



**Escola de Engenharia de Lorena - EEL
Universidade de São Paulo - USP
Lorena - SP**

Suscetibilidade e vulnerabilidade a escorregamento de terras

***Luiz Tadeu da Silva
José Felipe da Silva Farias
Débora Luisa Silva Teixeira
Leon Balloni Gomes
Luan Moreira Grilo
Irving Rodrigues de Souza
Marcelo Barbio Rosa
Thaís dos Santos Moraes
Elsa Paula Figueira Ferreira Morgado de Sampaio***

08/04/2019







Suscetibilidade e vulnerabilidade a escorregamento de terras

***Prof. Dr. Luiz Tadeu da Silva
CCST / INPE***

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 calcular a suscetibilidade e a vulnerabilidade a escorregamentos de terra, utilizando dados ambientais e de precipitação de chuvas.

Área de Estudo

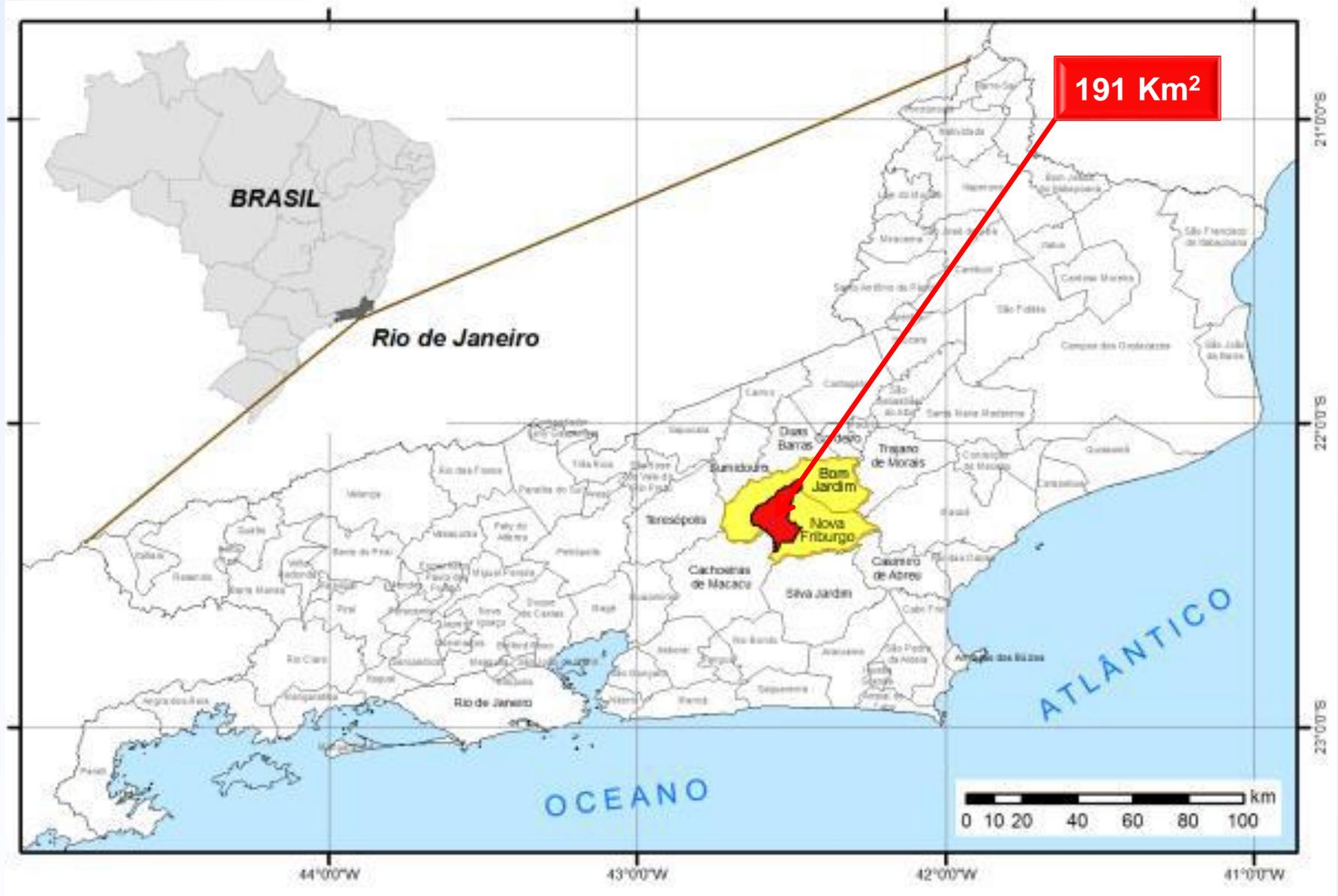
Bacia do Rio Bengalas

Município de Nova Friburgo

Região Serrana do Estado do RJ

Brasil

Área de Estudo

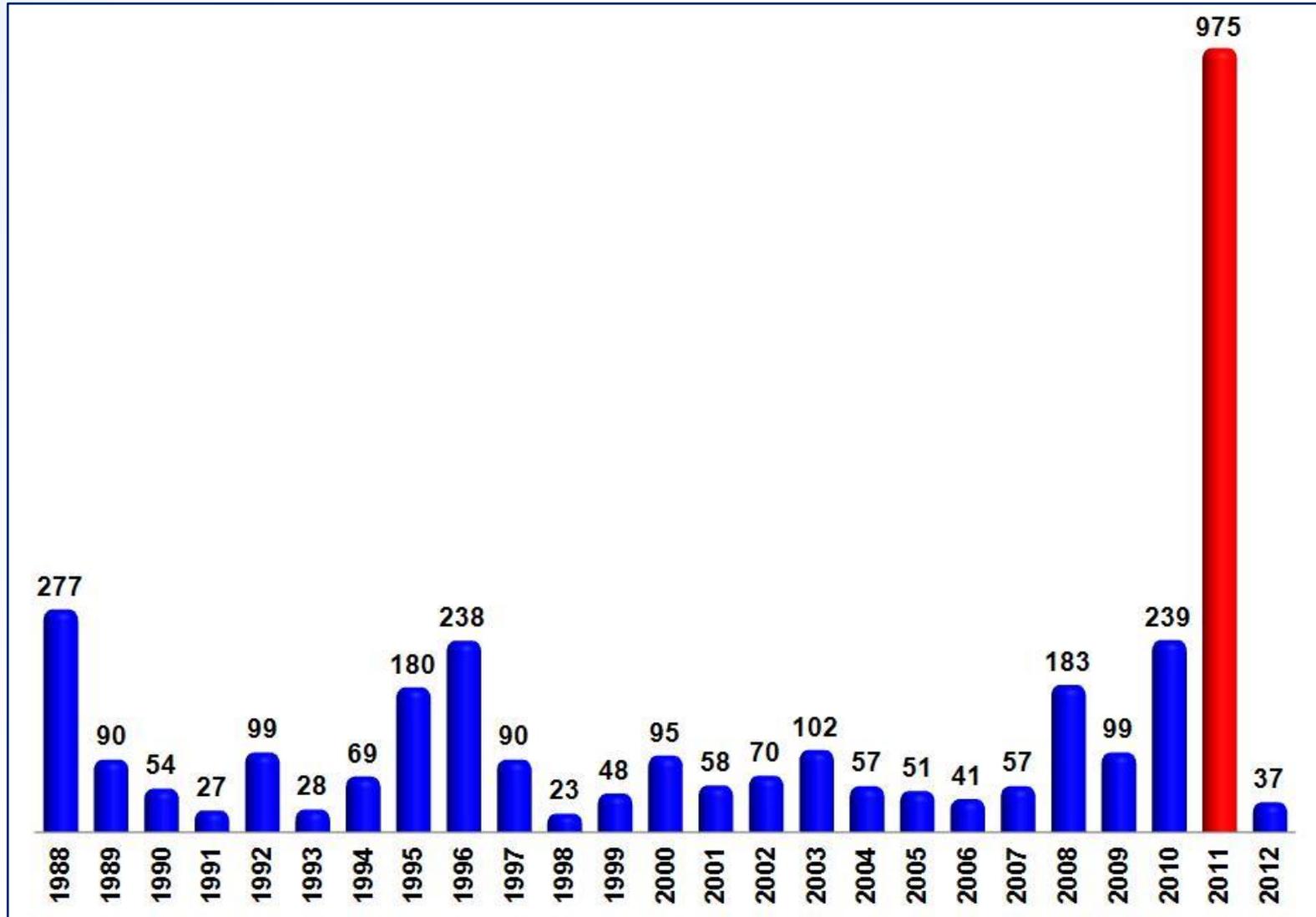


Fonte: IBGE (2011b), adaptada pelo Autor.

Justificativas

Justificativas

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



Fonte: IPT (2017). Dados compilados e organizados pelos Autores.

