Mapeamento de susceptibilidade aos movimentos de massa em São Sebastião – SP com diferentes técnicas de inferência espacial

Teule Lemos Branco

Contextualização

- Movimentos de massa é um processo dinâmico, influenciado por fatores morfológicos que causam a instabilidade da encosta.
- As atividades antrópicas como ocupação irregular de encostas, desmatamento e corte de taludes proporcionam maior susceptibilidade. (GUIMARÃES et al, 2008)
- Mapeamento é importante para subsidiar ações dos agentes públicos e privados.

Fonte: http://d.costanorte.com.br/geral/29660/chuvas-interditam-rodovias-causam-alagamentos-e-deixam-desalojados-no-litoral-norte

Susceptibilidade: probabilidade de ocorrer um fenômeno transformador da paisagem, dadas suas condições fisiográficas naturais (MUNÕZ, 2005)

Objetivos

- Realizar o mapeamento de susceptibilidade ao movimento de massa no município de São Sebastião – SP, com diferentes técnicas de inferência espacial.
- Análise dos mapas resultantes.

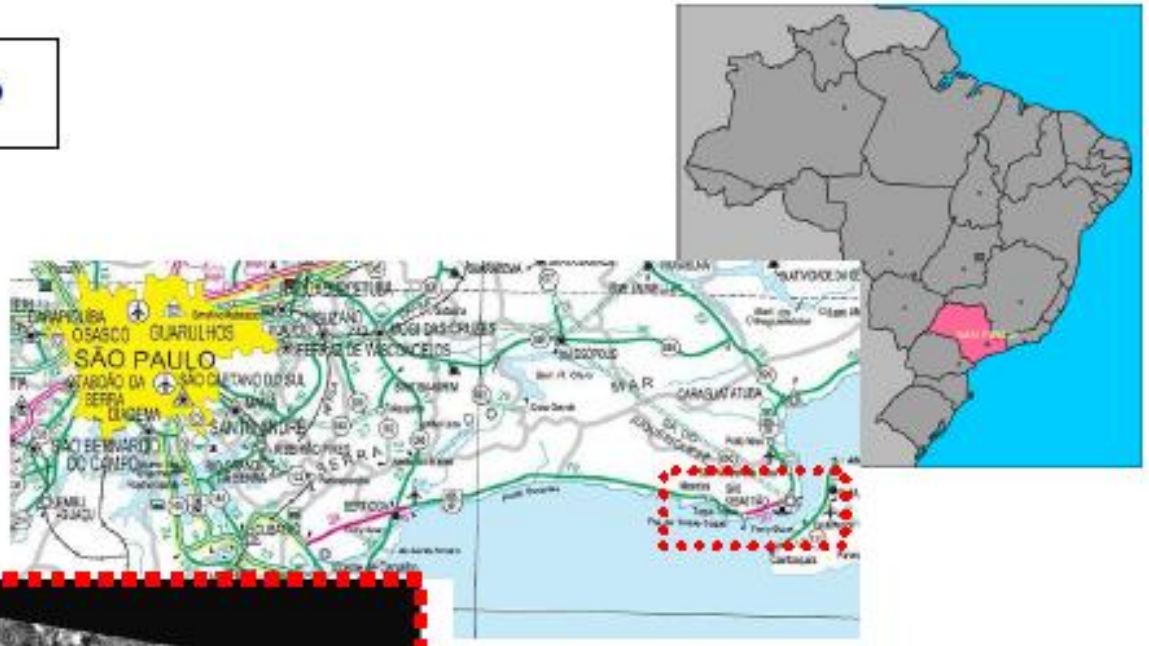
Materiais e métodos

- Inferência espacial baseada um modelo preditivo, realizada no *software* Spring.
- Álgebra de mapas com a linguagem espacial LEGAL.
- Uso de Excel para manipulação de tabelas.

SPRING

Área de estudo

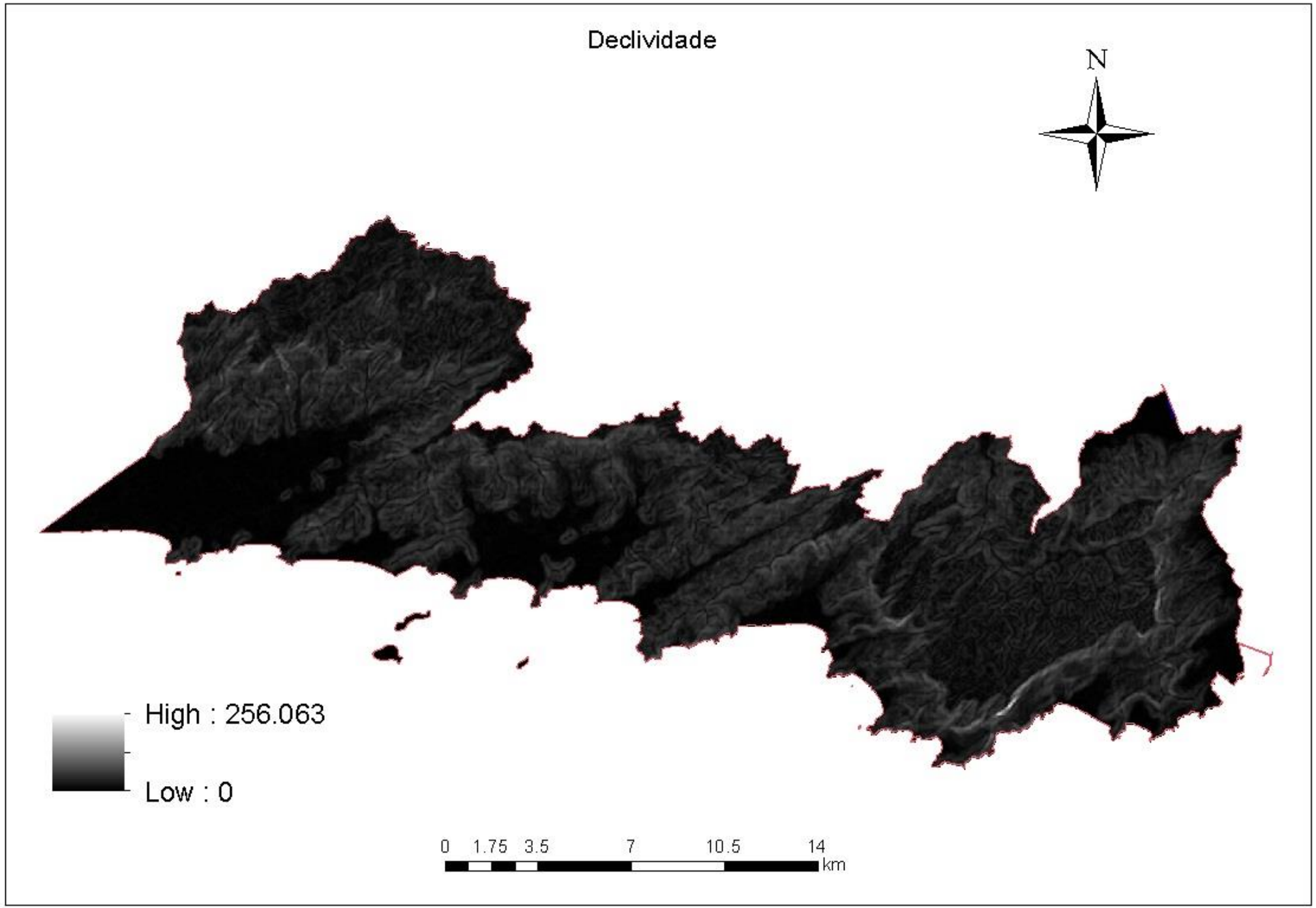
Município de São Sebastião

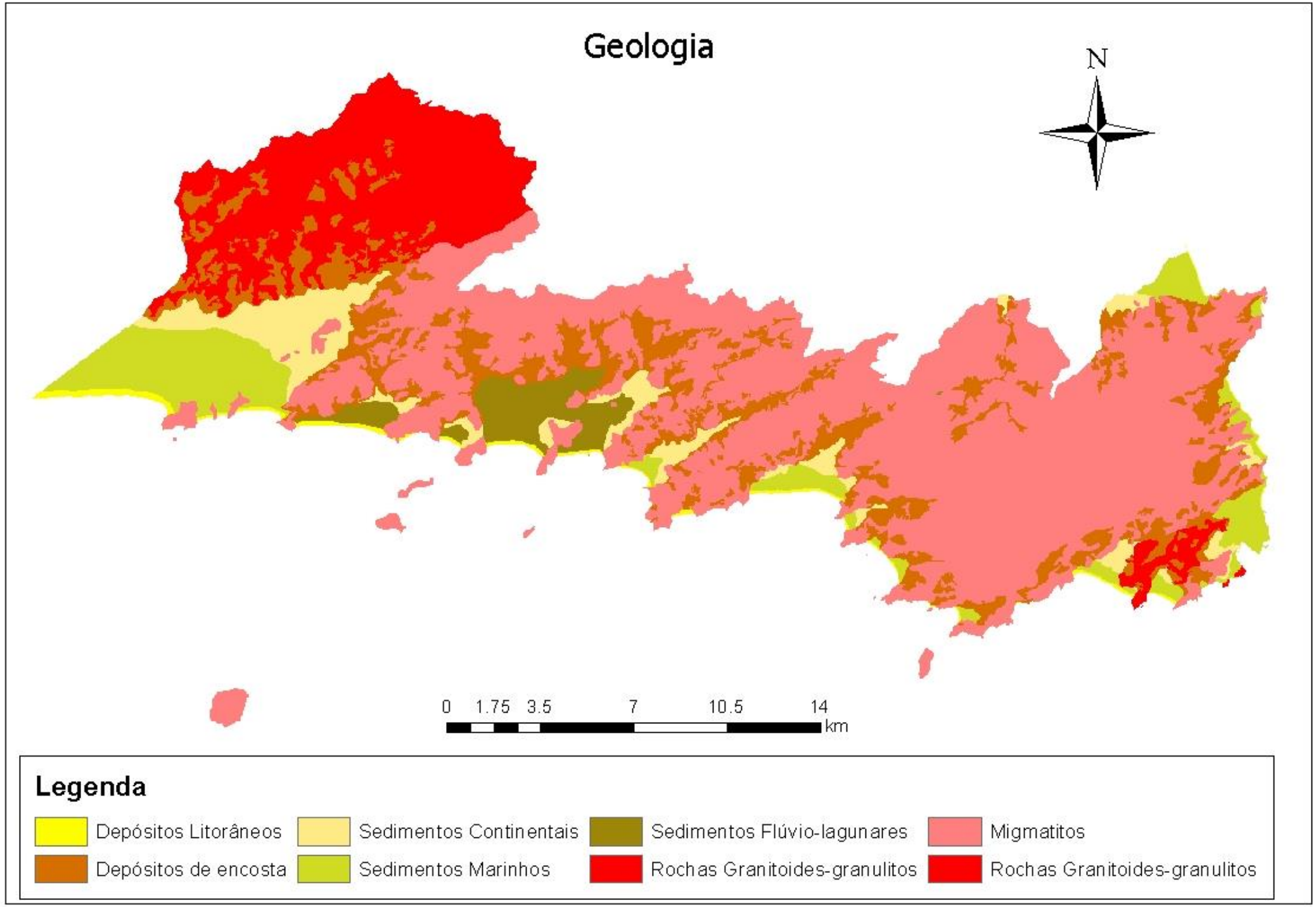


Fonte: MUNÕZ (2005)

