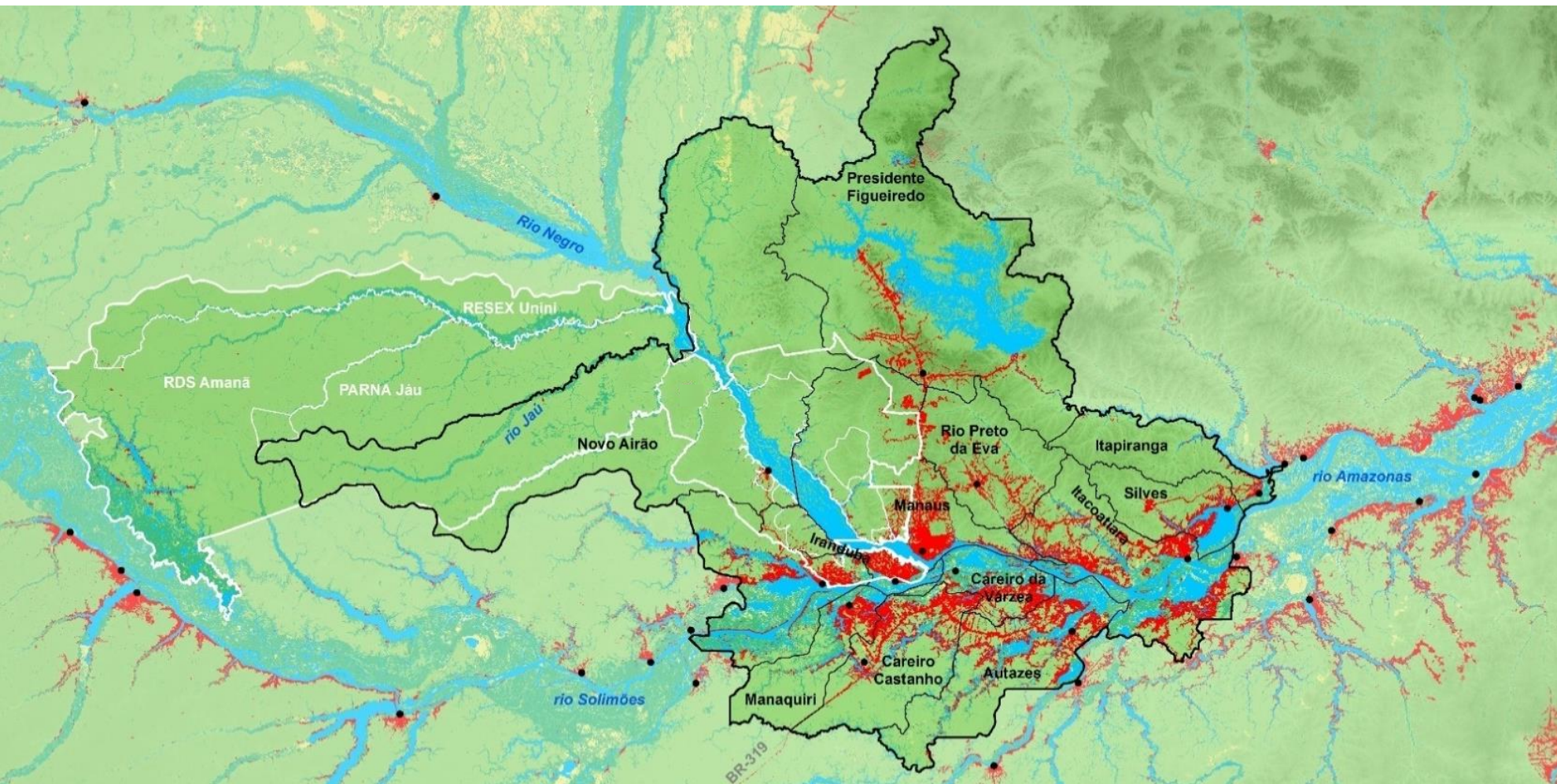


# Índice de Exposição relacionado a eventos de Deslizamentos e Movimentos de Massa e Enchentes e Inundações para os municípios da Região Metropolitana de Manaus

CST-310-3 População, Espaço e Meio Ambiente



Ciência para sustentabilidade

Discente: Marcelo A. dos Santos Jr. / Docentes: Dra. Silvana Amaral Kappel e Dr. Antônio Miguel V. Monteiro