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**
 - **84,98 mm: Acumulada 5 dias (07 a 11/janeiro)**
 - **219,94 mm: Acumulada 5 dias (08 a 12/janeiro).**
- Σ 219,76 mm**

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 na área de estudo

Critérios de Observação e Análise Adotados

Declividade (ângulo do terreno)

Pedologia (tipos de solos)

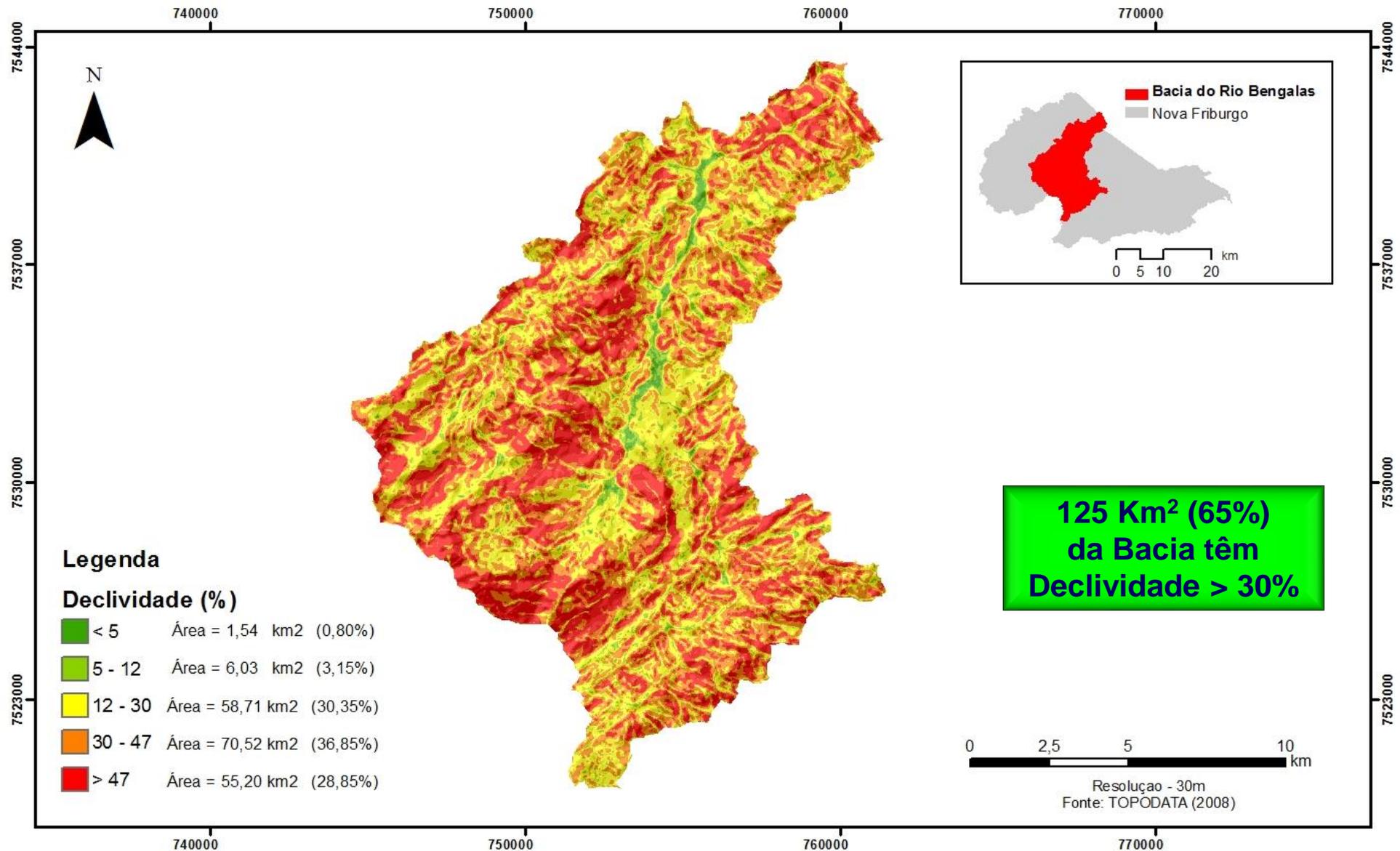
Uso e cobertura do solo (superfície do terreno)

Litologia (descrição de rochas)

Curvatura vertical (formas do terreno)

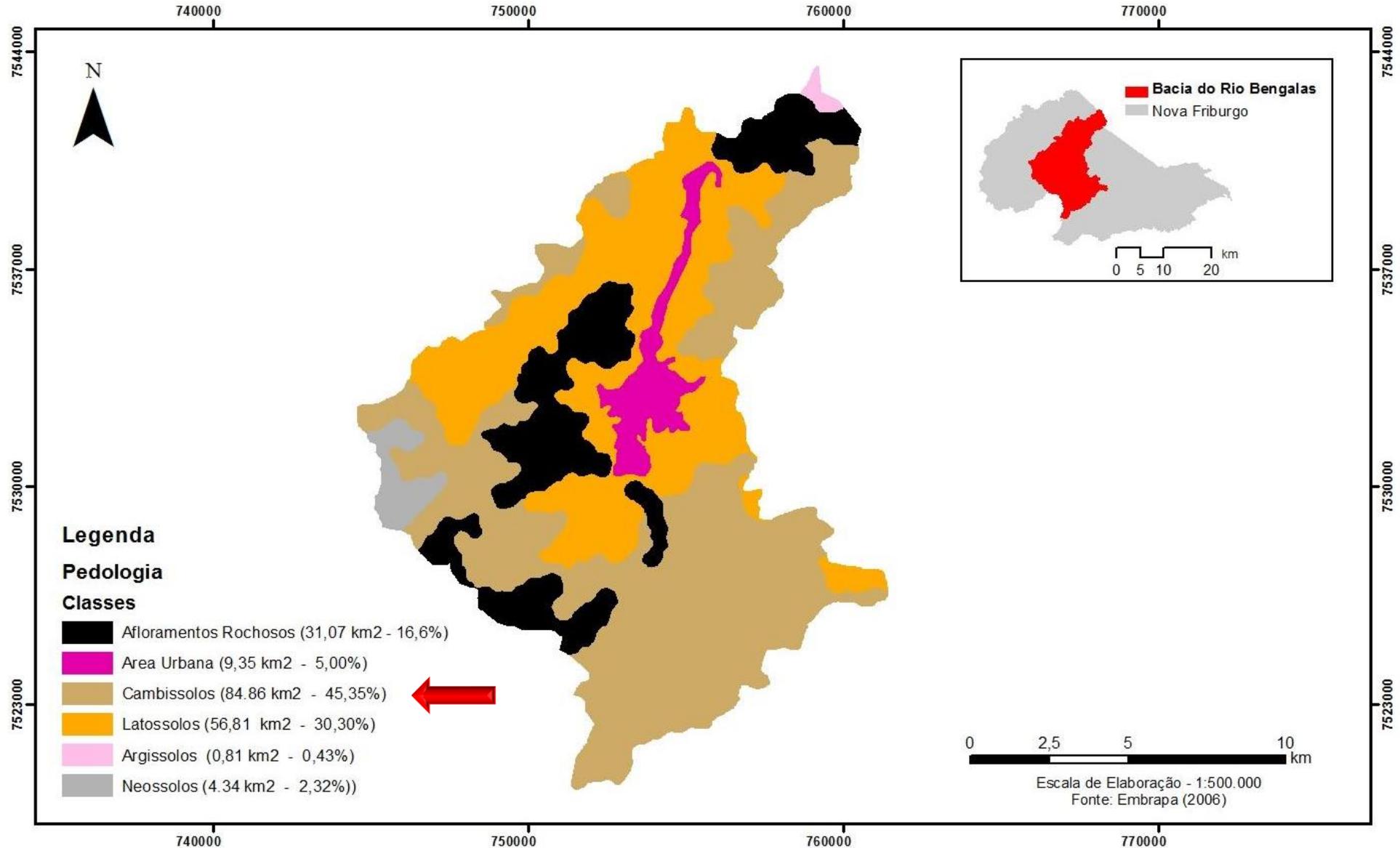
Curvatura horizontal (formas do terreno)