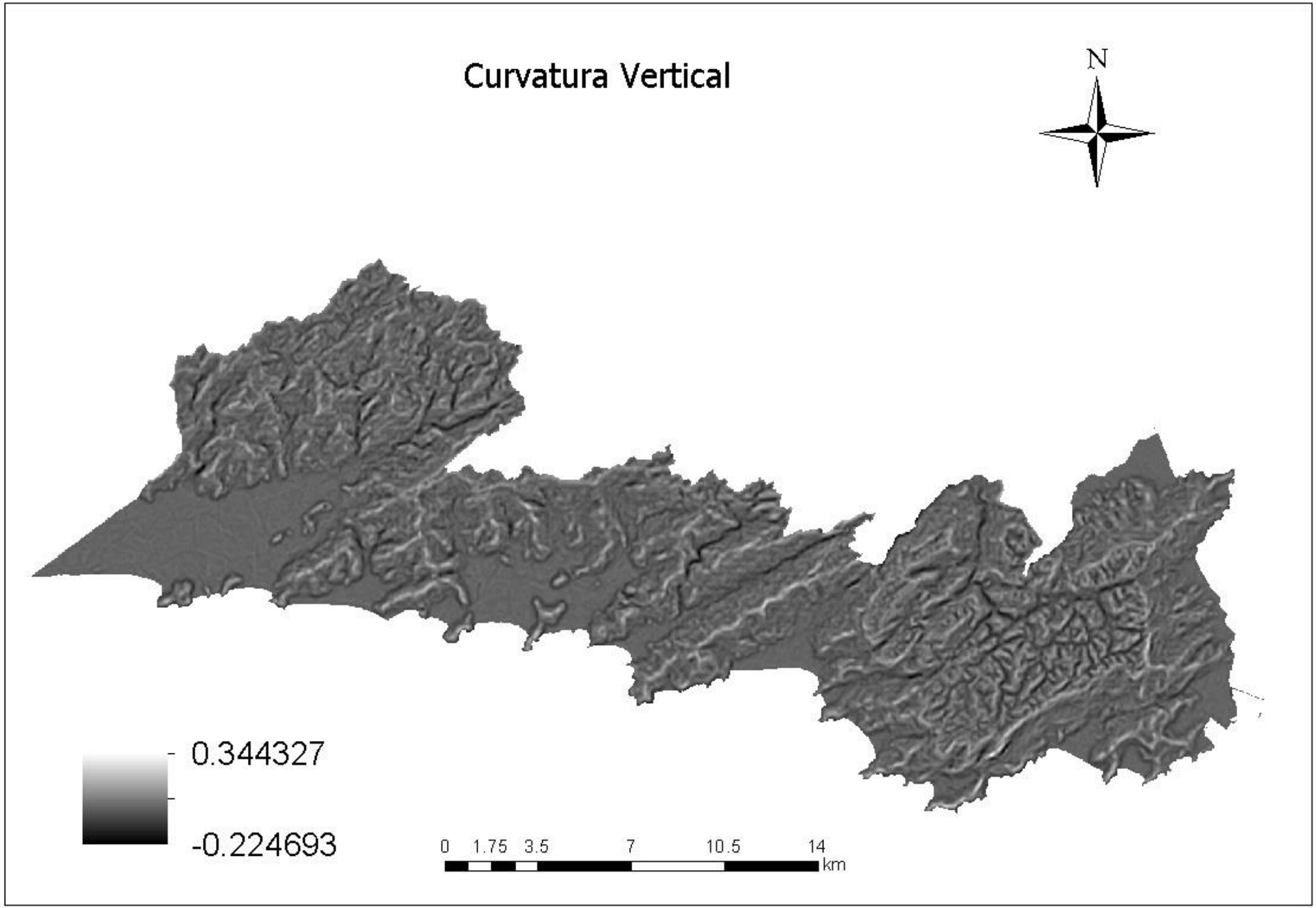
Banco de dados

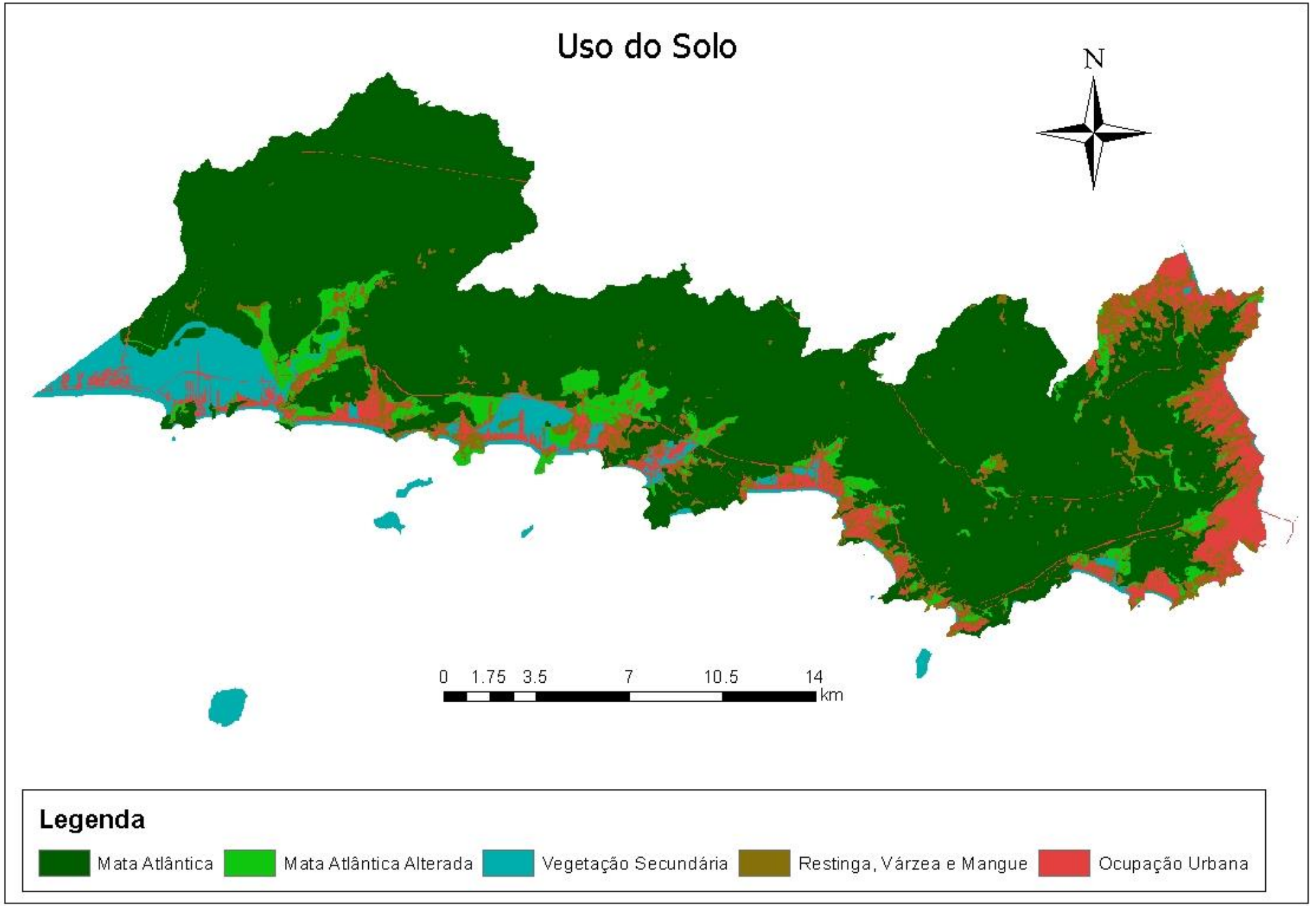
- Banco de dados de Crepani e Medeiros (2000) com dados de Geomorfologia, Geologia, Solos e Uso do solo. Projeção: UTM 23S. Datum:SAD69
- Foram adicionadas o dado de Declividade, Curvatura Vertical e Horizontal do TOPODATA. Datum: WGS86
- Dado com ocorrências de eventos de movimento de massa no município, onde são registradas pontos nos locais que teve movimentos de massa. Dados fornecidos pelo Instituto Geológico de São Paulo.


Declividade
N
High : 256.063
Low : 0
0 1.75 3.5 7 10.5 14
km


Geologia
N
0 1.75 3.5 7 10.5 14
km
Legenda
Depósitos Litorâneos
Depósitos de encosta
Sedimentos Continentais
Sedimentos Marinhos
Sedimentos Flúvio-lagunares
Rochas Granitoides-granulitos
Migmatitos
Rochas Granitoides-granulitos

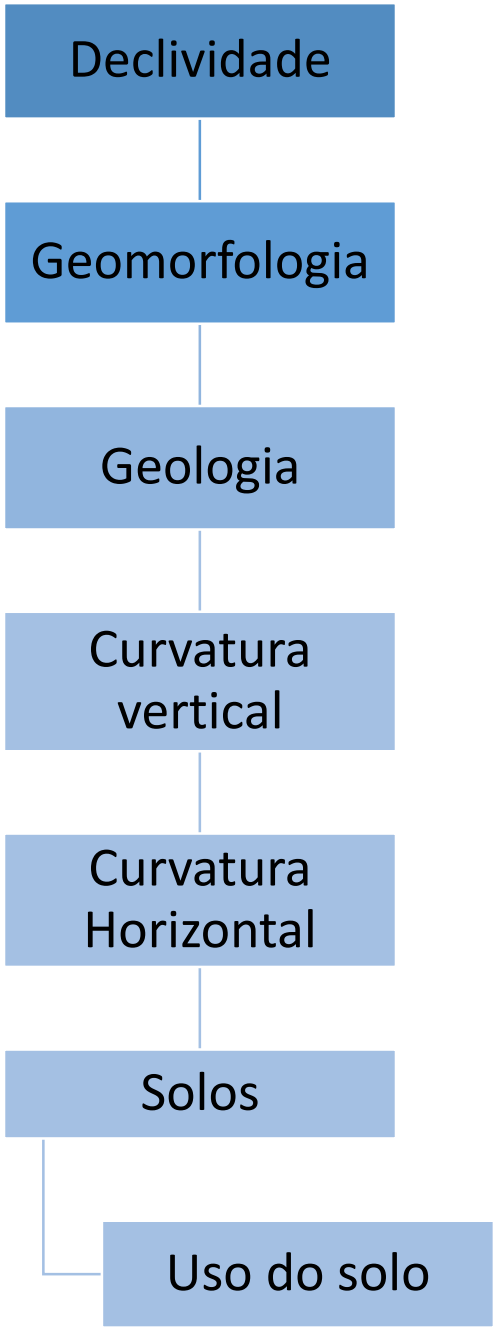
• C al.




Uso do Solo
N
0 1.75 3.5 7 10.5 14
km
Legenda
Mata Atlântica
Mata Atlântica Alterada
Vegetação Secundária
Restinga, Várzea e Mangue
Ocupação Urbana

Modelo Teórico

- A modelagem foi baseada no trabalho de Munõz (2005).
- Os dados de curvatura vertical e horizontal foram incluídos a fim de melhorar os resultados, como proposto por BISPO (2011)
- A hierarquia entre as classes de curvatura horizontal foi baseado no trabalho de Mandal e Mandal (2018), e as de curvatura vertical baseada no trabalho de Effgen e Marchioro (2017).

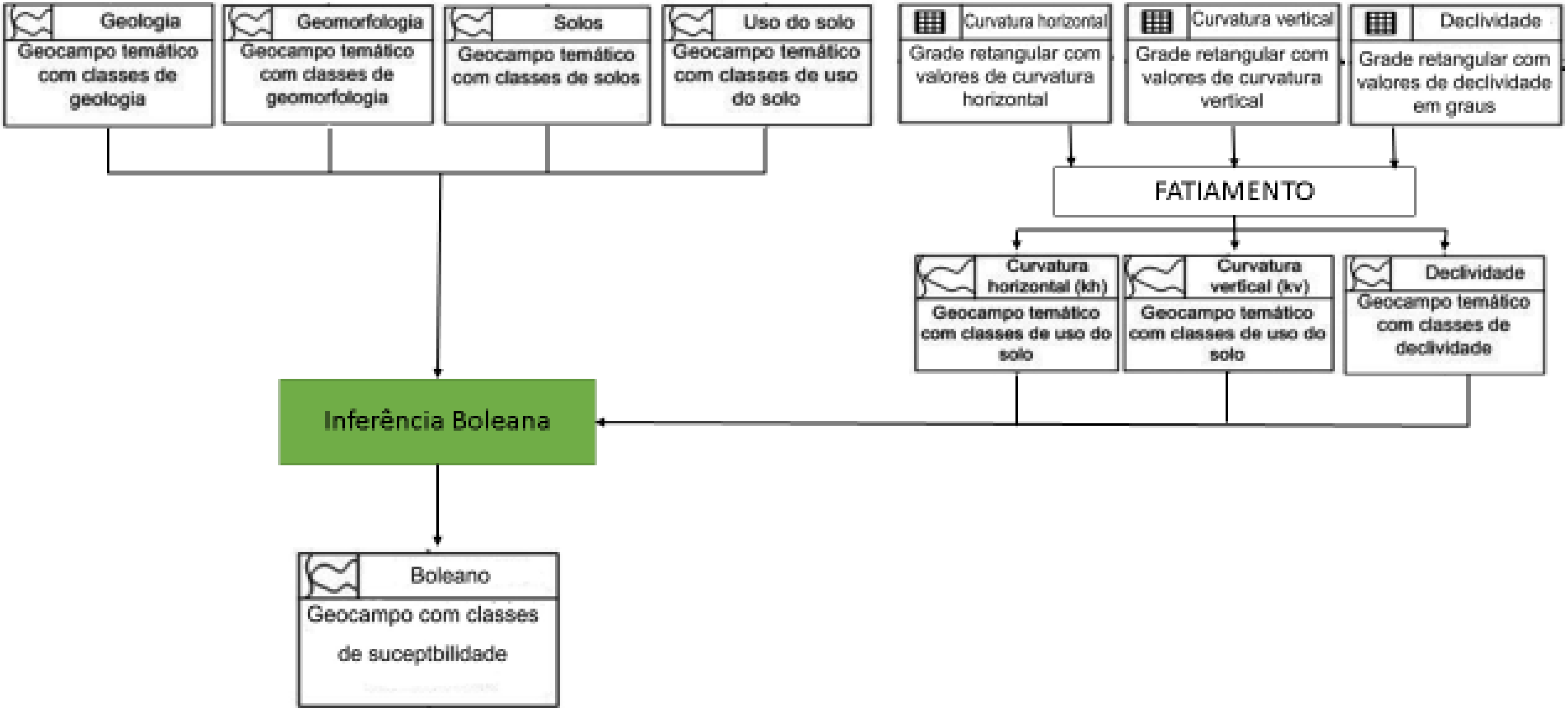


Importância das classes das variáveis

evidencia	Declividade	Geomorfologia	Geologia	Solos	Uso do Solo	Valoração Qualitativa	Valor Numérico	Curvatura Vertical	Valor Numérico2	Curvatura Horizontal*
classe										
1	> 77%	Escarpas da Serra do Mar	Depósitos de encosta	Latossolos	Ocupação Humana	Muito Alta	0.95	Convexo	0.95	Convergente
2	[58% - 77%)	Morros e morrotes	Migmatitos	Cambissolos	Mata Atlântica Alterada	Alta	0.75	Côncavo	0.45	Planar
3	[20% - 58%)	Talús, colúvios e Conos	Rochas Granitóides e Granulitos	Espodossolos	Vegetação Secundaria	Média	0.5	Retilínio	0.25	Divergente
4	[10% - 20%)	Planaltos	Sedimentos continentais, marinhos e fluviolagunais	Neossolos	Mata Atlântica	Baixa	0.25			
5	[0% - 10%)	Planície Flúvio Marinha	Depósitos litorâneos atuais	Areia da praia	Vegetação de Restinga, Várzea, Mangue	Muito Baixa	0.05			

Boleano

Combinação lógica de mapas binários através de operadores condicionais.