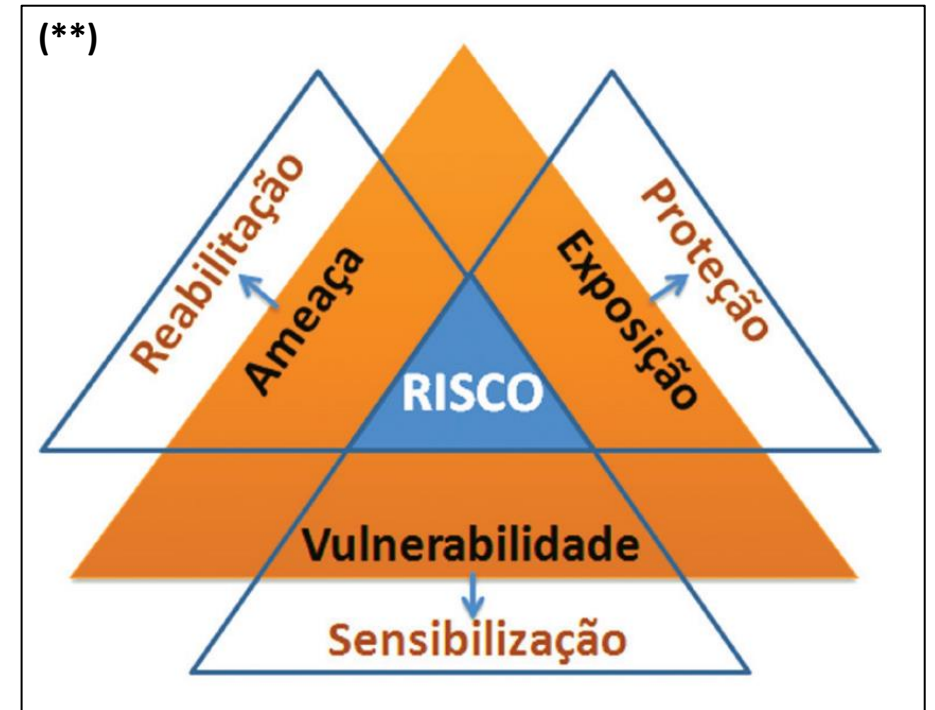
São José dos Campos - Setembro de 2020



# Componentes no estudo dos Riscos

(\*) 
$$R = (A \times [V / C]) - M$$

RISCO	AMEAÇA	VULNERABILIDADE	CAPACIDADE DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL	POLÍTICAS DE MITIGAÇÃO (LARGA ESCALA)
Combinação da probabilidade de un evento e seu impacto negativo	Processo, fenômeno ou atividade humana que pode ocasionar impactos	Características e circunstâncias das pessoas, seus bens e meios de vida que os tornam sujeitos aos efeitos danosos de uma ameaça	Meios físicos, sociais e econômicos, conhecimentos e habilidades para antecipar, resistir, fazer frente e se recuperar dos impactos	Políticas públicas que atuam sobre o perigo e/ou reduzem o potencial de perdas e danos e criam consciência, preparação e capacidades
				