Área de Estudo: Declividade



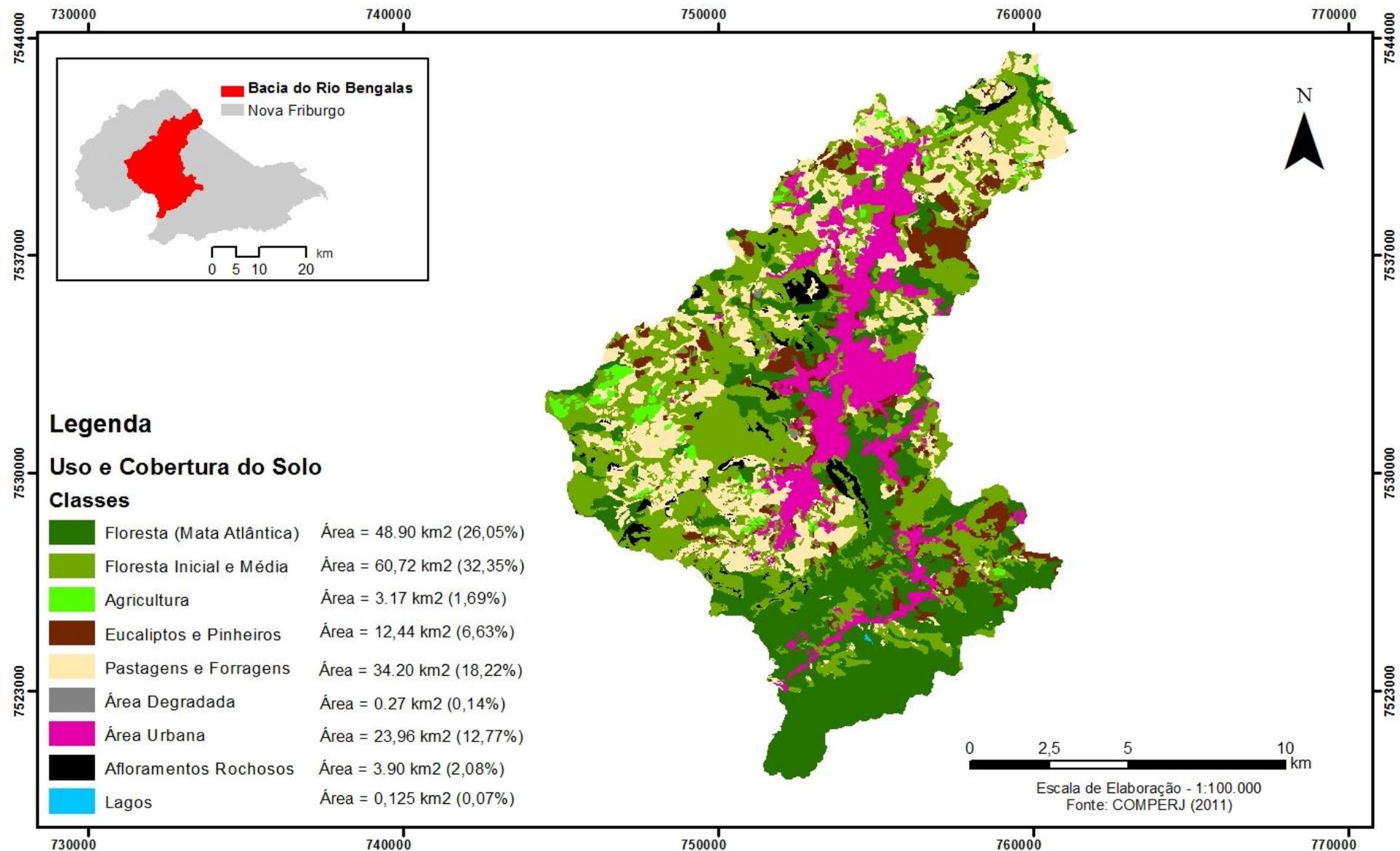
Fonte: Própria, dados provenientes do TOPODATA (2008).

Área de Estudo: Pedologia



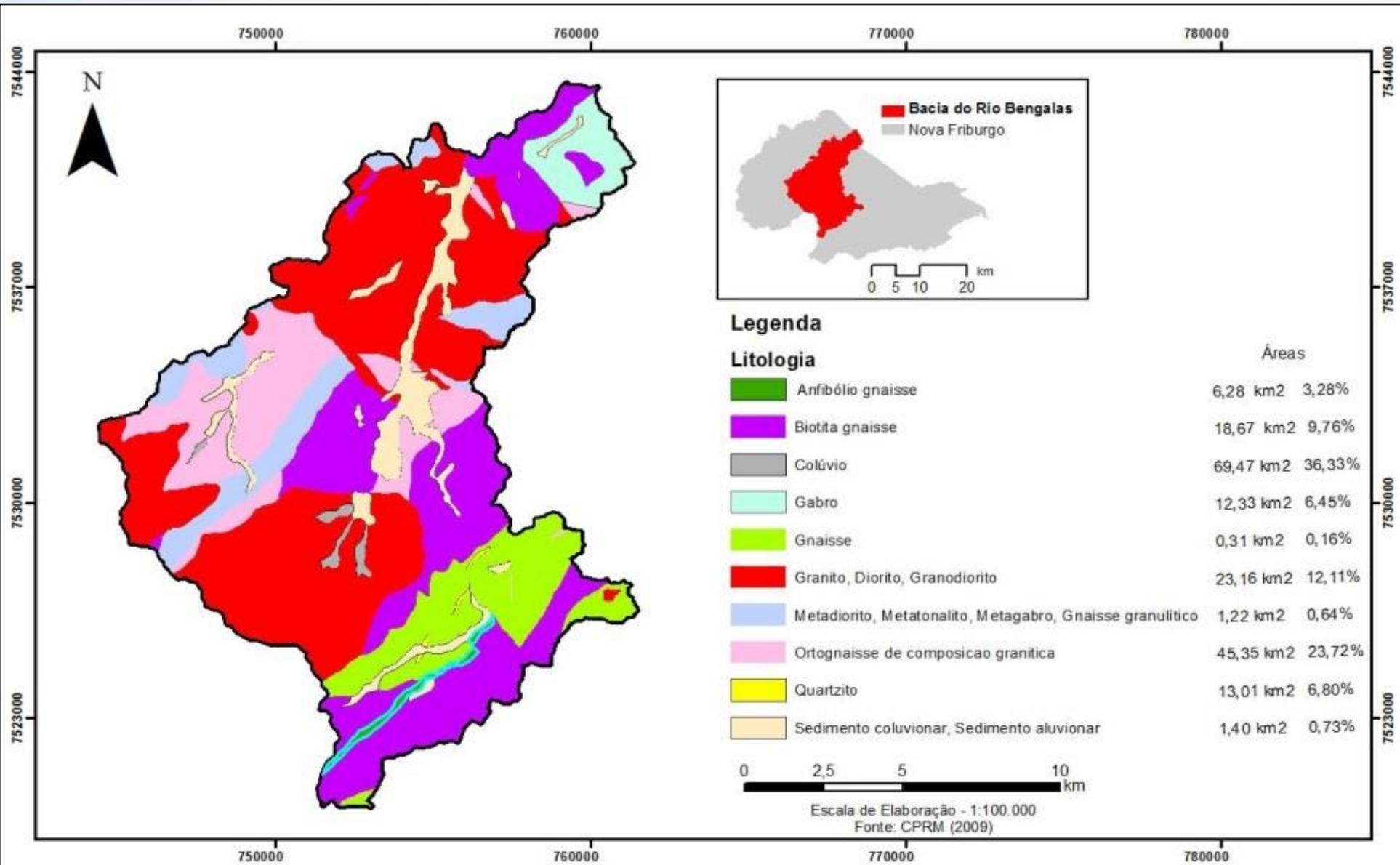
Fonte: Própria, dados provenientes da EMBRAPA (2006).

