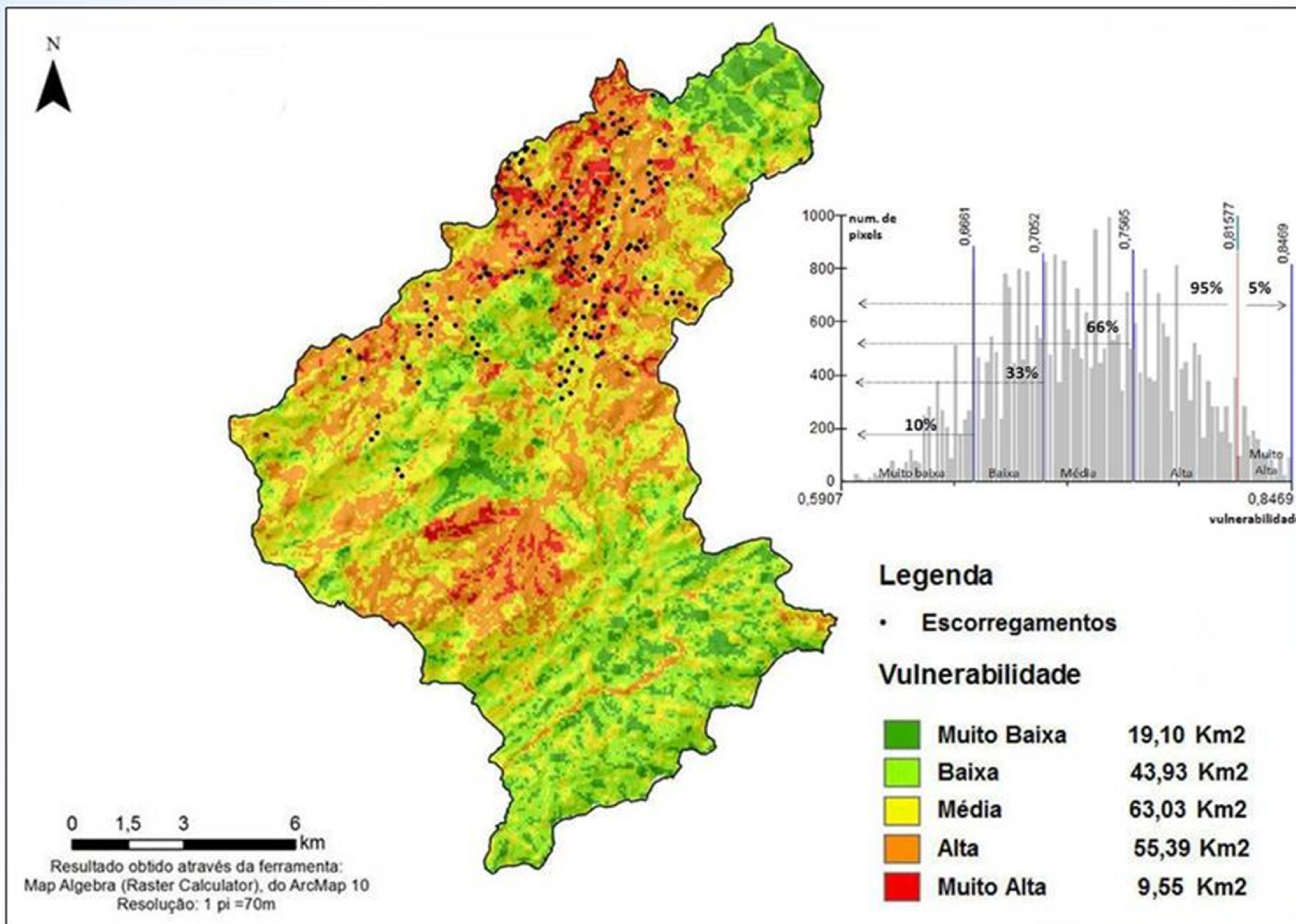


- ✓ A primeira impressão é de que praticamente toda a área de estudo apresenta a mesma característica, **porém a técnica de álgebra de mapas aplicada permite outras formas de categorização das áreas mais críticas da Bacia.**
- ✓ Na literatura existem diversos estudos validados que indicam que a classe 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 )





**Ausência de pixels na cor vermelha (classe muito alta) próximos a pontos de escorregamentos no mapa de vulnerabilidade para os dias 11 e 12/01/2011 (1º dia antes do dia do evento e para o dia do evento )**