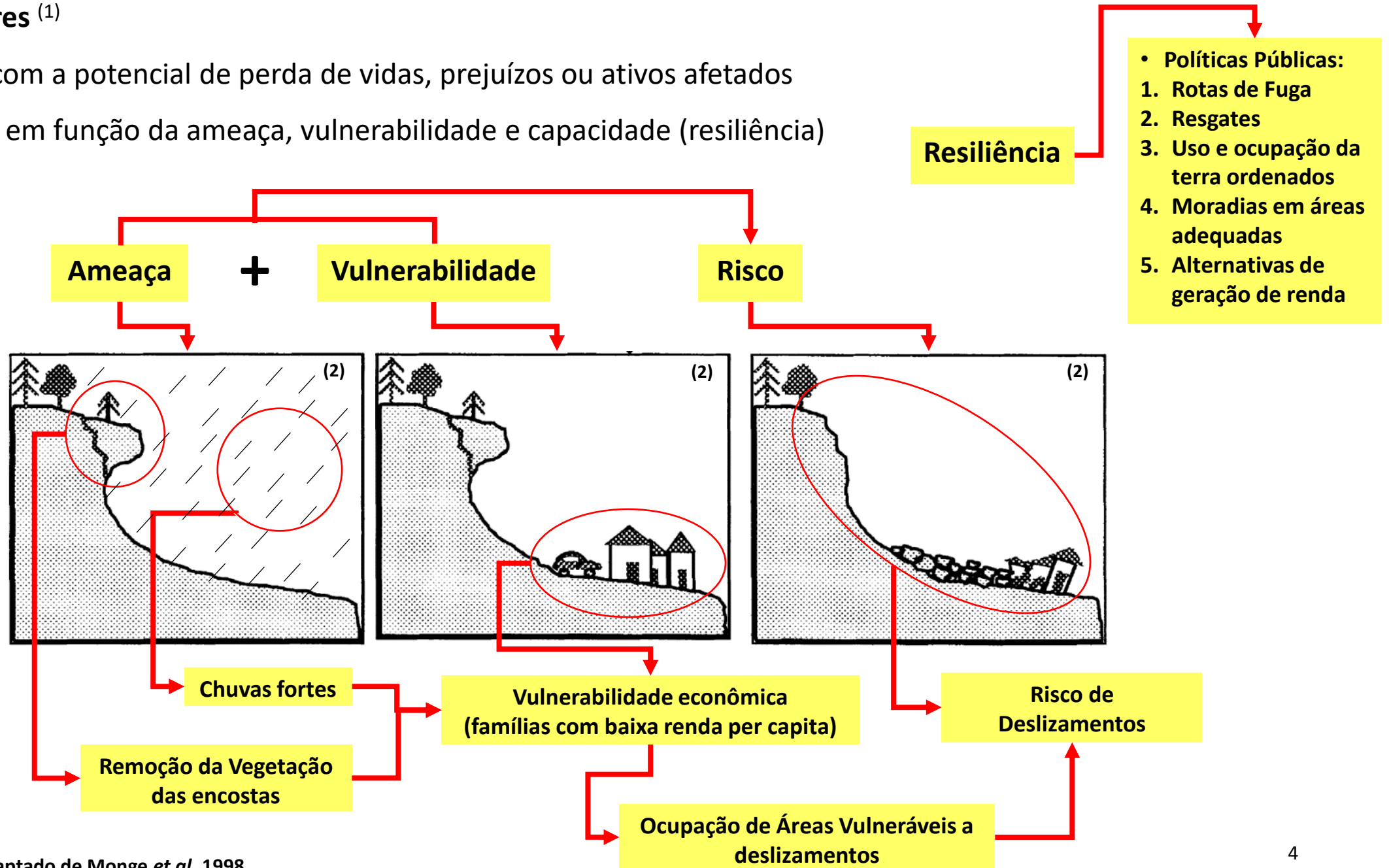


# Componentes no estudo dos Riscos

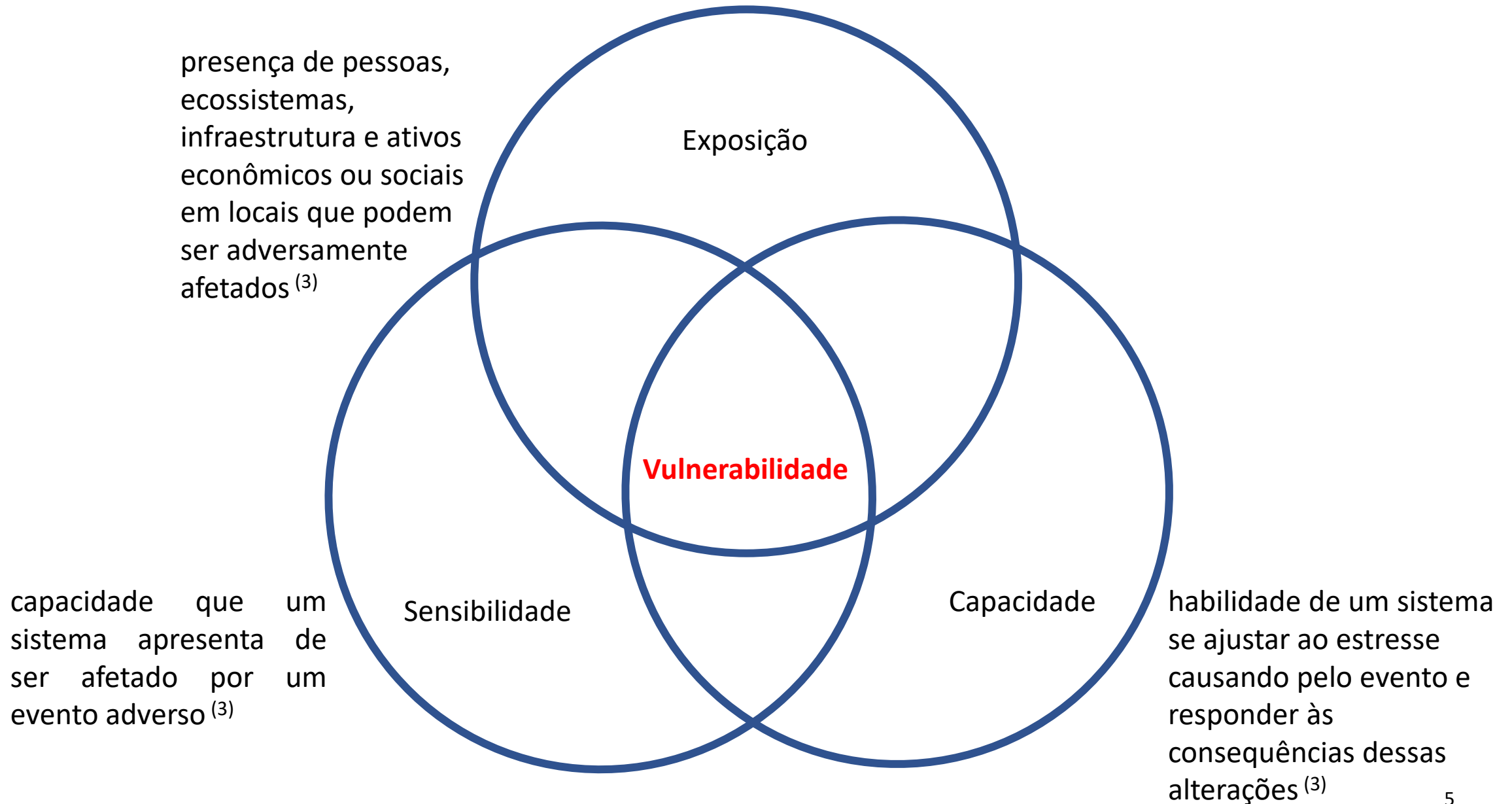


## Risco de desastres <sup>(1)</sup>

- relacionado com a potencial de perda de vidas, prejuízos ou ativos afetados
- determinado em função da ameaça, vulnerabilidade e capacidade (resiliência)