Média Ponderada

- É a média ponderada entre as variáveis, onde os seus respectivos pesos são estipulados pelo analista, a partir de seu modelo.

- A seguinte fórmula foi utilizada:

(0.43*dl)+(0.23*gp)+(0.15*ge)+(0.03*sp)+(0.01*up)+(0.1*cv)+(0.05*ch)

dl: declividade

gp:geomorfologia

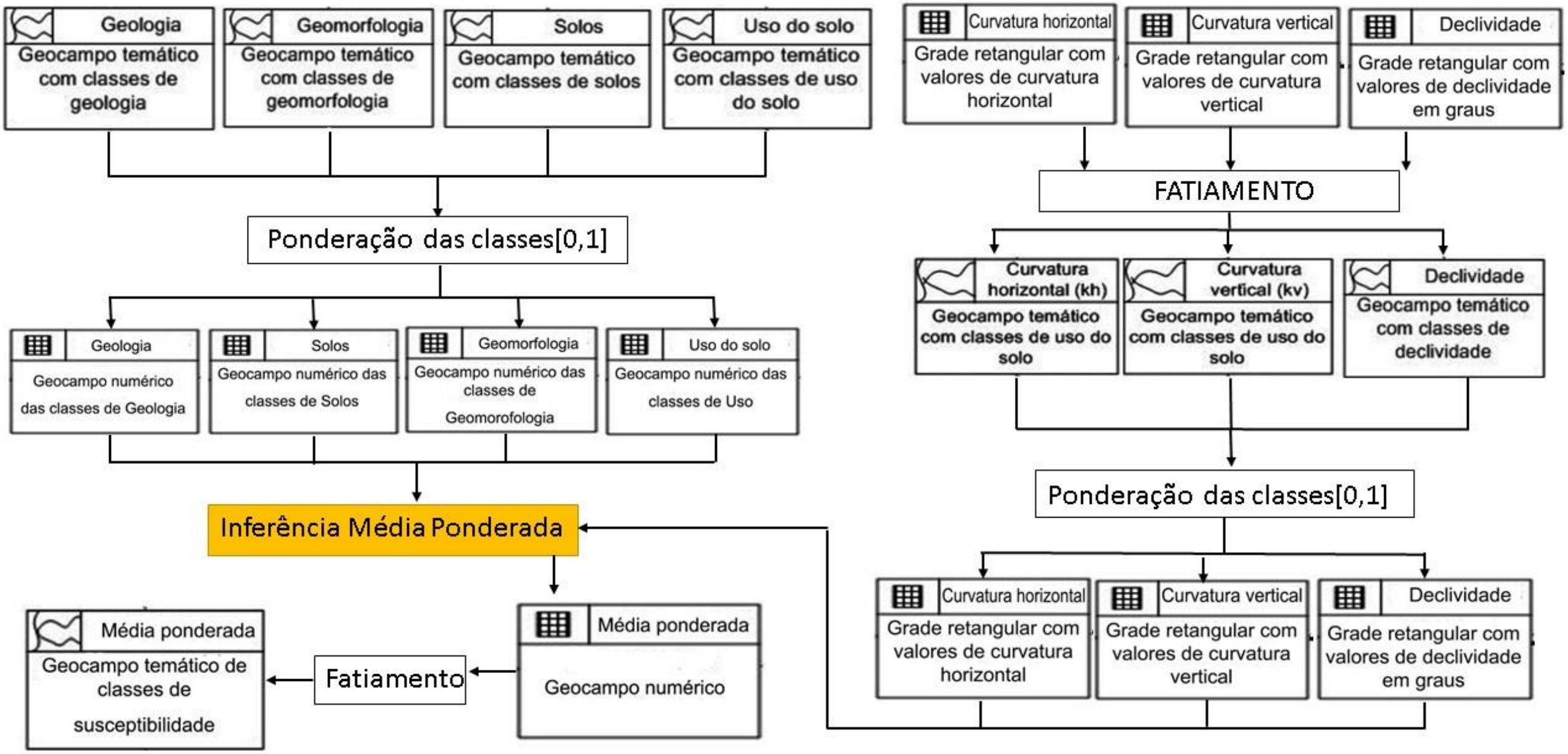
ge:geologia

sp: solos

up: uso do solo

cv: curvatura vertical

ch: curvatura horizontal


Geologia
Geocampo temático com classes de geologia
Geomorfologia
Geocampo temático com classes de geomorfologia
Solos
Geocampo temático com classes de solos
Uso do solo
Geocampo temático com classes de uso do solo
Ponderação das classes[0,1]
Geologia
Geocampo numérico das classes de Geologia
Solos
Geocampo numérico das classes de Solos
Geomorfologia
Geocampo numérico das classes de Geomorofologia
Uso do solo
Geocampo numérico das classes de Uso
Inferência Média Ponderada
Média ponderada
Geocampo numérico
Fatiamento
Média ponderada
Geocampo temático de classes de susceptibilidade
Curvatura horizontal
Grade retangular com valores de curvatura horizontal
Curvatura vertical
Grade retangular com valores de curvatura vertical
Declividade
Grade retangular com valores de declividade em graus
FATIAMENTO
Curvatura horizontal (kh)
Geocampo temático com classes de uso do solo
Curvatura vertical (kv)
Geocampo temático com classes de uso do solo
Declividade
Geocampo temático com classes de declividade
Ponderação das classes[0,1]
Curvatura horizontal
Grade retangular com valores de curvatura horizontal
Curvatura vertical
Grade retangular com valores de curvatura vertical
Declividade
Grade retangular com valores de declividade em graus

Técnica Analytical Hierarchical Proces - AHP

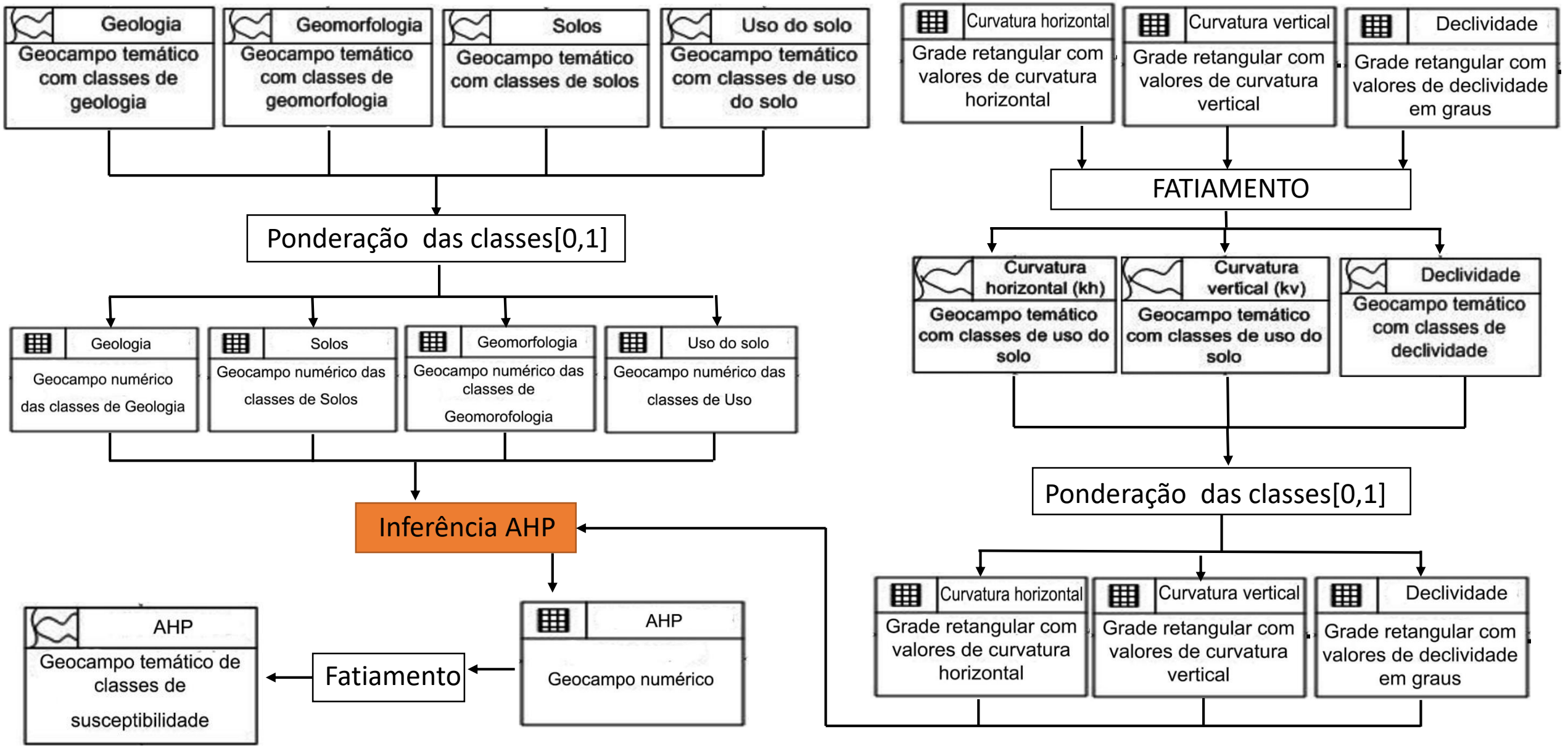
- Comparação pareada, a fim de avaliar a importância relativa entre critérios e medir consistência dos julgamentos.

Category		Priority	Rank	(+)	(-)
1	Declividade	41.1%	1	16.3%	16.3%
2	Geomorfologia	23.6%	2	7.7%	7.7%
3	Geologia	14.2%	3	3.1%	3.1%
4	Curvatura Vertical	9.3%	4	2.9%	2.9%
5	Curvatura Horizontal	6.3%	5	2.4%	2.4%
6	Solos	3.4%	6	1.4%	1.4%
7	Uso do Solo	2.1%	7	1.1%	1.1%

Consistência: 0.55

	1	2	3	4	5	6	7
1	1	3.00	4.00	5.00	7.00	8.00	9.00
2	0.33	1	2.00	4.00	5.00	7.00	8.00
3	0.25	0.50	1	2.00	3.00	5.00	7.00
4	0.20	0.25	0.50	1	2.00	4.00	6.00
5	0.14	0.20	0.33	0.50	1	3.00	5.00
6	0.12	0.14	0.20	0.25	0.33	1	3.00
7	0.11	0.12	0.14	0.17	0.20	0.33	1

Foto da tela da calculadora AHP Online – Acesso em: https://bpmsg.com/academic/ahp_calc1.php?t=AHP+priorities&n=7&new=Go


Geologia
Geocampo temático com classes de geologia
Geomorfologia
Geocampo temático com classes de geomorfologia
Solos
Geocampo temático com classes de solos
Uso do solo
Geocampo temático com classes de uso do solo
Ponderação das classes[0,1]
Geologia
Geocampo numérico das classes de Geologia
Solos
Geocampo numérico das classes de Solos
Geomorfologia
Geocampo numérico das classes de Geomorofologia
Uso do solo
Geocampo numérico das classes de Uso
Inferência AHP
AHP
Geocampo numérico
Fatiamento
AHP
Geocampo temático de classes de susceptibilidade
Curvatura horizontal
Grade retangular com valores de curvatura horizontal
Curvatura vertical
Grade retangular com valores de curvatura vertical
Declividade
Grade retangular com valores de declividade em graus
FATIAMENTO
Curvatura horizontal (kh)
Geocampo temático com classes de uso do solo
Curvatura vertical (kv)
Geocampo temático com classes de uso do solo
Declividade
Geocampo temático com classes de declividade
Ponderação das classes[0,1]
Curvatura horizontal
Grade retangular com valores de curvatura horizontal
Curvatura vertical
Grade retangular com valores de curvatura vertical
Declividade
Grade retangular com valores de declividade em graus