- ✓ **Cada pixel tem uma resolução de 70 metros (resolução muito baixa para uma Bacia de 191 km<sup>2</sup>);**
- ✓ **É praticamente impossível de ser visualizado em uma figura(mapa) com 2.729 pixels (total de pixels do mapa de vulnerabilidade da Bacia); e**
- ✓ **Tal questão também foi muito discutida com meus orientadores de Portugal e do Brasil, mas infelizmente inovações relacionadas ao assunto andam a passos lentos.**

# *Comparando os Índices de Vulnerabilidade*

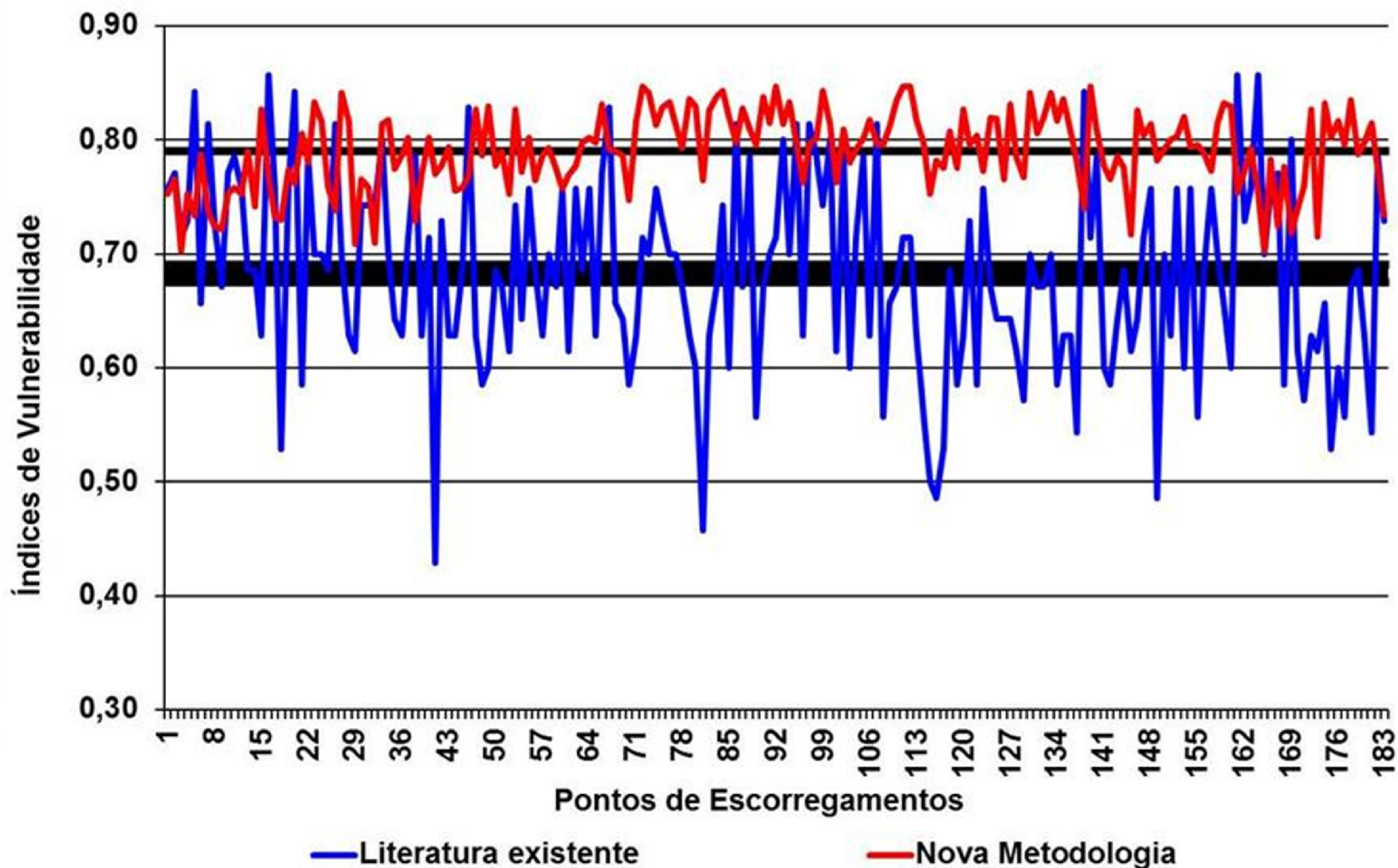
*Metodologia  
existente  
na Literatura*