Área de Estudo: Uso e Cobertura do Solo

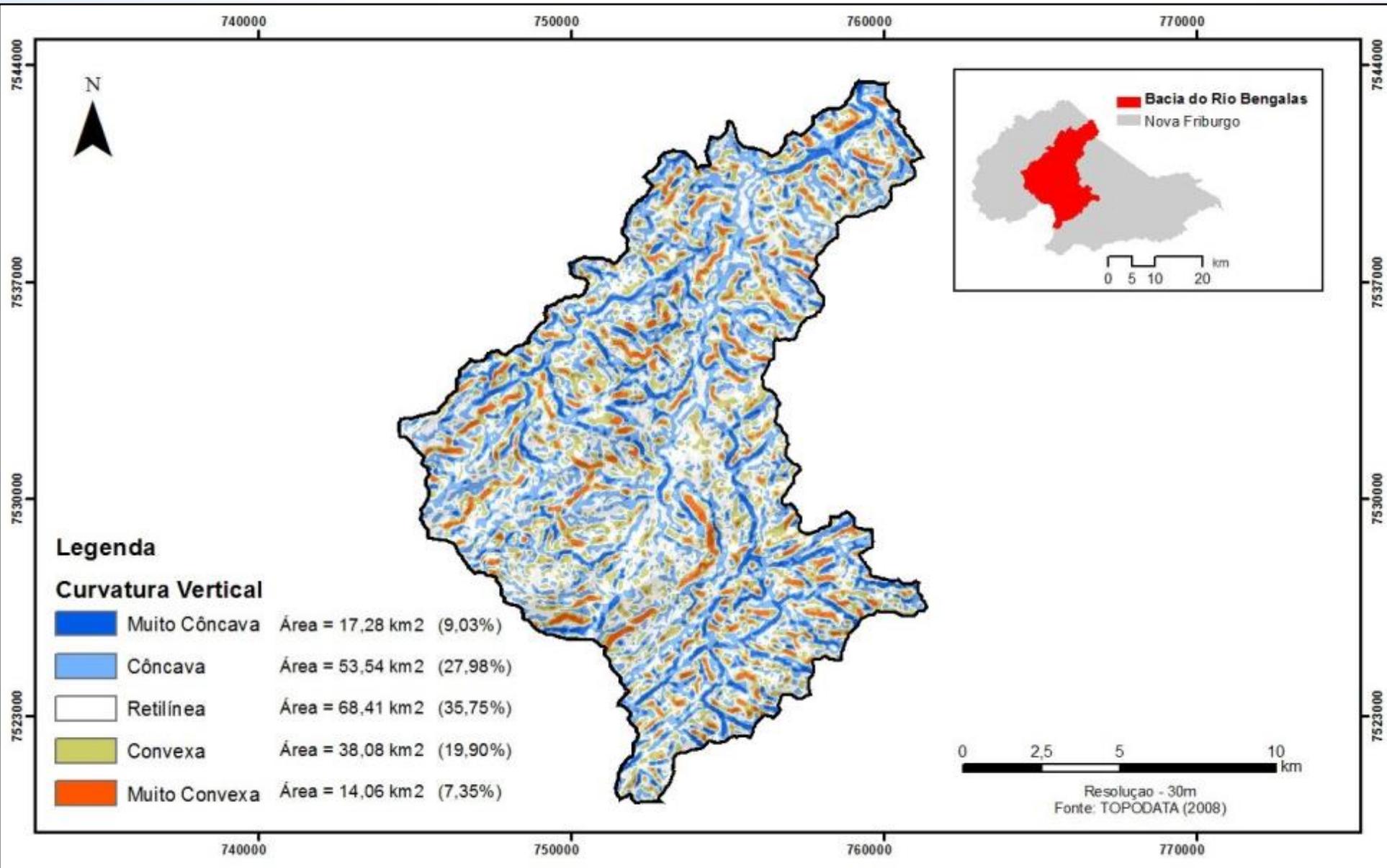


Fonte: Própria, dados provenientes do COMPERJ (2011).

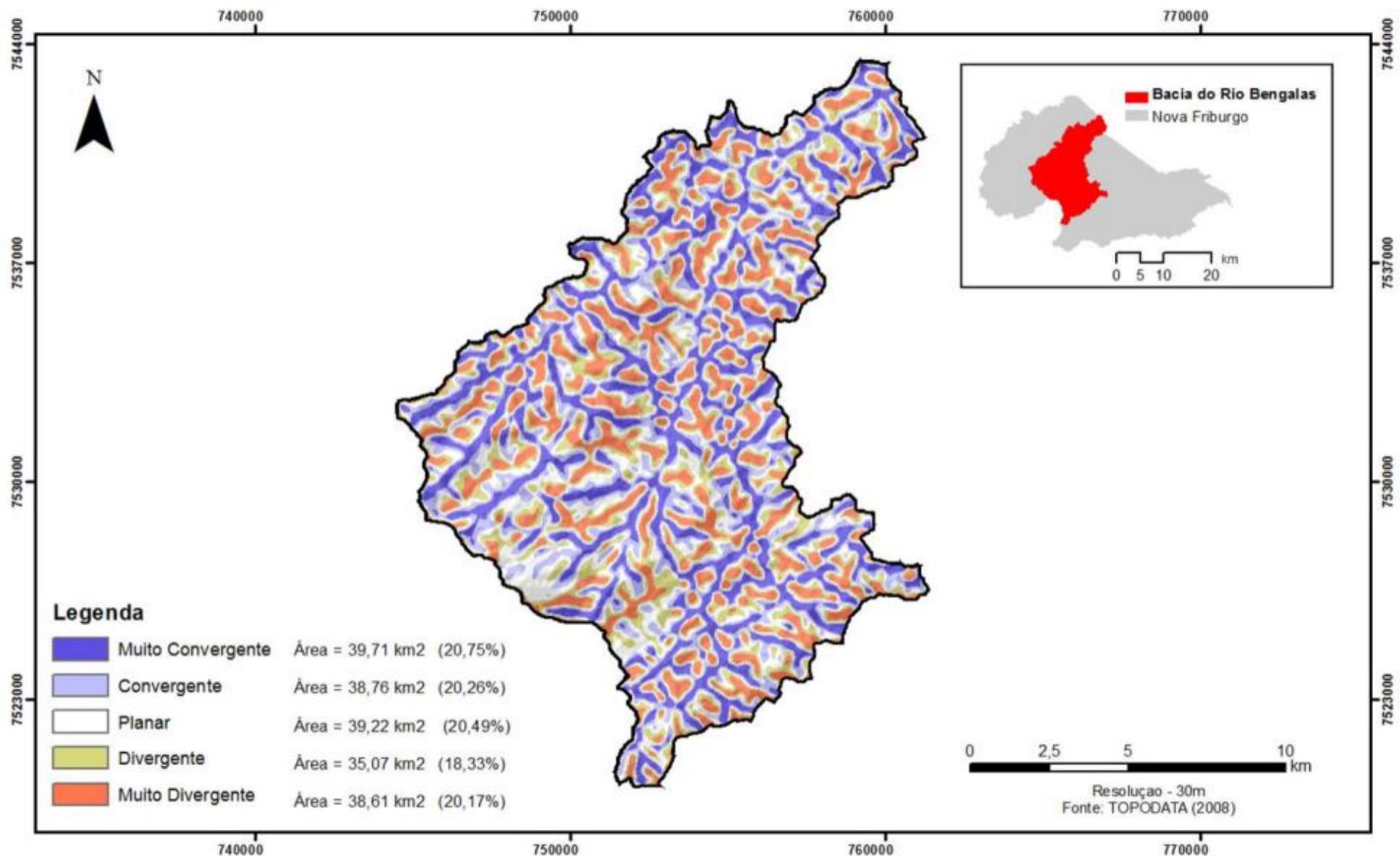
Área de Estudo: Litologia



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

***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**

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

**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:

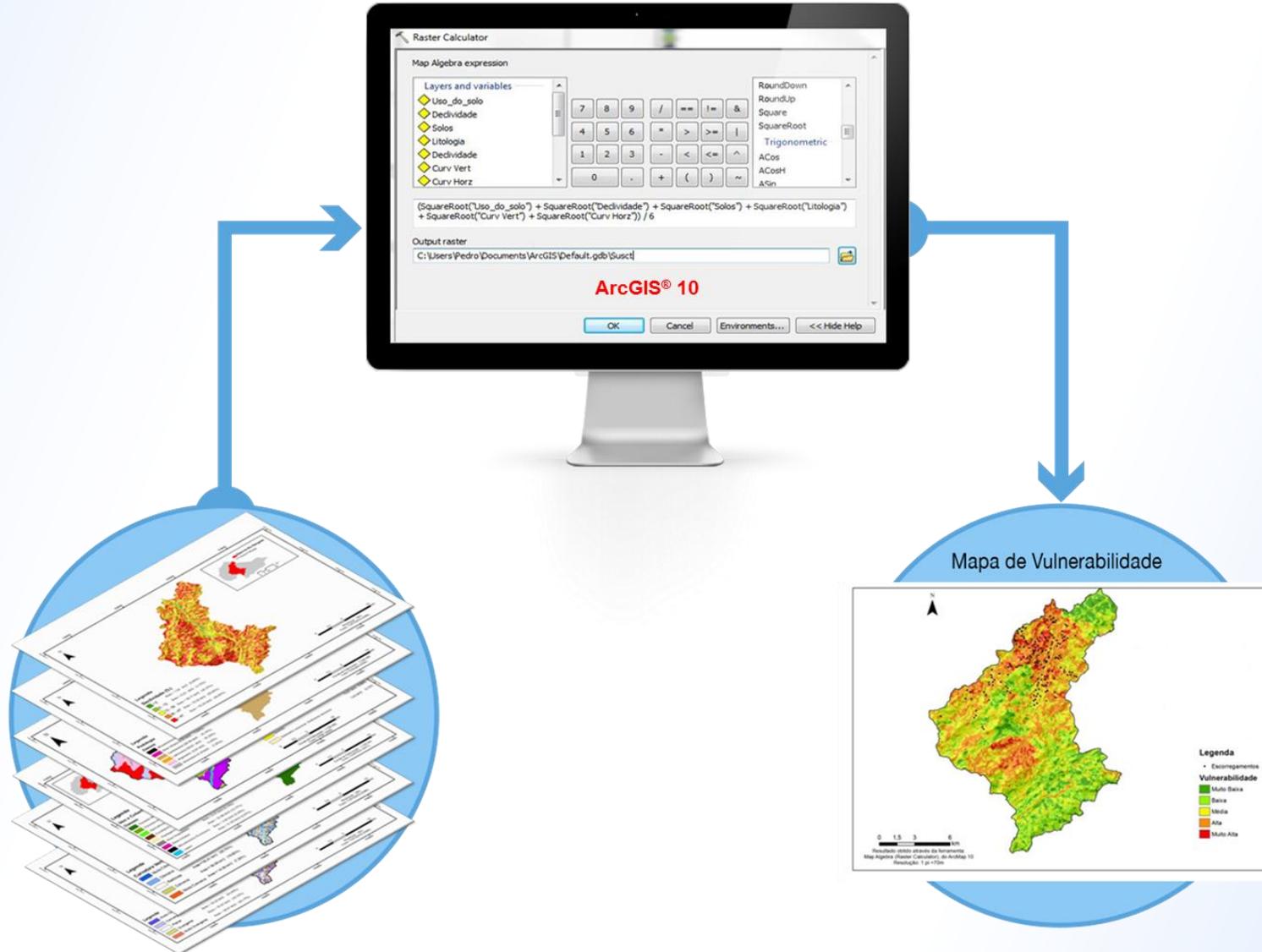
Índice resultante do 2º termo da equação		Pesos
De	A	
0,00	0,19	0,00
0,20	0,39	0,20
0,40	0,59	0,40
0,60	0,69	0,60
≥ a 0,70		1,00

Índices adotados para a classificação da suscetibilidade e da vulnerabilidade

Classes da Suscetibilidade / Vulnerabilidade	
Classes	Índices Adotados
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

Os mapas de suscetibilidade e de vulnerabilidade foram gerados por meio...