Abordagem Fuzzy Gamma

$$\mu_{combination} = \left(1 - \prod_{i=1}^{n} \mu_i (1 - \mu_i)\right)^{\gamma} \cdot \left(\prod_{i=1}^{n} \mu_i\right)^{1-\gamma}$$

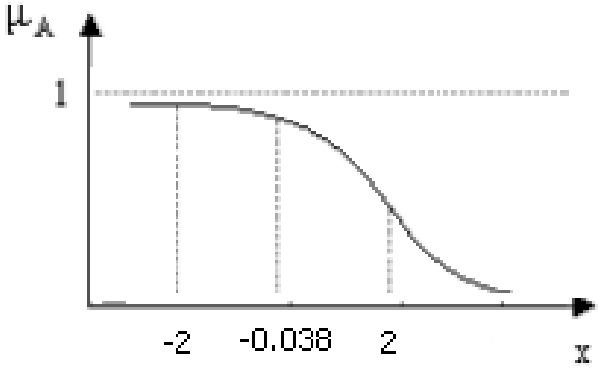
γ é um parâmetro escolhido no range (0,1). Quando γ=0 , a combinação fuzzy é igual ao produto algébrico, e quando γ = 1, é igual à soma

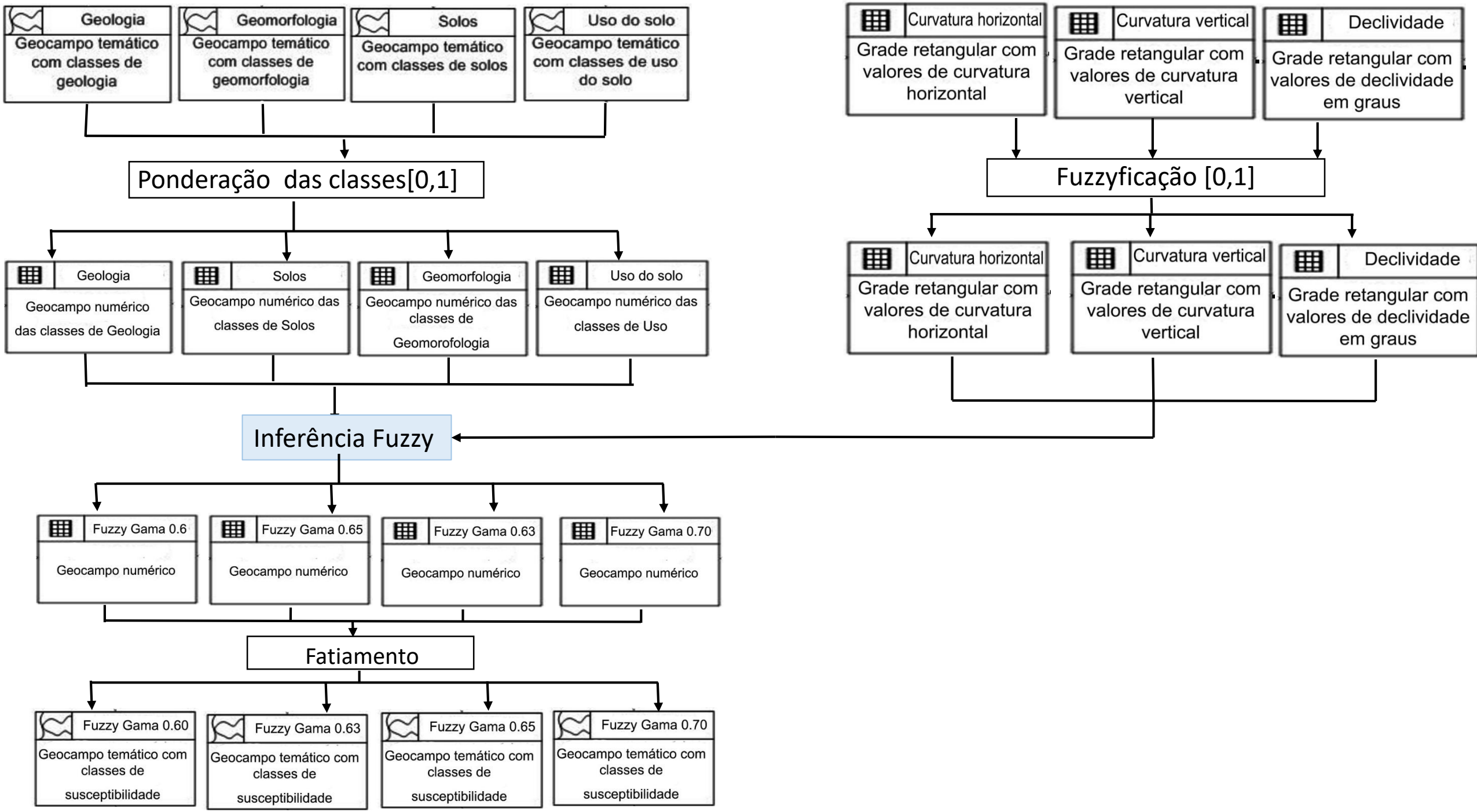
- Conjuntos Fuzzy das variáveis numéricas:
- Declividade: $\mu(x) = \frac{1}{1+(\frac{x}{midpoint})^{-spread}}$

Onde μ é o valor *Fuzzy, midpoint* é o valor onde μ=0.5, spread=3. (

- Curvatura vertical: Função linear.
- Curvatura horizontal: Função Sigmoidal.