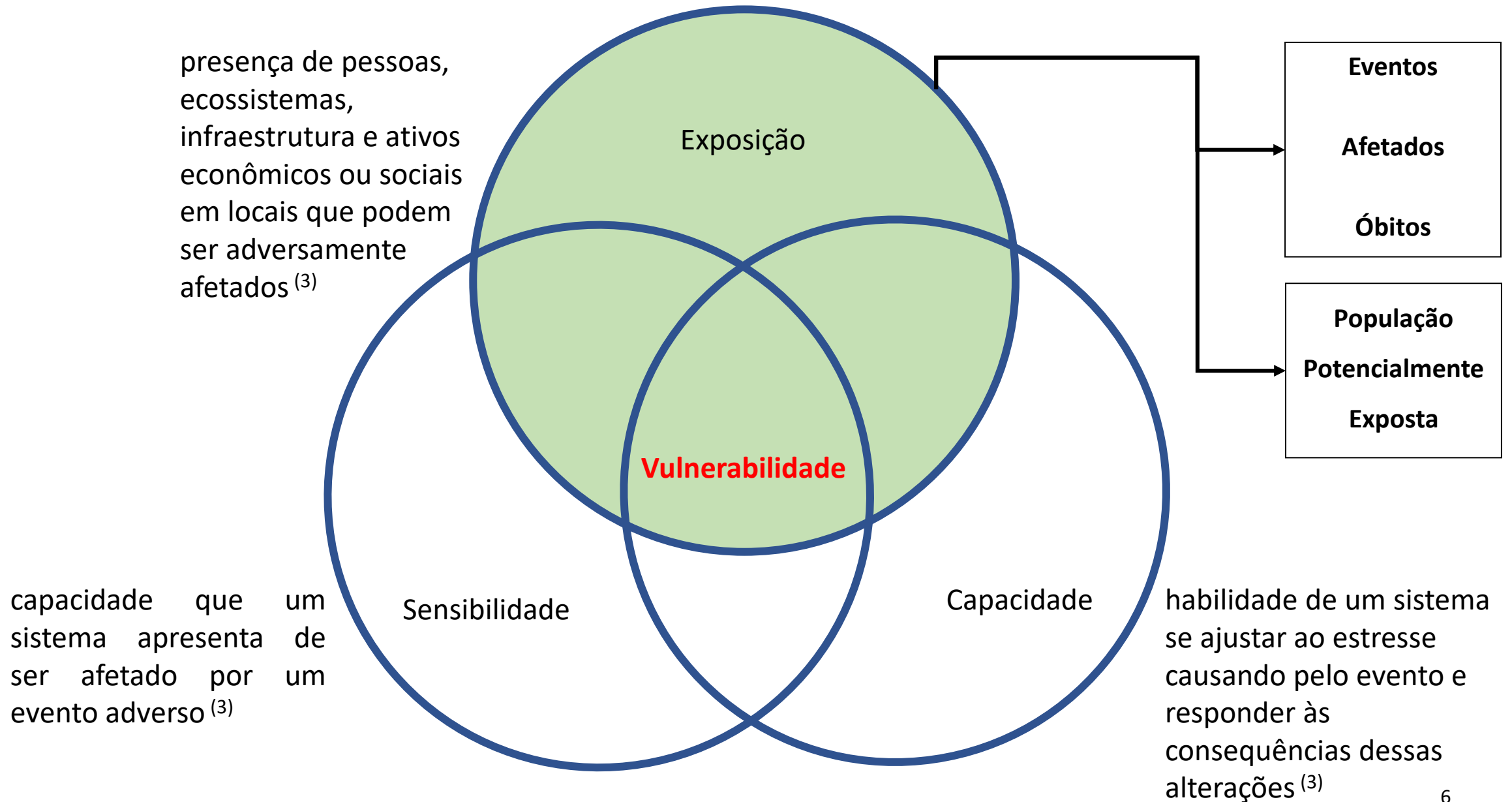


# Componentes no estudo da Vulnerabilidade



(3) Turner II et al. 2003; O'BRIEN et al., 2004; ADGER, 2006; IPCC, 2007; Obermaier e Rosa, 2013; IPCC, 2014; UNISDR, 2017

# Deslizamentos e Movimentos de Massa e