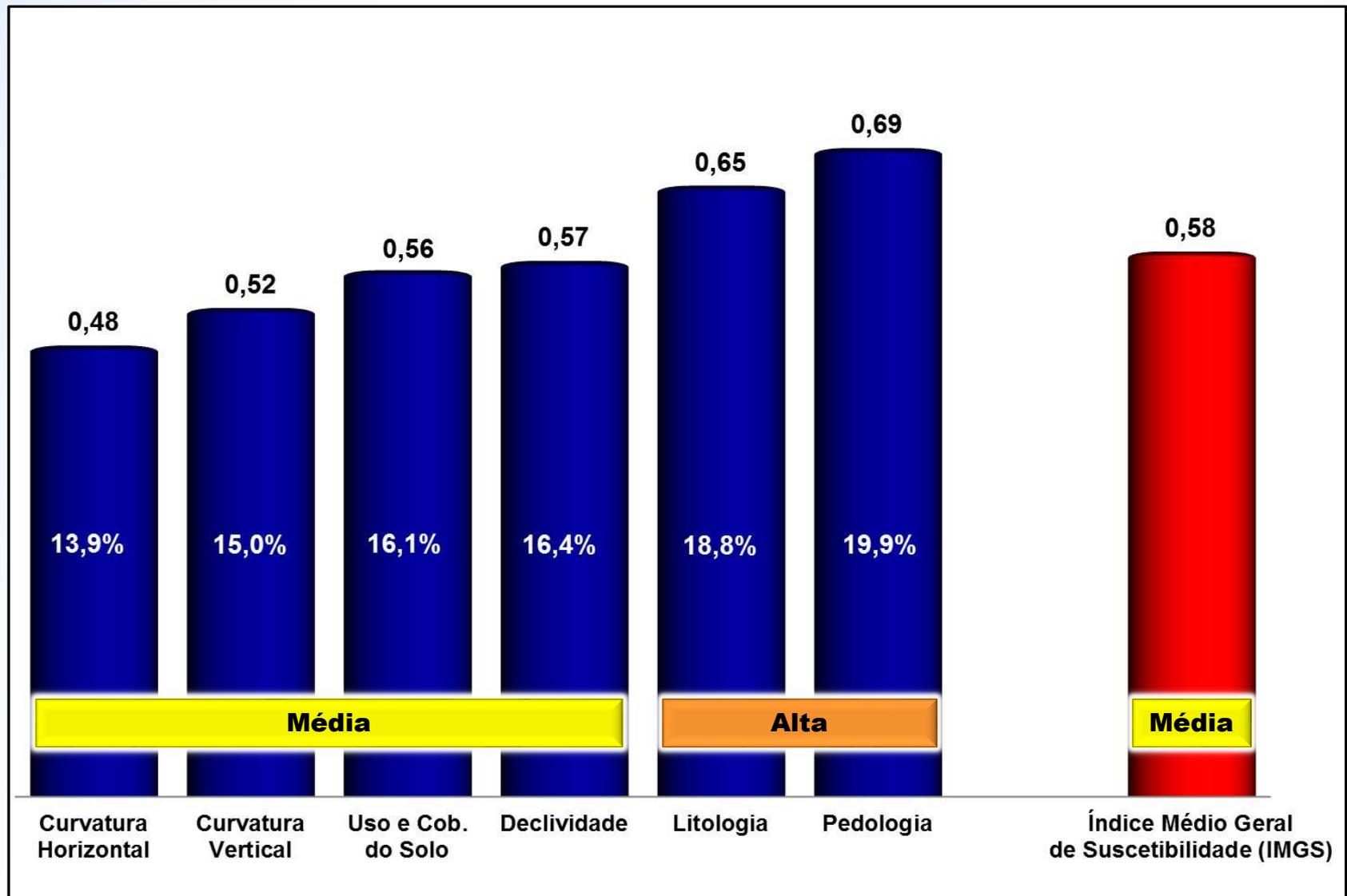


SUSCETIBILIDADE

a escorregamentos de terra

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

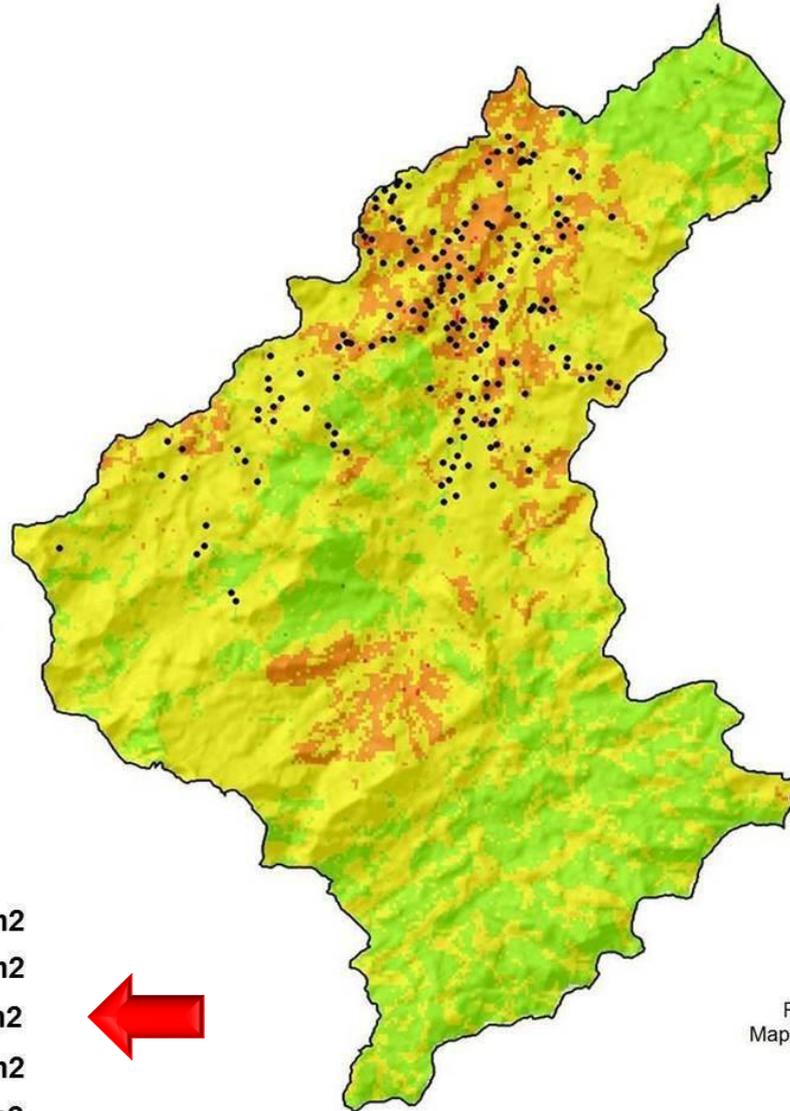
IMSV & IMGS



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 ²
	0,20 - 0,39	52,72 Km ²
	0,40 - 0,59	114,22 Km ²
	0,60 - 0,69	22,73 Km ²
	≥ 0,70	0,19 Km ²

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 registrada 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)