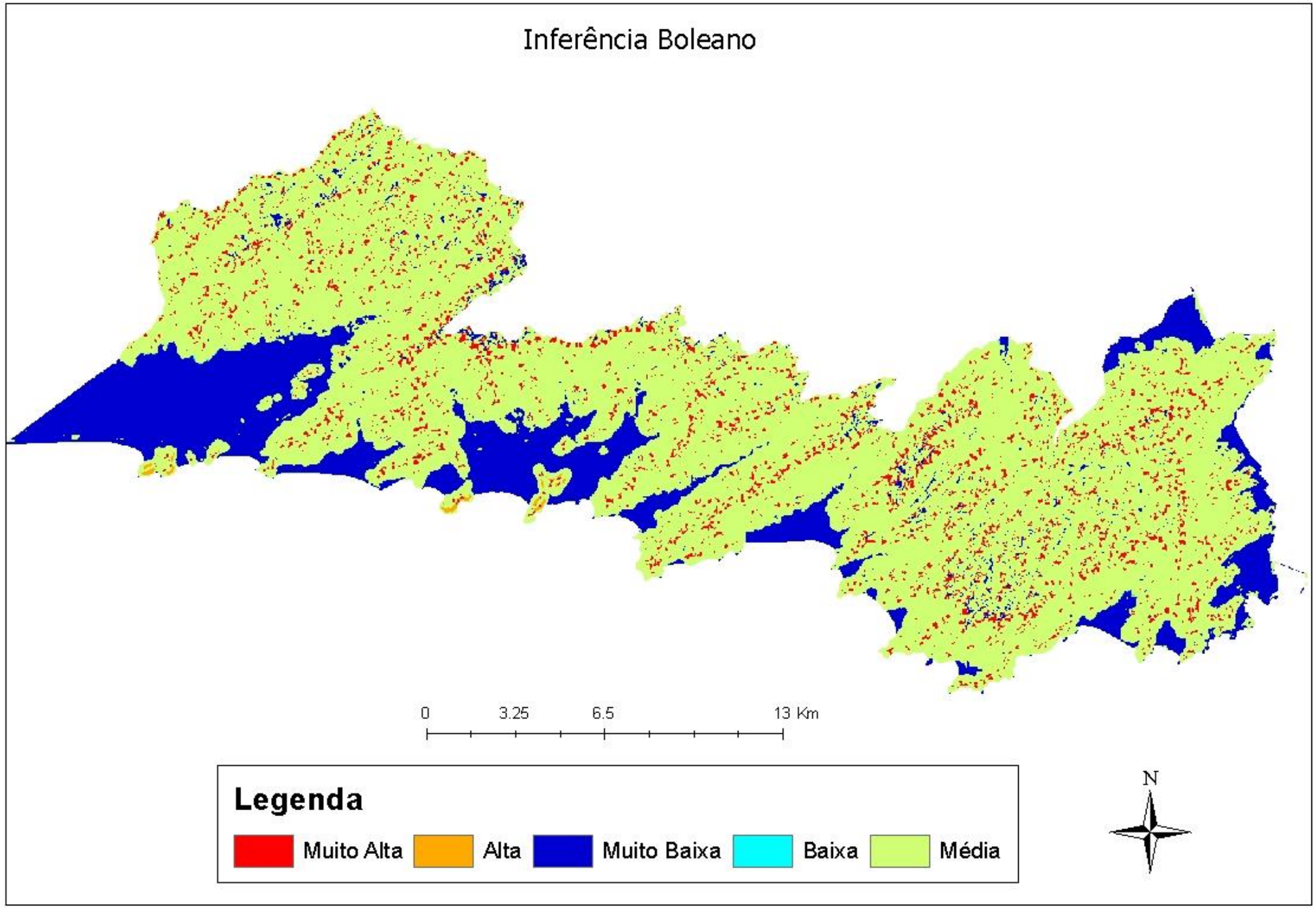
Função sigmoidal

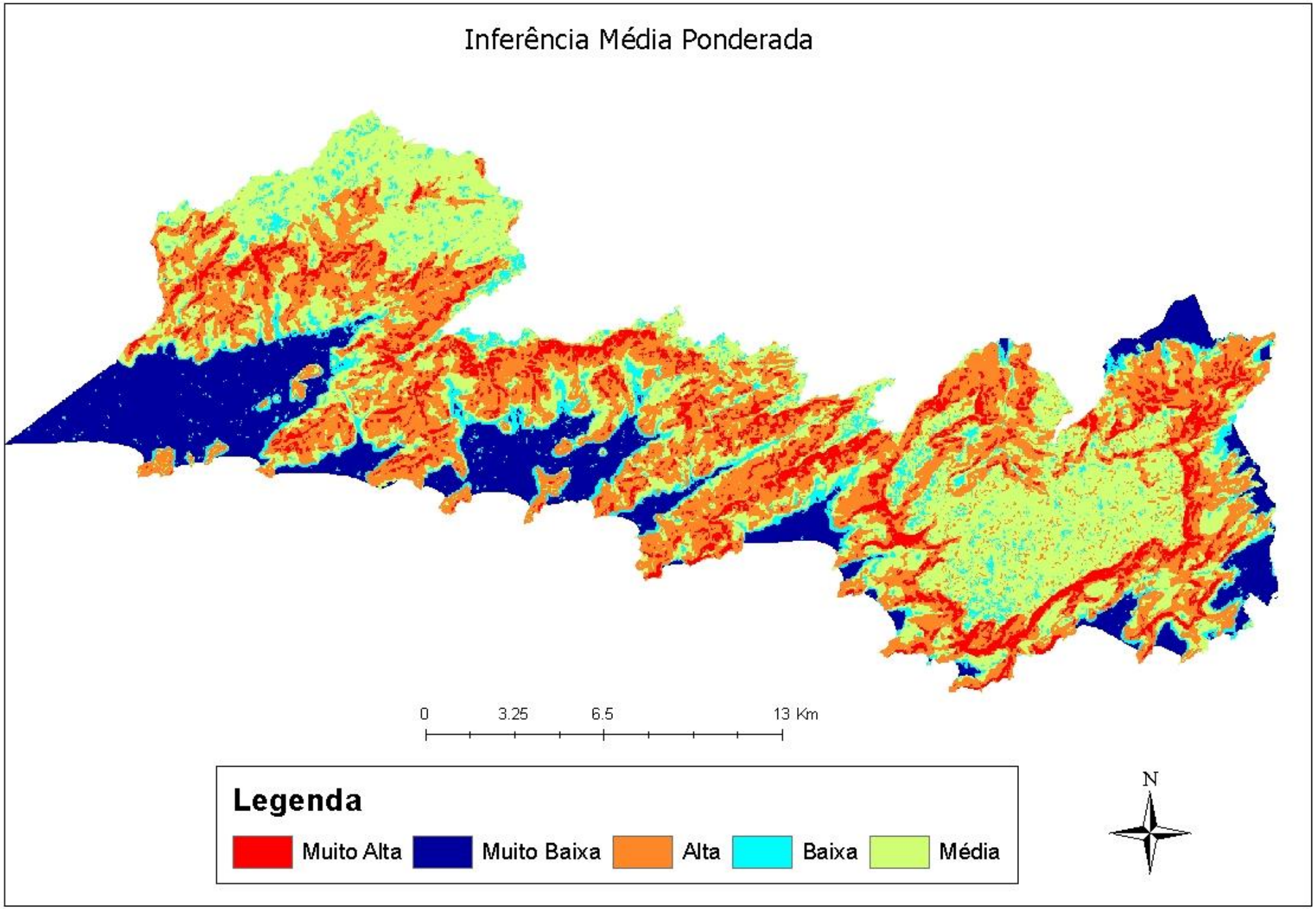


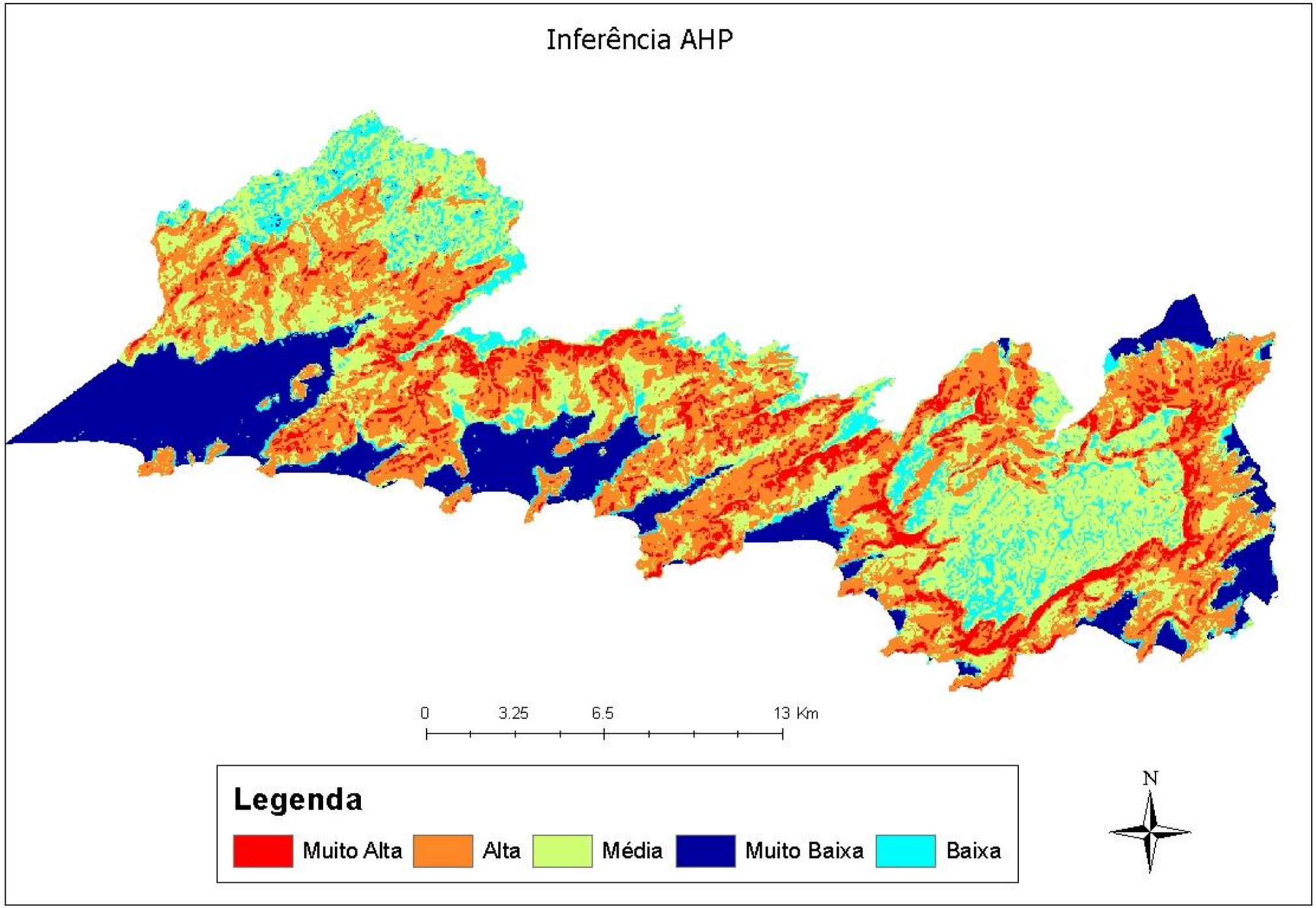

Geologia
Geocampo temático com classes de geologia
Geomorfologia
Geocampo temático com classes de geomorfologia
Solos
Geocampo temático com classes de solos
Uso do solo
Geocampo temático com classes de uso do solo
Ponderação das classes[0,1]
Geologia
Geocampo numérico das classes de Geologia
Solos
Geocampo numérico das classes de Solos
Geomorfologia
Geocampo numérico das classes de Geomorofologia
Uso do solo
Geocampo numérico das classes de Uso
Curvatura horizontal
Grade retangular com valores de curvatura horizontal
Curvatura vertical
Grade retangular com valores de curvatura vertical
Declividade
Grade retangular com valores de declividade em graus
Fuzzyficação [0,1]
Curvatura horizontal
Grade retangular com valores de curvatura horizontal
Curvatura vertical
Grade retangular com valores de curvatura vertical
Declividade
Grade retangular com valores de declividade em graus
Inferência Fuzzy
Fuzzy Gama 0.6
Geocampo numérico
Fuzzy Gama 0.65
Geocampo numérico
Fuzzy Gama 0.63
Geocampo numérico
Fuzzy Gama 0.70
Geocampo numérico
Fatiamento
Fuzzy Gama 0.60
Geocampo temático com classes de susceptibilidade
Fuzzy Gama 0.63
Geocampo temático com classes de susceptibilidade
Fuzzy Gama 0.65
Geocampo temático com classes de susceptibilidade
Fuzzy Gama 0.70
Geocampo temático com classes de susceptibilidade

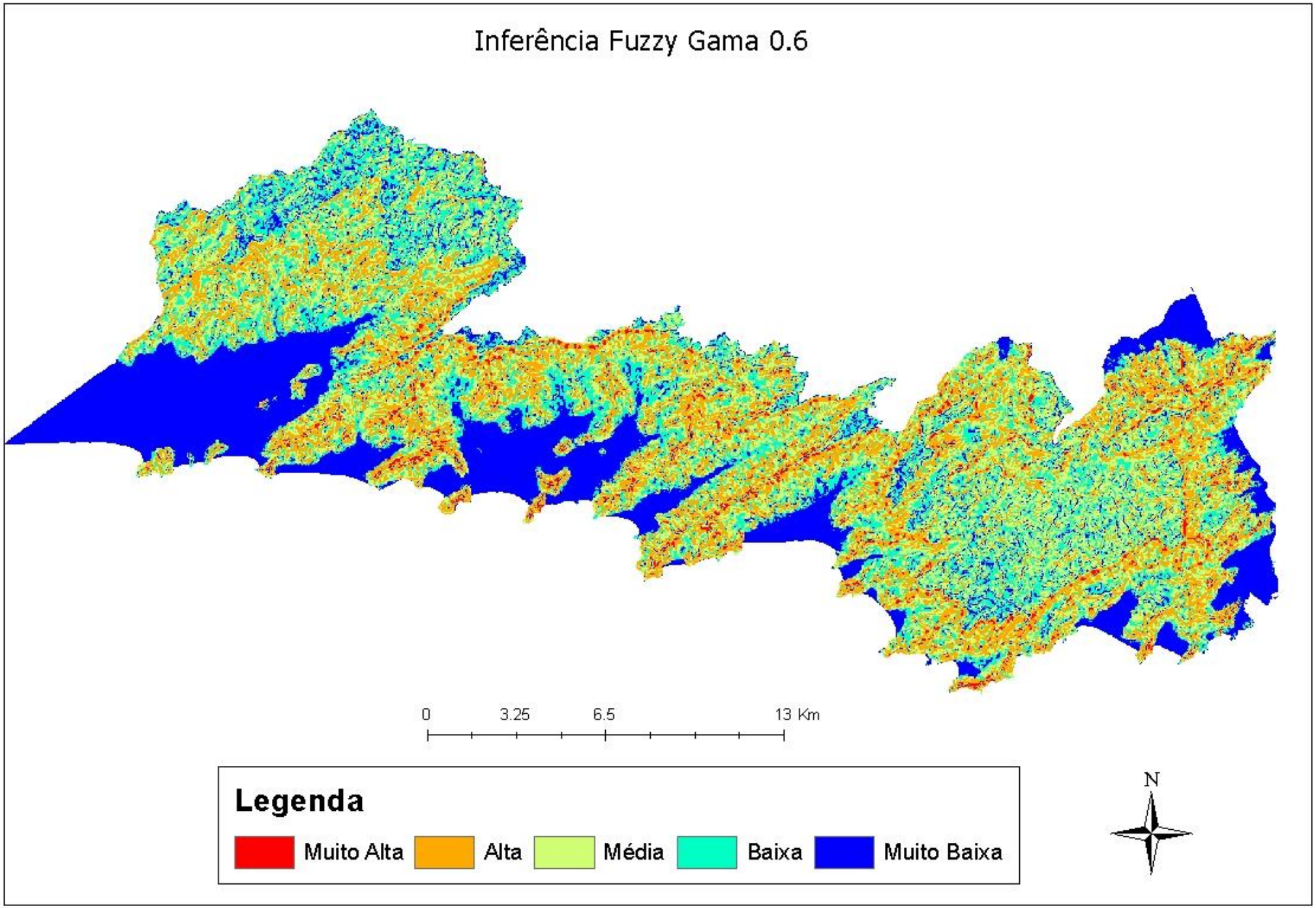
Resultados

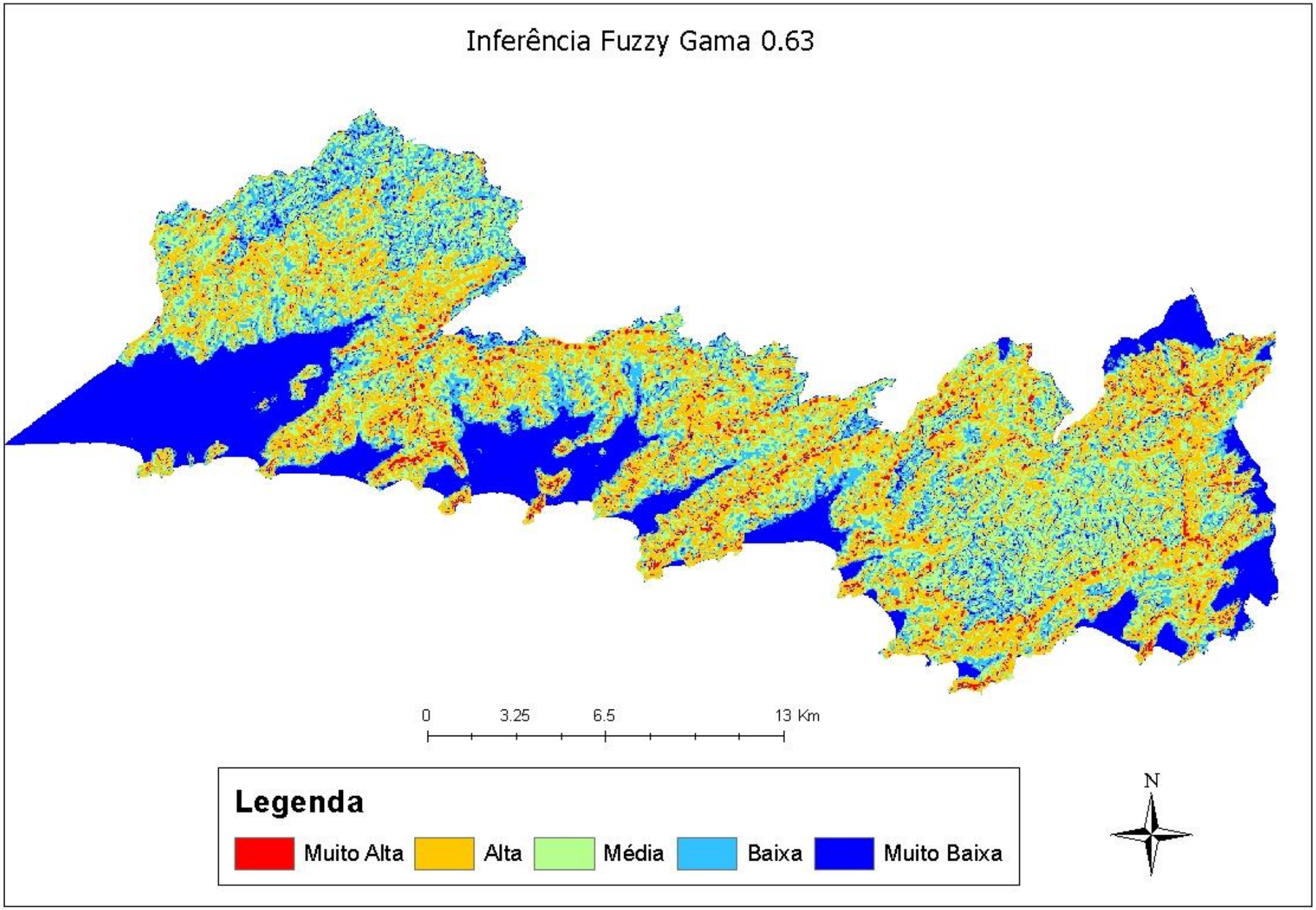
- Mapas de susceptibilidade de cada abordagem.
- Mapa do erro da abordagem Fuzzy Gama
- Mapa do desvio padrão entre as abordagem numéricas
- Tabela com a quantidade de eventos de movimento de massa ocorrido em cada classe, para cada mapa.