**X**

*Metodologia  
proposta  
neste Trabalho*



## Comparando os Índices de Vulnerabilidade X Metodologias

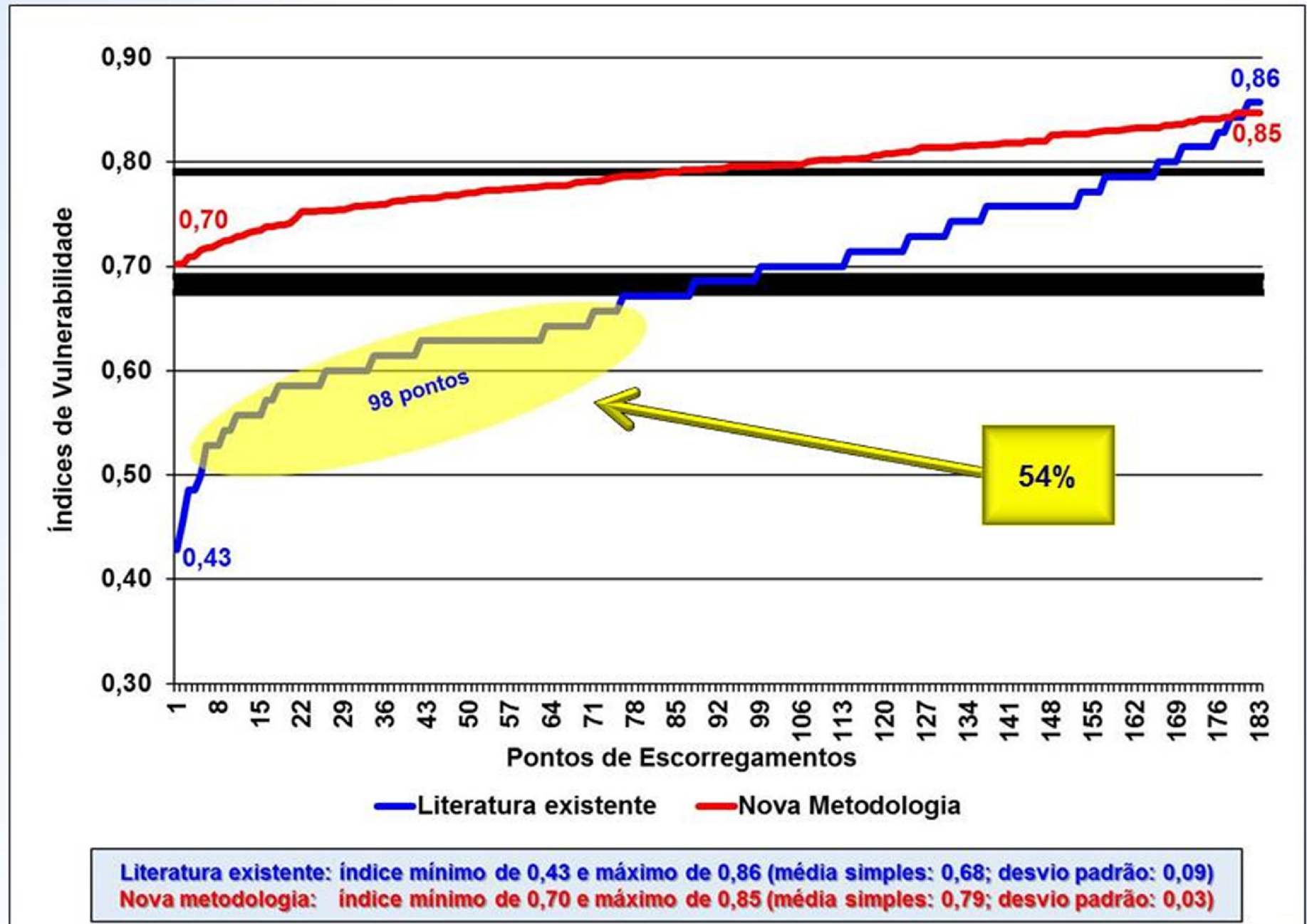


Literatura existente: índice mínimo de 0,43 e máximo de 0,86 (média simples: 0,68; desvio padrão: 0,09)