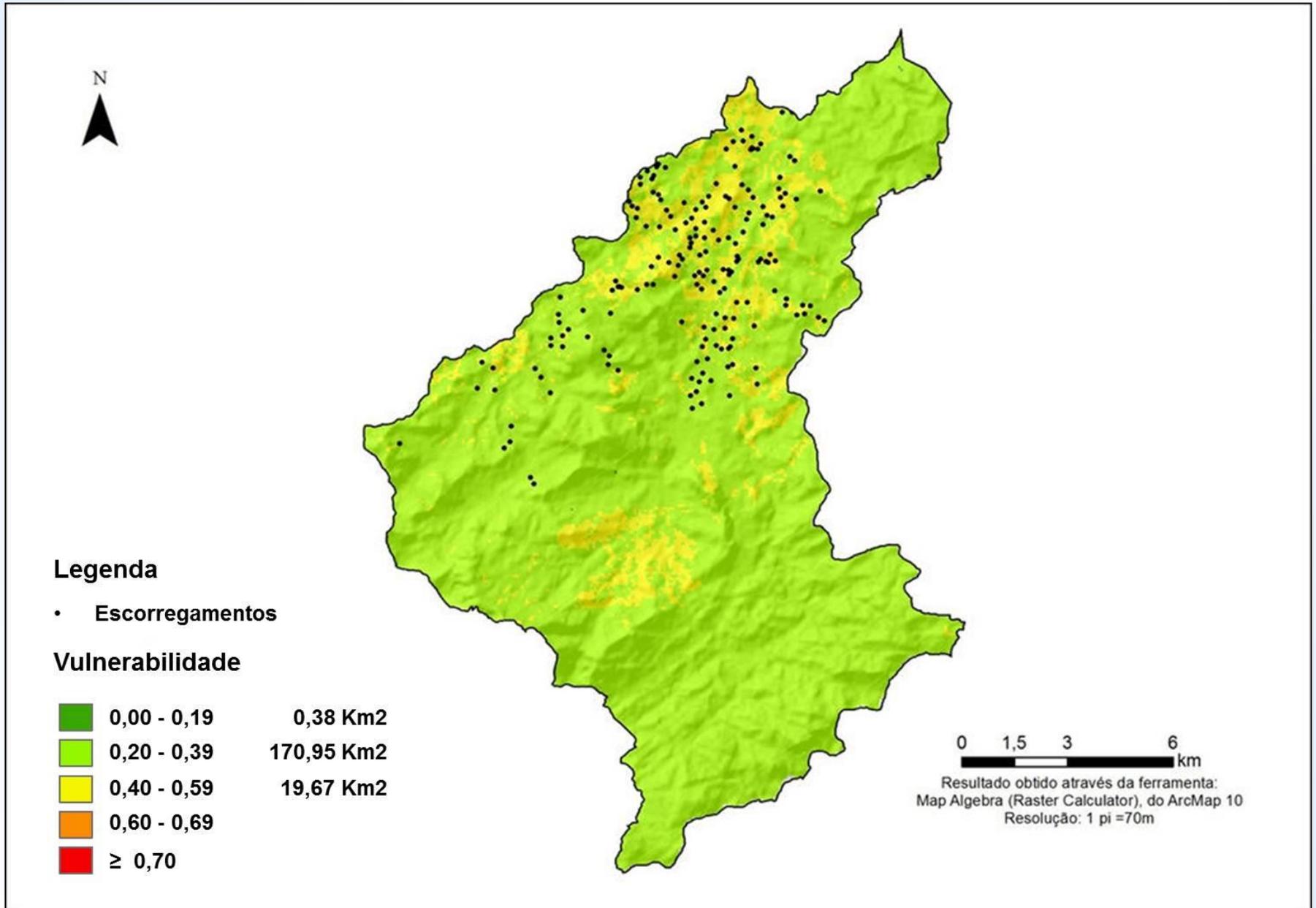
19/01/2005	Nº de Escorregamentos	Cinco (5) dias que antecedem o dia do evento					Dia do Evento
		5º dia	4º dia	3º dia	2º dia	1º dia	
			14/01/2005	15/01/2005	16/01/2005	17/01/2005	18/01/2005
	0	0,49	0,39	0,39	0,49	0,39	0,79

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

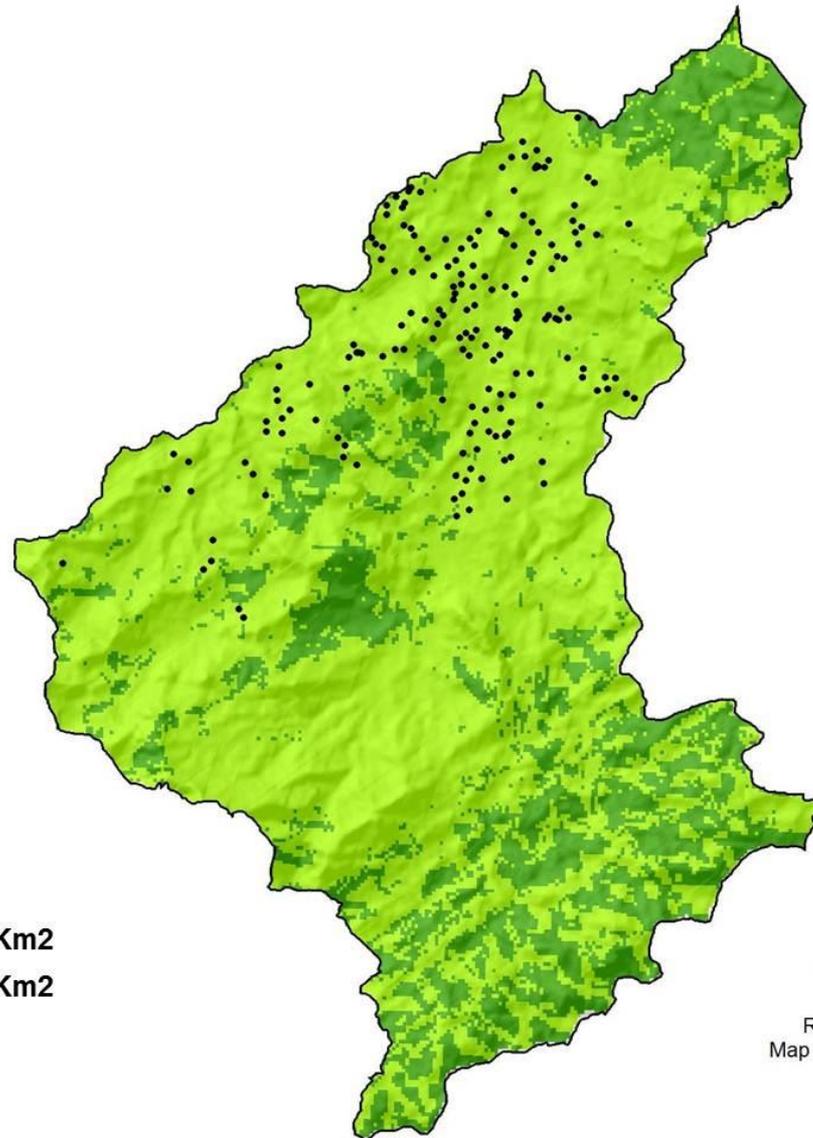
18/03/2013	Nº de Escorregamentos	Cinco (5) dias que antecedem o dia do evento					Dia do Evento
		5º dia	4º dia	3º dia	2º dia	1º dia	
			13/03/2013	14/03/2013	15/03/2013	16/03/2013	17/03/2013
	0	0,39	0,49	0,39	0,39	0,39	0,79