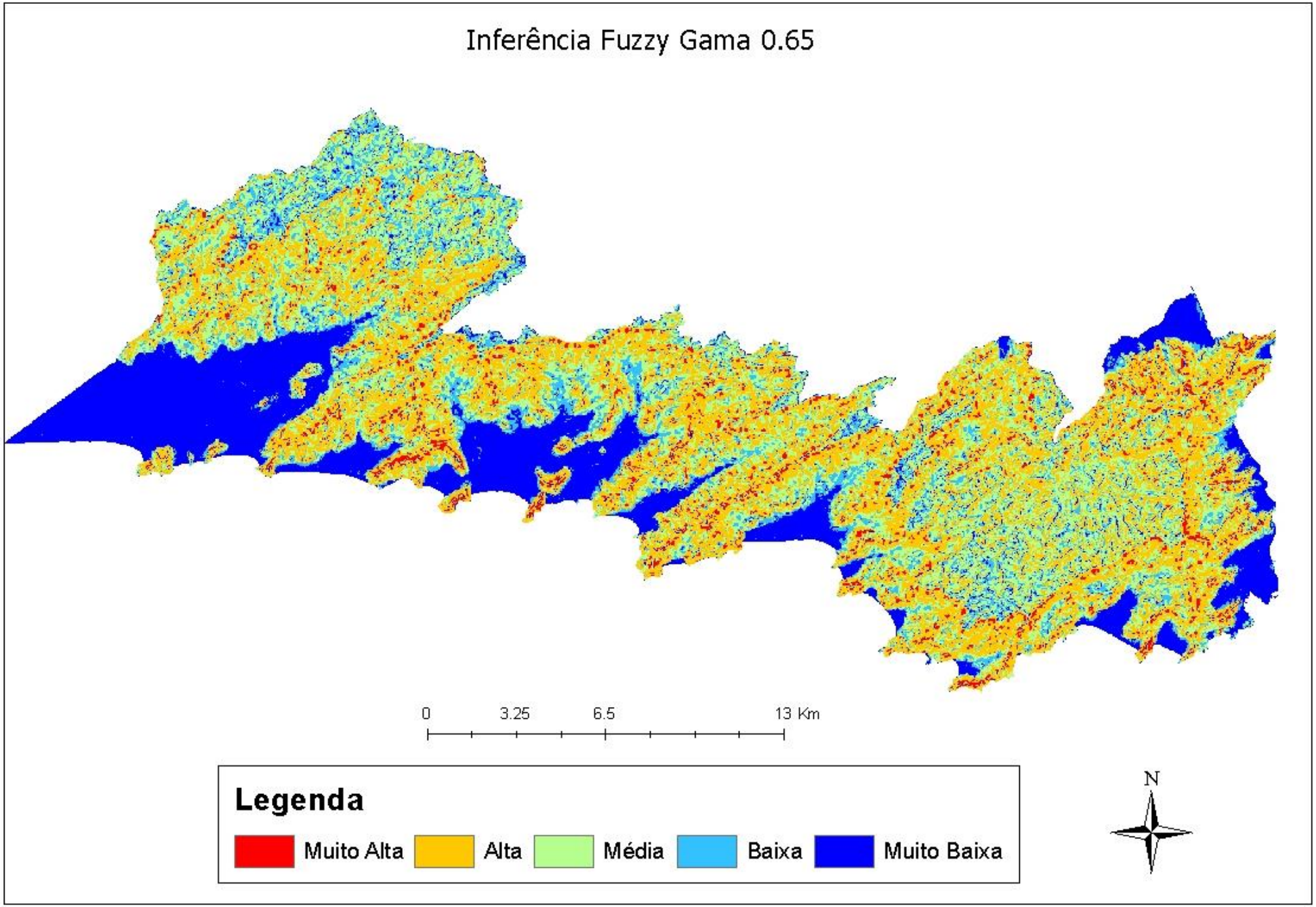

Inferência Boleano
0
3.25
6.5
13 Km
Legenda
Muito Alta
Alta
Muito Baixa
Baixa
Média
N

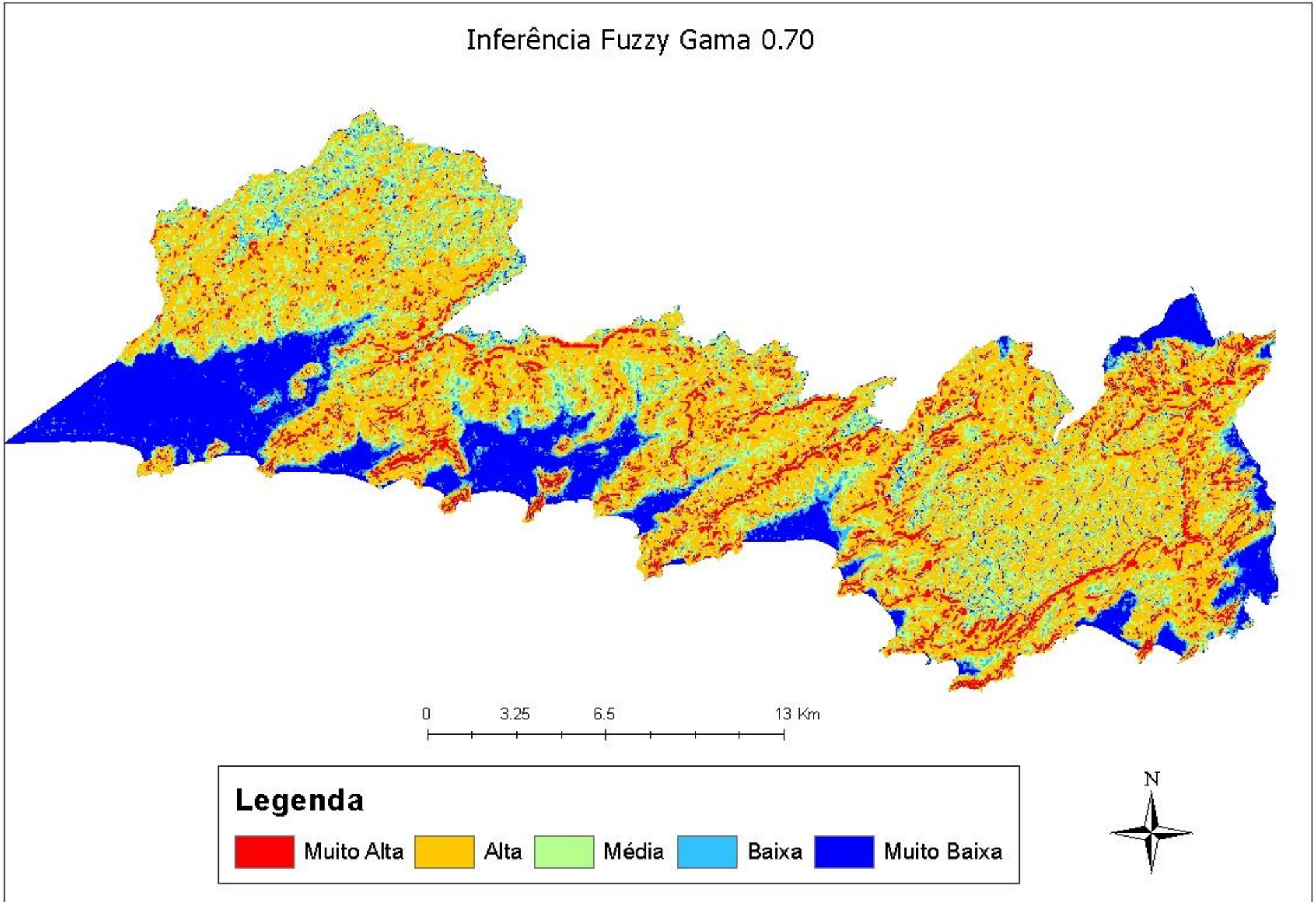

Inferência Média Ponderada
0
3.25
6.5
13 Km
Legenda
Muito Alta
Muito Baixa
Alta
Baixa
Média
N

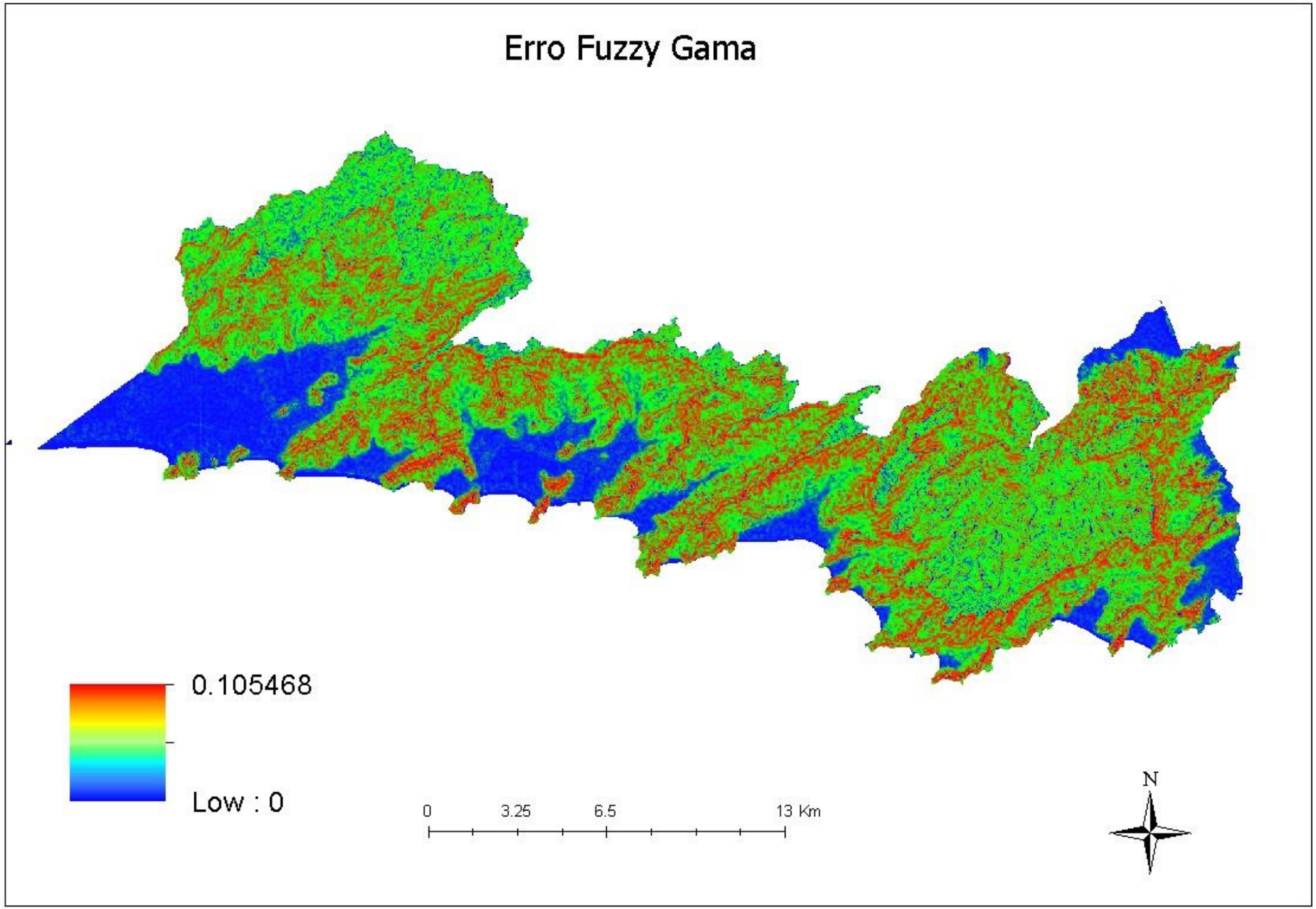

Inferência AHP
0
3.25
6.5
13 Km
Legenda
Muito Alta
Alta
Média
Muito Baixa
Baixa
N


Inferência Fuzzy Gama 0.6
0
3.25
6.5
13 Km
Legenda
Muito Alta
Alta
Média
Baixa
Muito Baixa
N


Inferência Fuzzy Gama 0.63
0
3.25
6.5
13 Km
Legenda
Muito Alta
Alta
Média
Baixa
Muito Baixa
N