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



*Conclusões*

# Conclusões

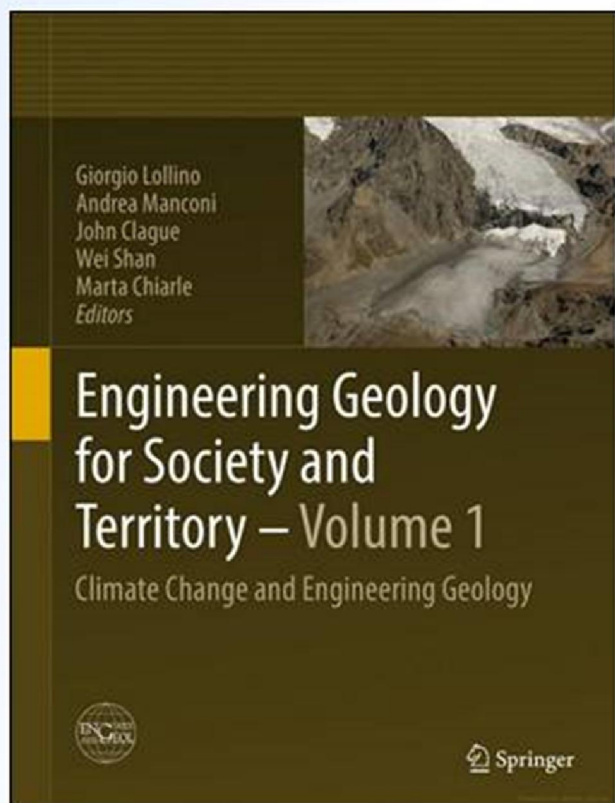
- A metodologia proposta foi eficiente para os 4 eventos de alta precipitação ocorridos na área de estudo, 2 com e 2 sem escorregamentos.
- Se mostrou eficaz, pois foi capaz de registrar todos os 183 escorregamentos, enquanto que a metodologia existente da literatura deixou de apontar 98 (54%) destes 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); e**
  - **Gestores públicos e profissionais envolvidos no parcelamento, uso e ocupação do solo.**

# Tese de Doutorado com Artigo publicado em livro



Springer Link

Search

Home • Contact Us

Look Inside Get Access

Chapter  
Engineering Geology for Society and Territory - Volume 1  
pp 535-548  
Date: 24 August 2014

**Susceptibility and Vulnerability to Landslides—Case Study: Basin of River Bengalas—City of Nova Friburgo—Brazil**

L. T. Silva, E. P. F. M. Sampaio, J. A. M. Corte-Real, D. A. Rodriguez, F. Carneide Medeiros, B. E. Moraes, D. G. M. Franca

Buy chapter \$29.95 / €24.95 / £19.95 \*  
Buy eBook \$279.00 / €208.24 / £179.50\*

Get Access \* Final gross prices may vary according to local VAT

DOI 10.1007/978-3-319-09300-0\_101

**Abstract**

Landslides have frequently occurred in last years, due to the disorderly growth of the cities and the occupation of risk areas by the poor population, causing social, environmental and economic impacts. Urban areas in expansion move to geologically unstable areas and topographically inclined, such as the River Bengalas Basin, located in the city of Nova Friburgo, mountainous region of the State of Rio de Janeiro, Brazil. This article aims to present the model developed and used to evaluate the susceptibility and vulnerability of the River Bengalas Basin to landslides, which in January 2011, with the occurrence of heavy rains, caused landslides that impacted in the death of 429 people in city of Nova Friburgo. For the case study, several investigations have been made related to the areas of the basin, such as slope, soil conditions, lithology, land use and cover, vertical curvature (Very Convex, Convex, Flat, Concave, Very Concave), horizontal curvature (Very Divergent, Divergent, Flat, Convergent, Very Convergent), and precipitation data. With this study it was possible to understand how the natural and anthropic elements of the basin are related to the local dynamics of the disasters regarding to their interferences in the induction of landslides; evaluate the effectiveness of the guidelines of the Plano Diretor Participativo of the city of Nova Friburgo regarding the landslides; identify the susceptible and vulnerable areas to landslides and assess the rates of susceptibility and vulnerability to landslides from new calculation model proposed.

Chapter Metrics  
Downloads 29  
Provided by Bookmetric

Reference tools  
Export citation  
Add to Papers LT

Other actions  
About this Book LT  
Reprints and Permissions LT

Share  
f t in



# 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. 68, n. 9 (2016) > Silva

### **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 André Rodrigues, José Márcio da Silva Brito, José Edmar de Siqueira Junior, Eiza Paula Figueira Ferreira Morgado de Sampaio, João Alexandre Medina Correia-Real, Pedro Ivo Mioni 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. Este 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>



**Nossos sinceros agradecimentos  
à Direção, Professores, Funcionários e Alunos  
da ETEC - Cruzeiro!**

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

***CCST/INPE***

***Tel: (12) 3186-9372***

***[luiz.tadeu@inpe.br](mailto:luiz.tadeu@inpe.br)***