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

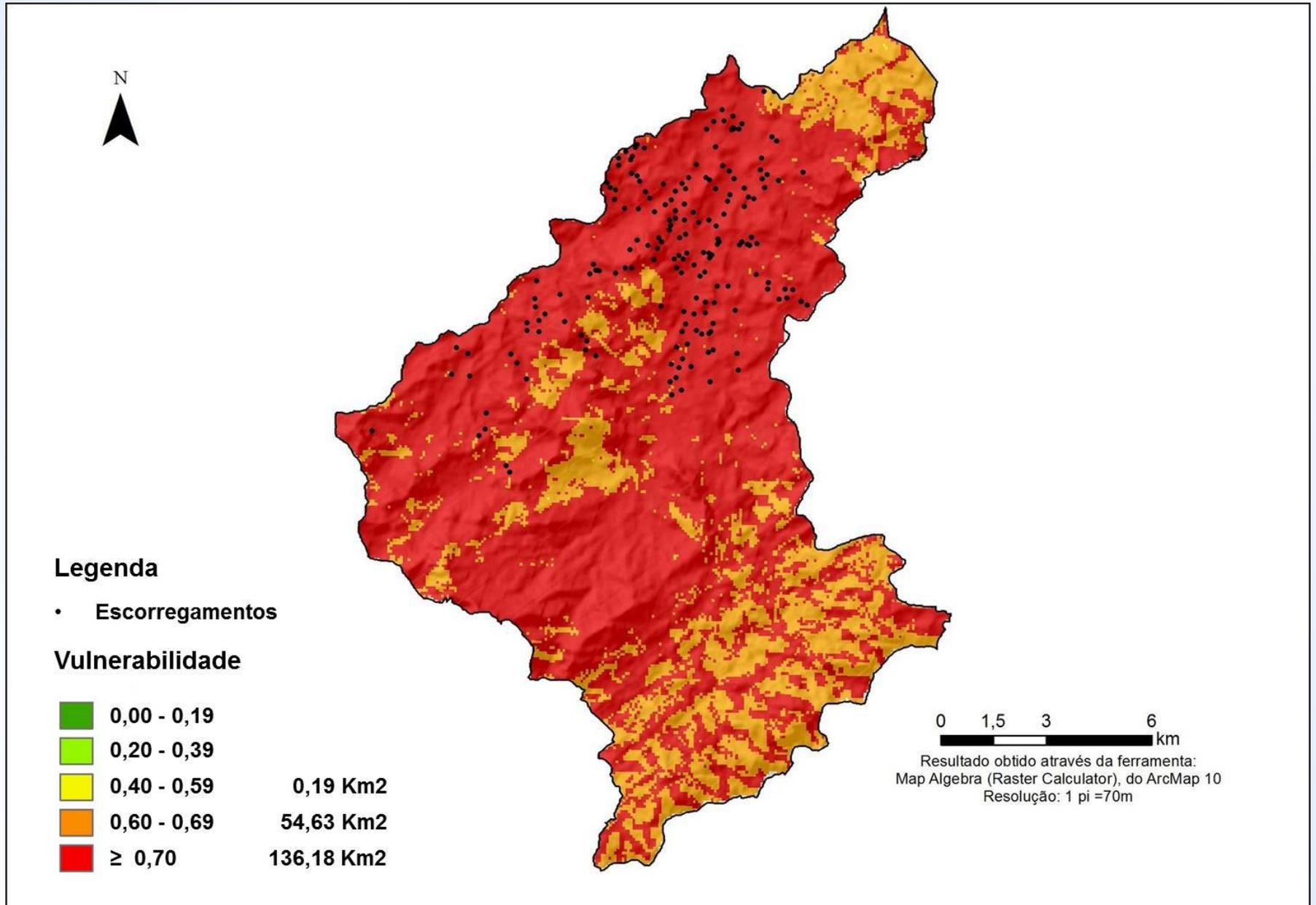
Vulnerabilidade

	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

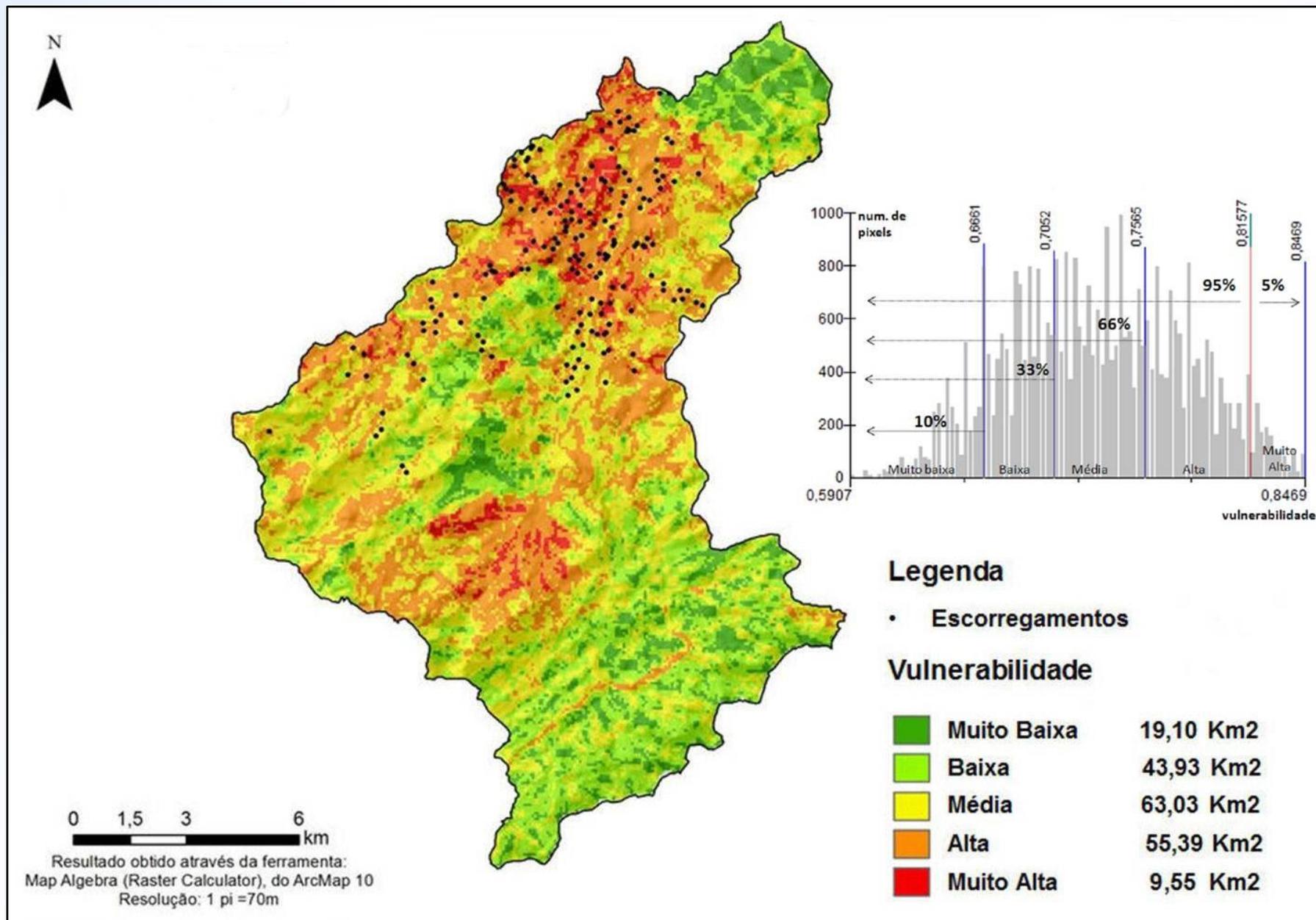
Vulnerabilidade para os dias 11 e 12/01/2011 (1º dia antes do dia do evento e para o dia do evento)



- ✓ **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)



**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 km²);**
- ✓ **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.**

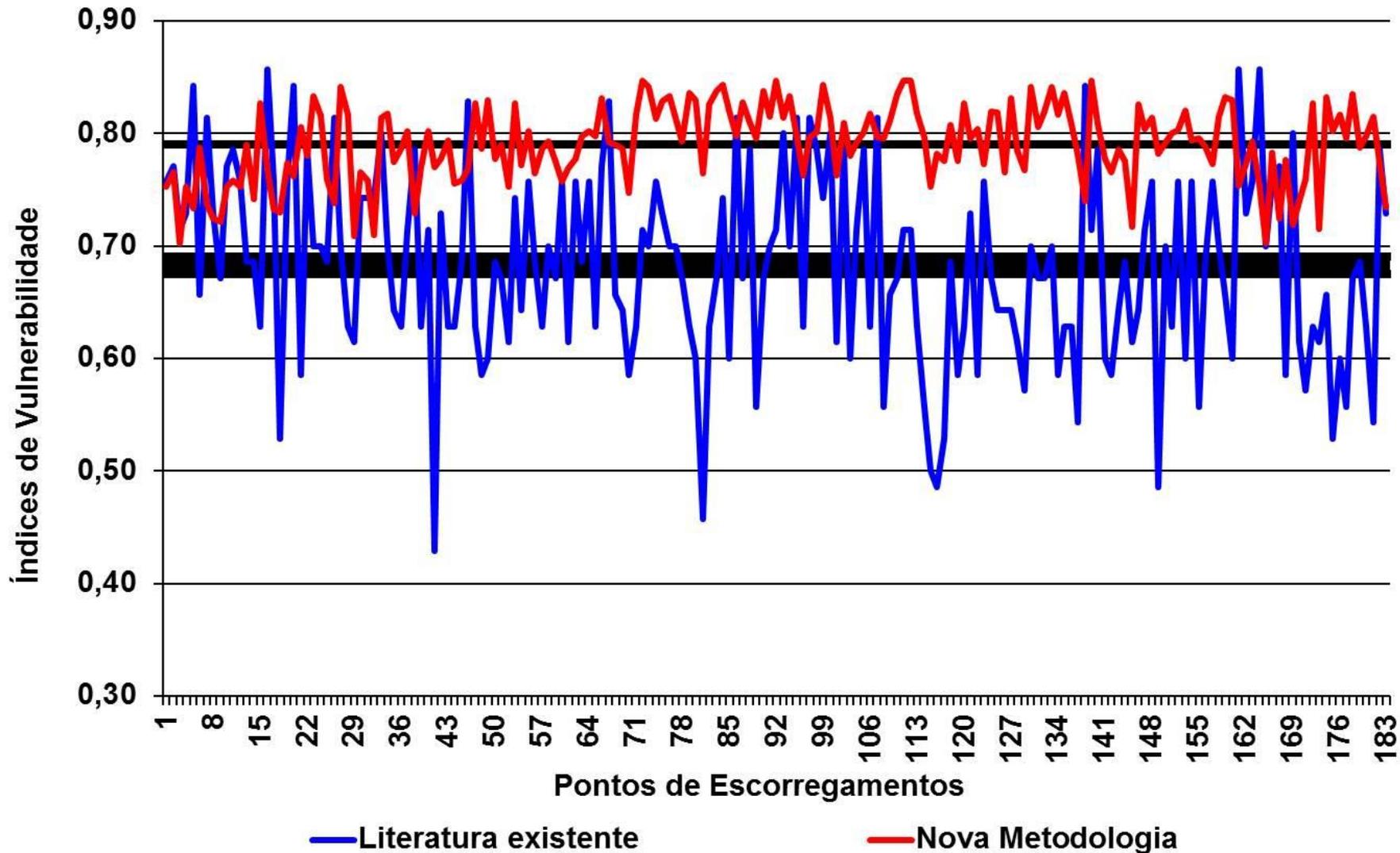
Comparando os Índices de Vulnerabilidade