Inferência Fuzzy Gama 0.65
0
3.25
6.5
13 Km
Legenda
Muito Alta
Alta
Média
Baixa
Muito Baixa
N

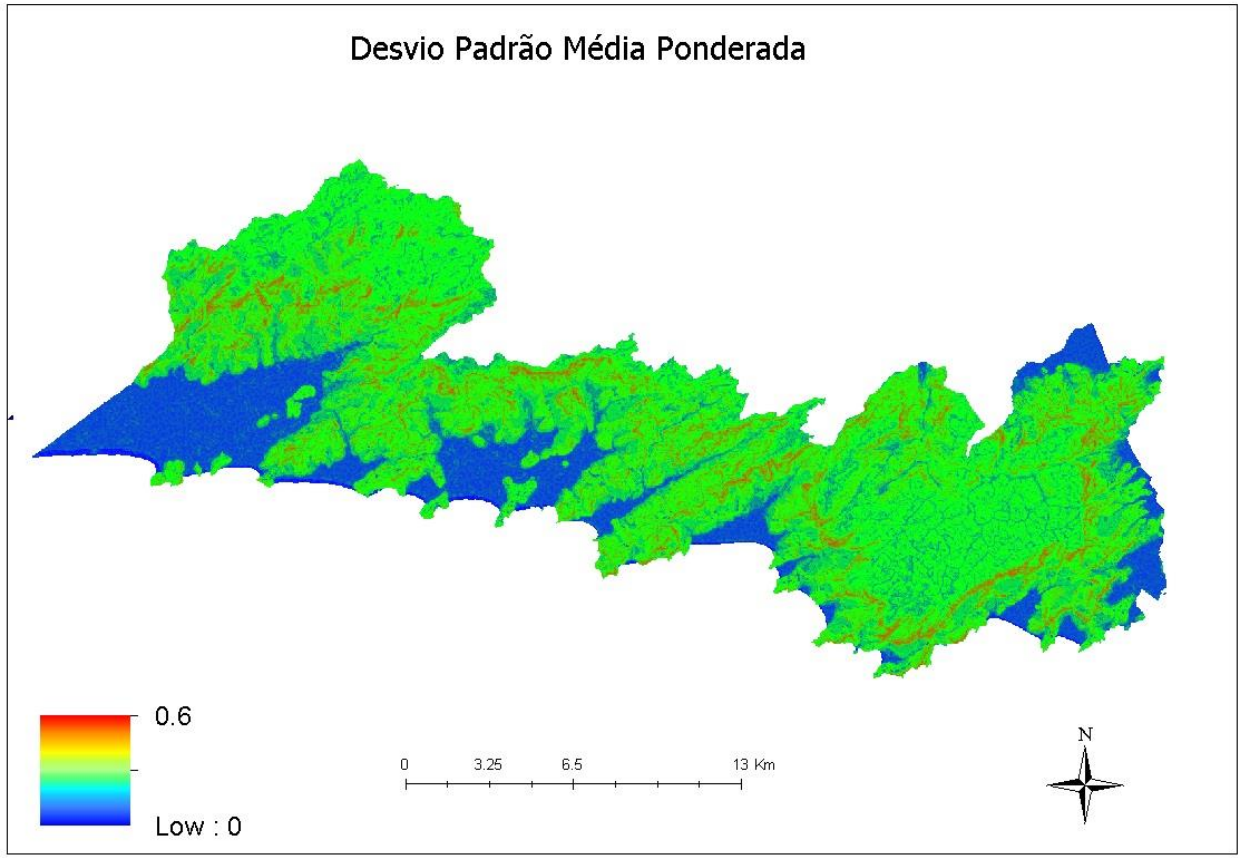

Inferência Fuzzy Gama 0.70
0
3.25
6.5
13 Km
Legenda
Muito Alta
Alta
Média
Baixa
Muito Baixa
N