*Metodologia
existente
na Literatura*

X

*Metodologia
proposta
neste Trabalho*

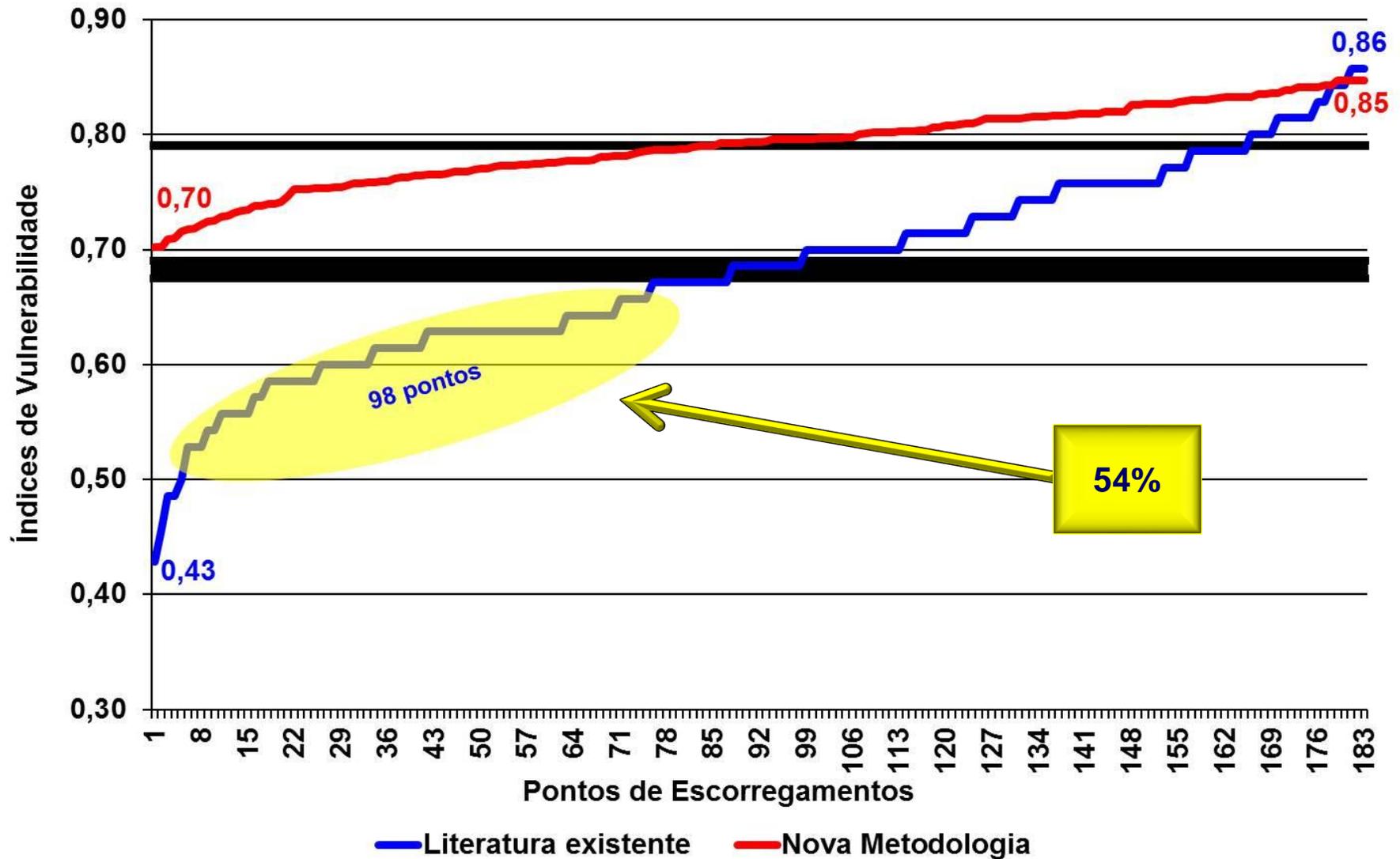
Comparando os Índices de Vulnerabilidade X Metodologias



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



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”.

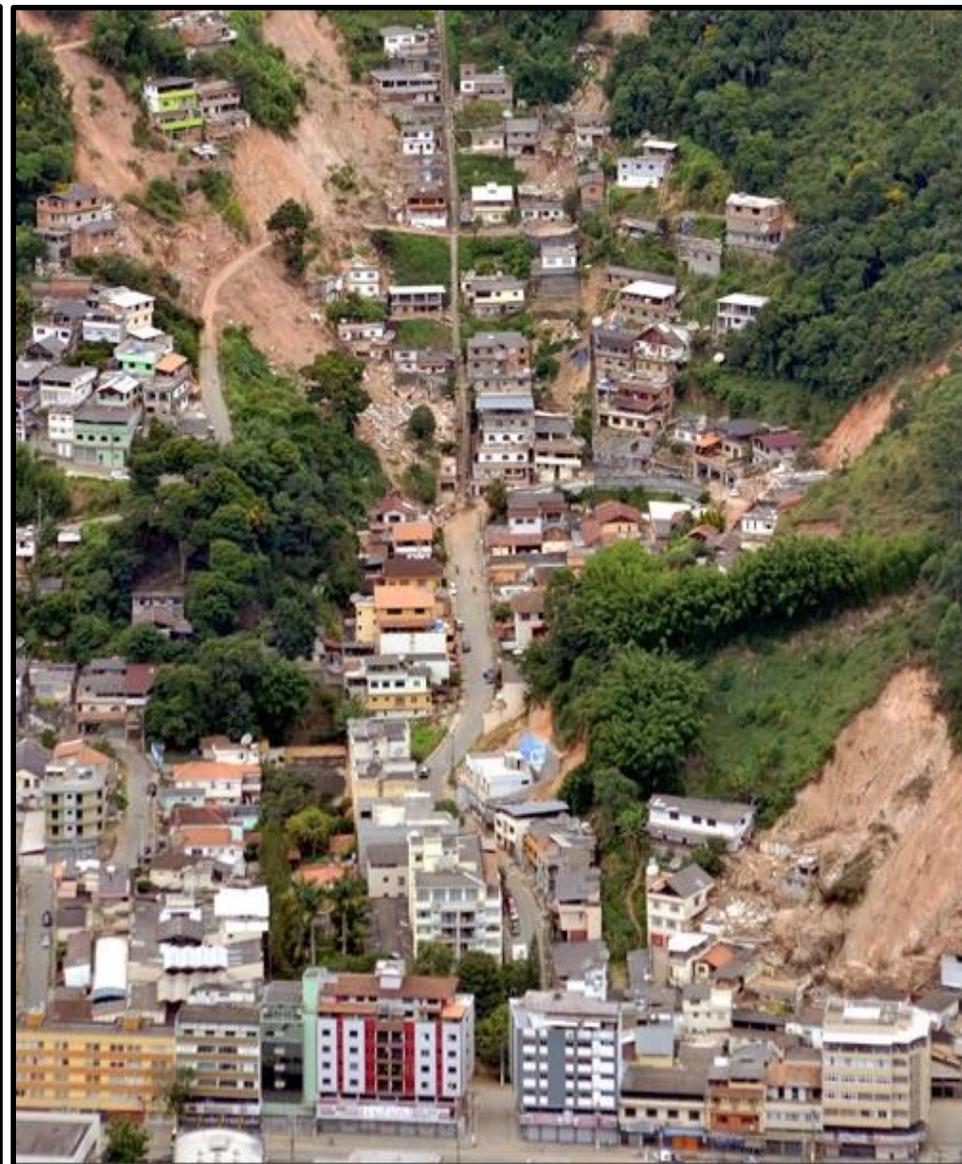
Conclusões

- **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); e**
 - **Gestores públicos e profissionais envolvidos no parcelamento, uso e ocupação do solo.**

Antes do evento



Após o evento





**Nossos agradecimentos aos
Alunos presentes e às Professoras
Mariana, Danúbia e Érica (EEL/USP)**

Prof. Dr. Luiz Tadeu da Silva

CCST/INPE

luiz.tadeu@inpe.br