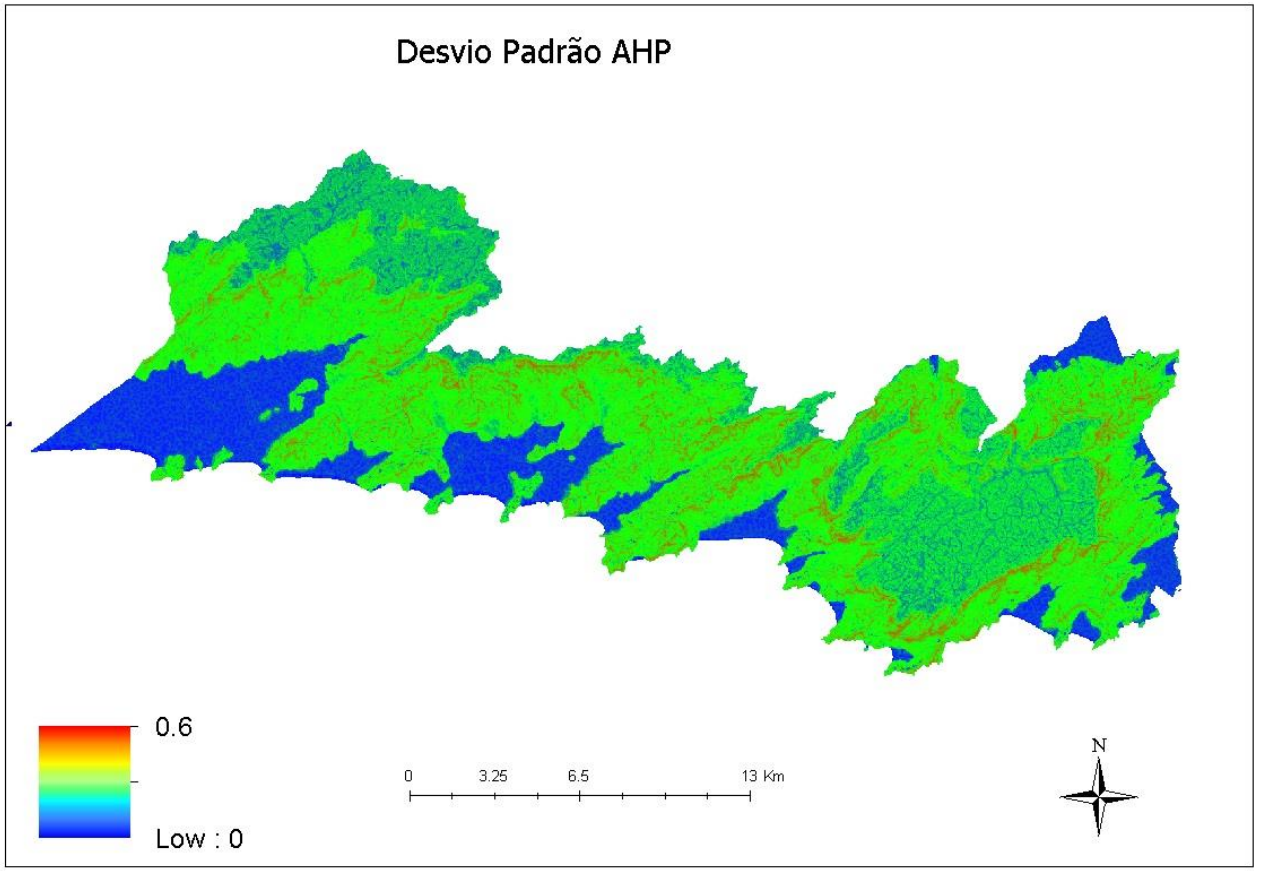


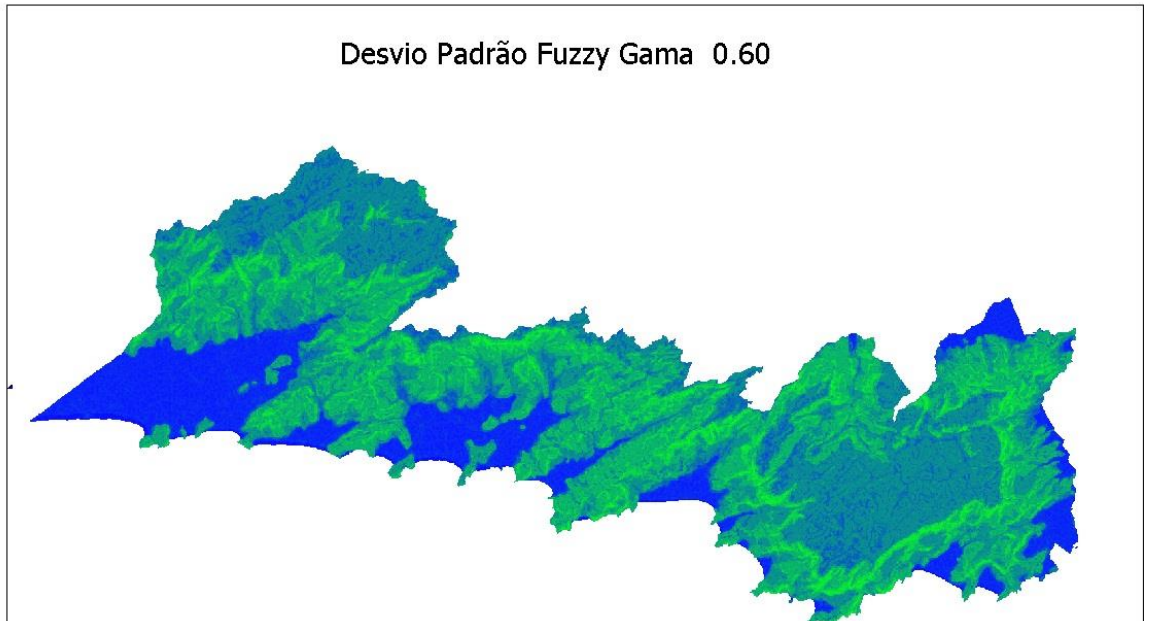
Gamma 0.7-Gamma 0.6

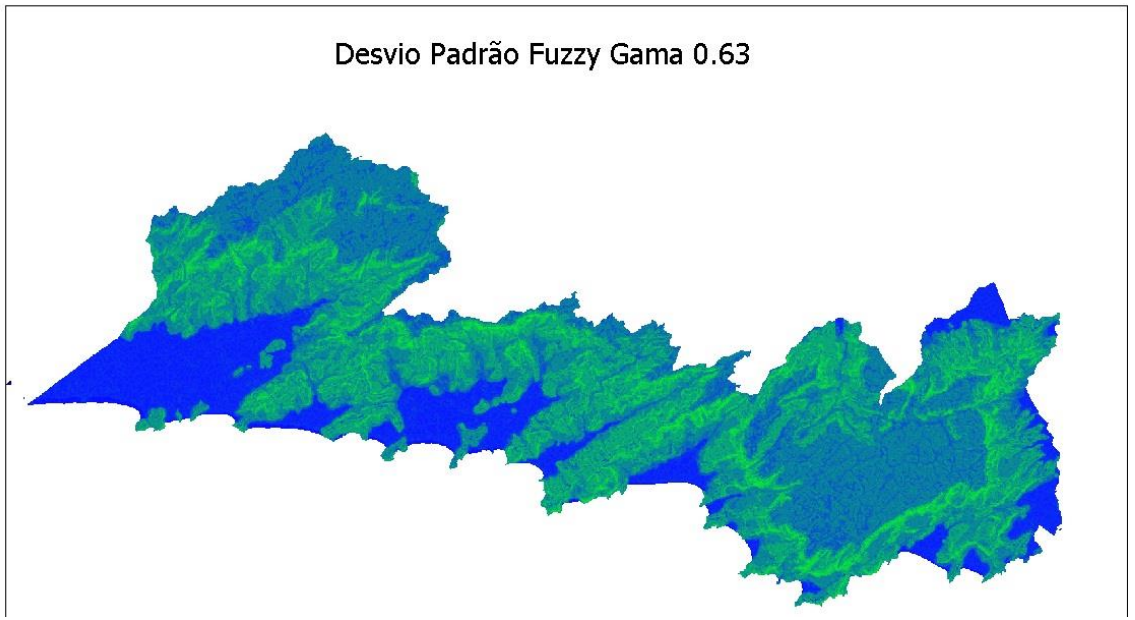
Erro máx de 10%

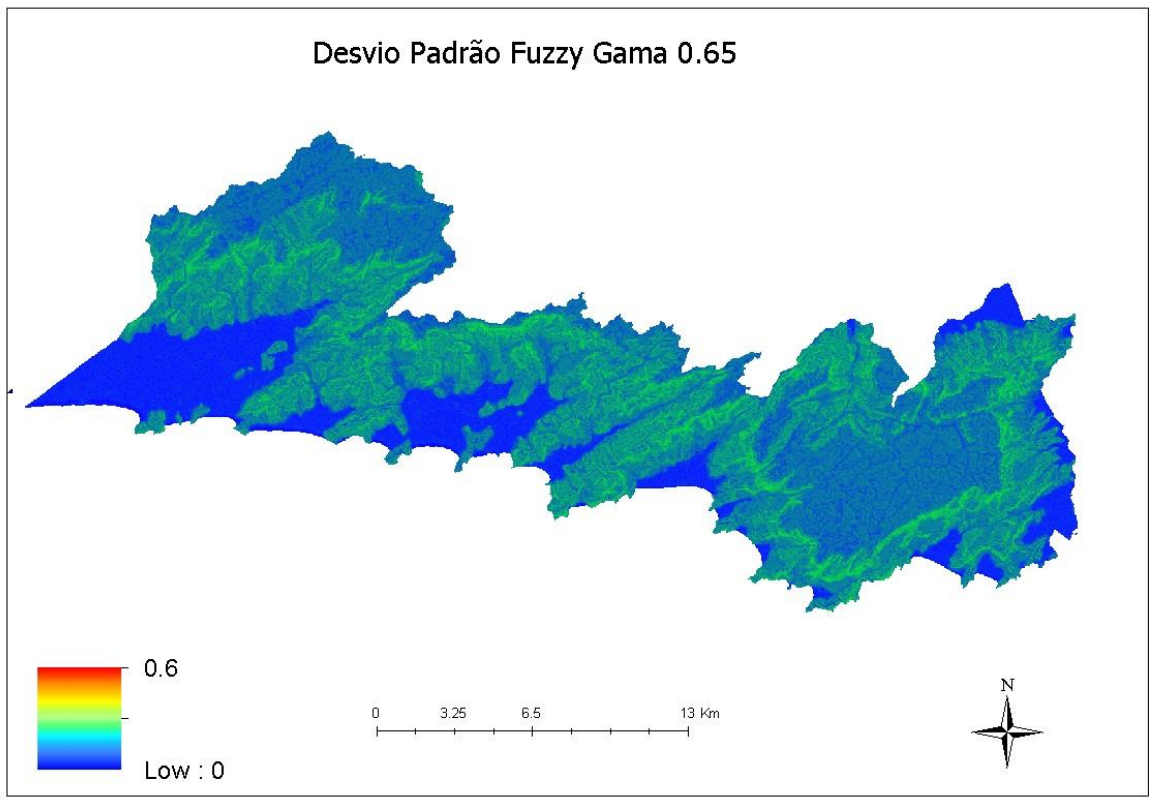
Maiores erros nas declividade maiores

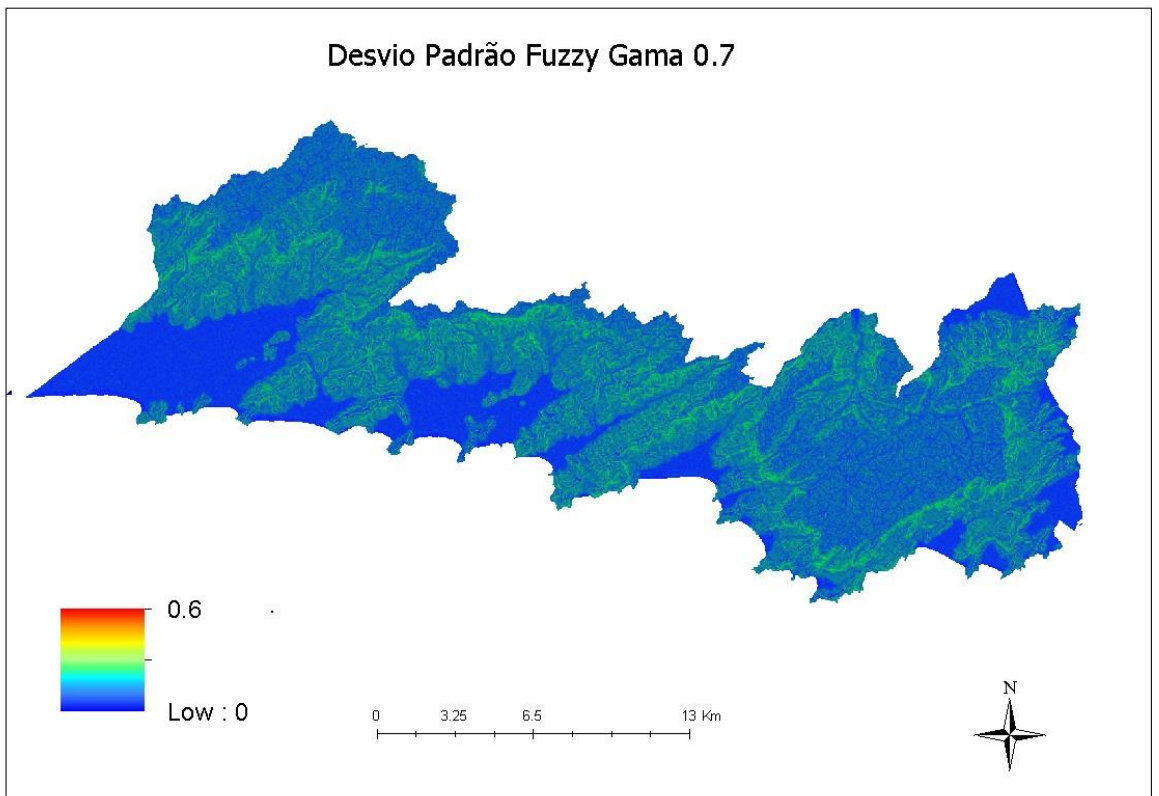

Desvio Padrão Média Ponderada
0.6
Low : 0
0
3.25
6.5
13 Km
N


Desvio Padrão AHP
0.6
Low : 0
0
3.25
6.5
13 Km
N


Desvio Padrão Fuzzy Gama 0.60


Desvio Padrão Fuzzy Gama 0.63


Desvio Padrão Fuzzy Gama 0.65
0.6
Low : 0
0
3.25
6.5
13 Km
N


Desvio Padrão Fuzzy Gama 0.7
0.6
Low : 0
0
3.25
6.5
13 Km
N

Ocorrência de eventos

ABORDAGEM	CLASSES				
	Muito alta	Alta	Media	Baixa	Muito baixa
BOLEANA	1.10%	0.37%	69.85%	0.00%	28.68%
MÉDIA PONDERADA	6.99%	29.41%	26.10%	9.56%	27.94%
AHP	6.25%	37.50%	20.96%	27.94%	7.35%
FUZZY GAMMA (γ=0.6)	2.94%	19.12%	26.47%	13.97%	37.50%
FUZZY GAMMA (γ=0.63)	5.15%	27.94%	20.96%	10.66%	35.29%
FUZZY GAMMA (γ=0.65)	6.62%	29.78%	19.49%	13.24%	30.88%
FUZZY GAMMA (γ=0.7)	12.13%	38.24%	12.50%	8.09%	29.04%
MAIORIA DE TODAS AS ABORDAGENS	5.9%	28.7%	25.7%	8.5%	31.3%

Conclusões

- Mapas como ferramenta de planejamento e tomada de decisão
- A escolha da técnica depende do tipo de dado utilizado
- Dados numéricos com abordagem Fuzzy Gamma produzem mapas mais detalhados, e com uma incerteza.
- A técnica AHP tem bons resultados quando utilizado um modelo apropriado.
- Propor outro modelo que explore melhor a exposição das pessoas ao movimento de massa, como observado pela ocorrência de eventos em classes de baixa susceptibilidade.
- Mapeamento das cicatrizes uso de modelos empíricos, e validação dos mapas.
- AHP entre as classes das variáveis

Referências Bibligráficas

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. DE. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao estudo da vulnerabilidade a movimentos de massa no município de São Sebastião-SP. **SIMPÓSIO LATINOAMERICANO DE PERCEPCIÓN REMOTA (SELPER)**, v. 9, p. 889–898, 2000.

BISPO, P. C.; DE ALMEIDA, C. M.; DE MORISSON VALERIANO, M.; DE MEDEIROS, J. S.; CREPANI, E. Análise da suscetibilidade aos movimentos de massa em São Sebastião (SP) com o uso de métodos de inferência espacial. **Geociências (São Paulo)**, v. 30, n. 3, p. 467–478, 2011.

MANDAL, B.; MANDAL, S. Analytical hierarchy process (AHP) based landslide susceptibility mapping of Lish river basin of eastern Darjeeling Himalaya, India. **Advances in Space Research**, v. 62, n. 11, p. 3114–3132, 2018.

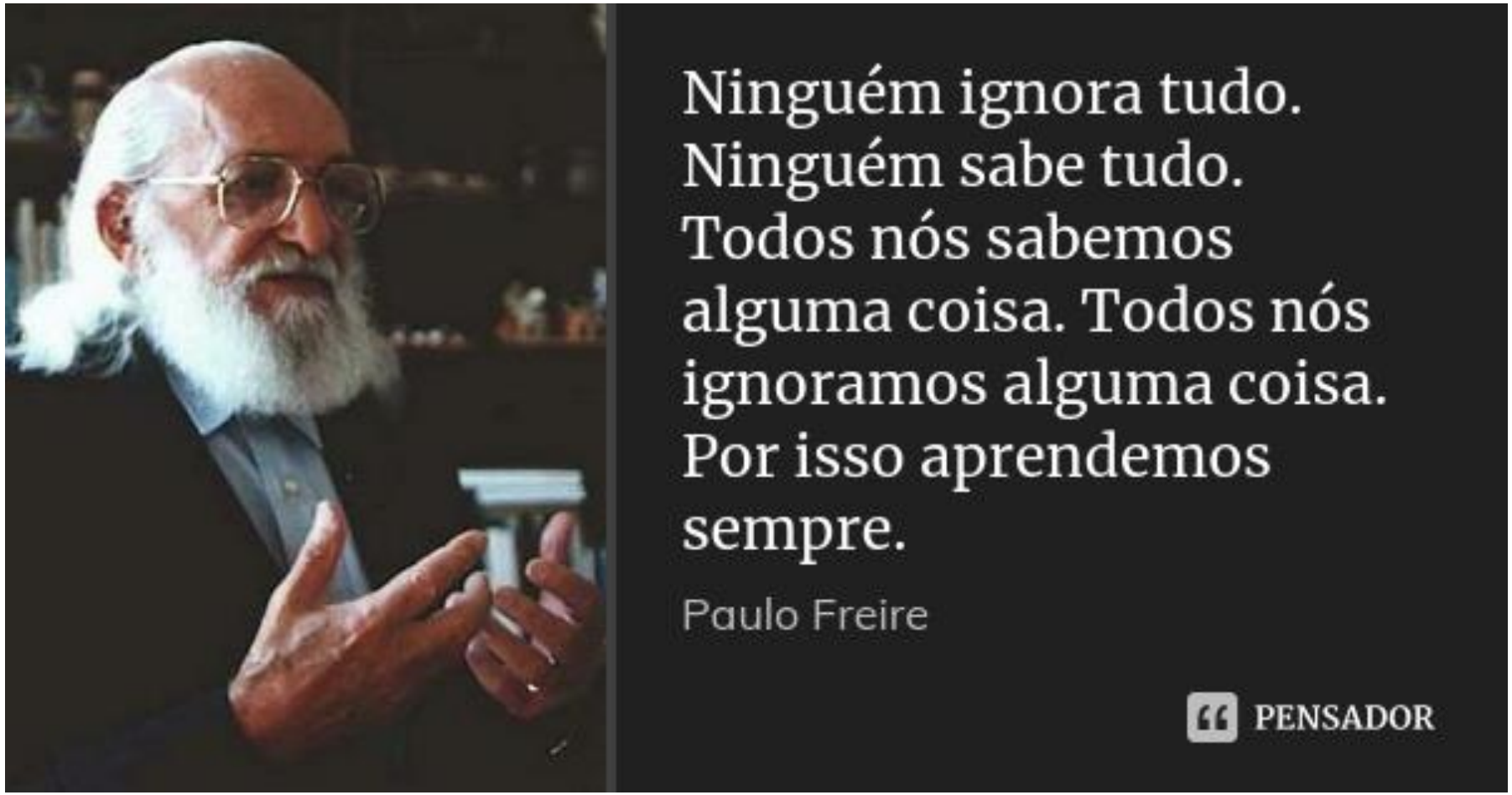
MUÑOZ, V. A. Análise comparativa de técnicas de inferência espacial para identificação de unidades de suscetibilidade aos movimentos de massa na região de São Sebastião, São Paulo, Brasil. **São José dos Campos**, 2005.

EFFGEN, J. F.; MARCHIORO, E. MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A MOVIMENTOS DE MASSA NO MUNICÍPIO DE VILA VELHA-ES, COM O USO DE ANÁLISE DE PROCESSOS HIERARQUIZADOS (AHP). **Geosciences= Geociências**, v. 36, n. 4, p. 731–742, 2017.

Agradecimentos

- A Dra. Cláudia Almeida, por disponibilizar o banco de dados existente e pela assistência.
- Ao Dr. Márcio Valeriano, Dr. Eymar Lopes e Dr. Joao Pedro pelas dicas.
- Aos professores da disciplina e aos discentes
- A Msc. Renata Quevedo por compartilhar suas experiências e pesquisas.

Obrigada!



Fonte: https://www.pensador.com/frase/NzkzMjkz/