Enchentes e Inundações



(3) Turner II et al. 2003; O'BRIEN et al., 2004; ADGER, 2006; IPCC, 2007; Obermaier e Rosa, 2013; IPCC, 2014; UNISDR, 2017



## Região Metropolitana de Manaus – RMM

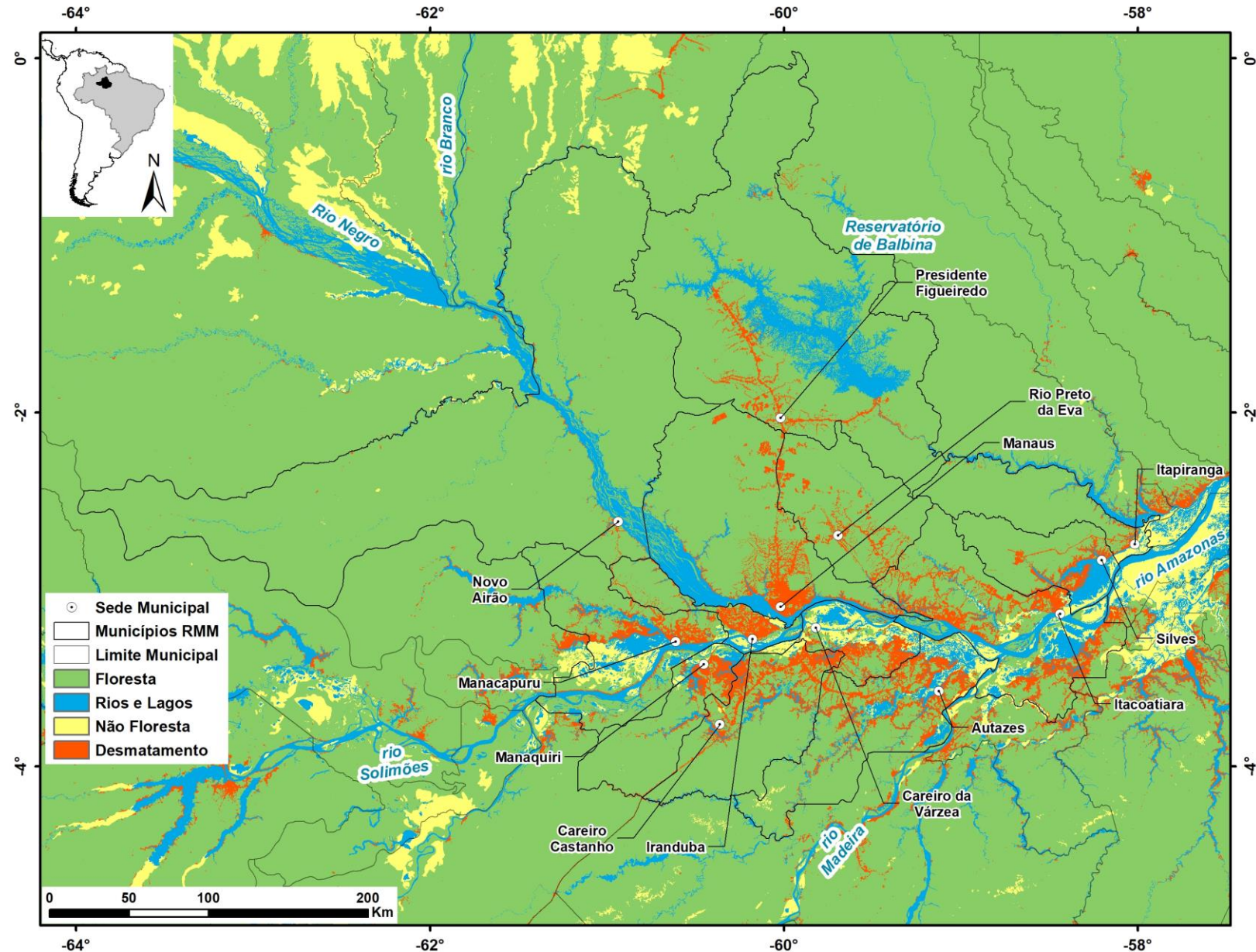
- 13 Municípios:

- Autazes
- Careiro Castanho
- Careiro da Várzea
- Iranduba
- Itacoatiara
- Itapiranga
- Manacapuru
- Manaquiri
- Manaus
- Novo Airão
- Presidente Figueiredo
- Rio Preto da Eva
- Silves

- Área: 127.287,789 km<sup>2</sup>

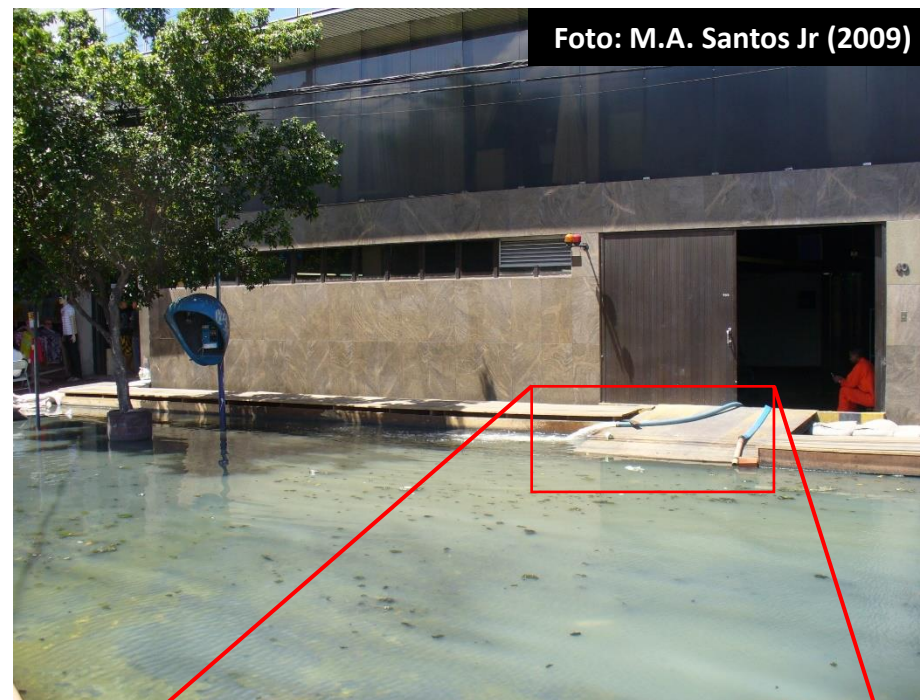
- Habitantes:

- 2010: 2.106.322
- 2019: 2.676.936





# Enchentes e Inundações (Centro de Manaus)





# Deslizamentos e Movimentos de Massa

Foto: M.A. Santos Jr (2017)

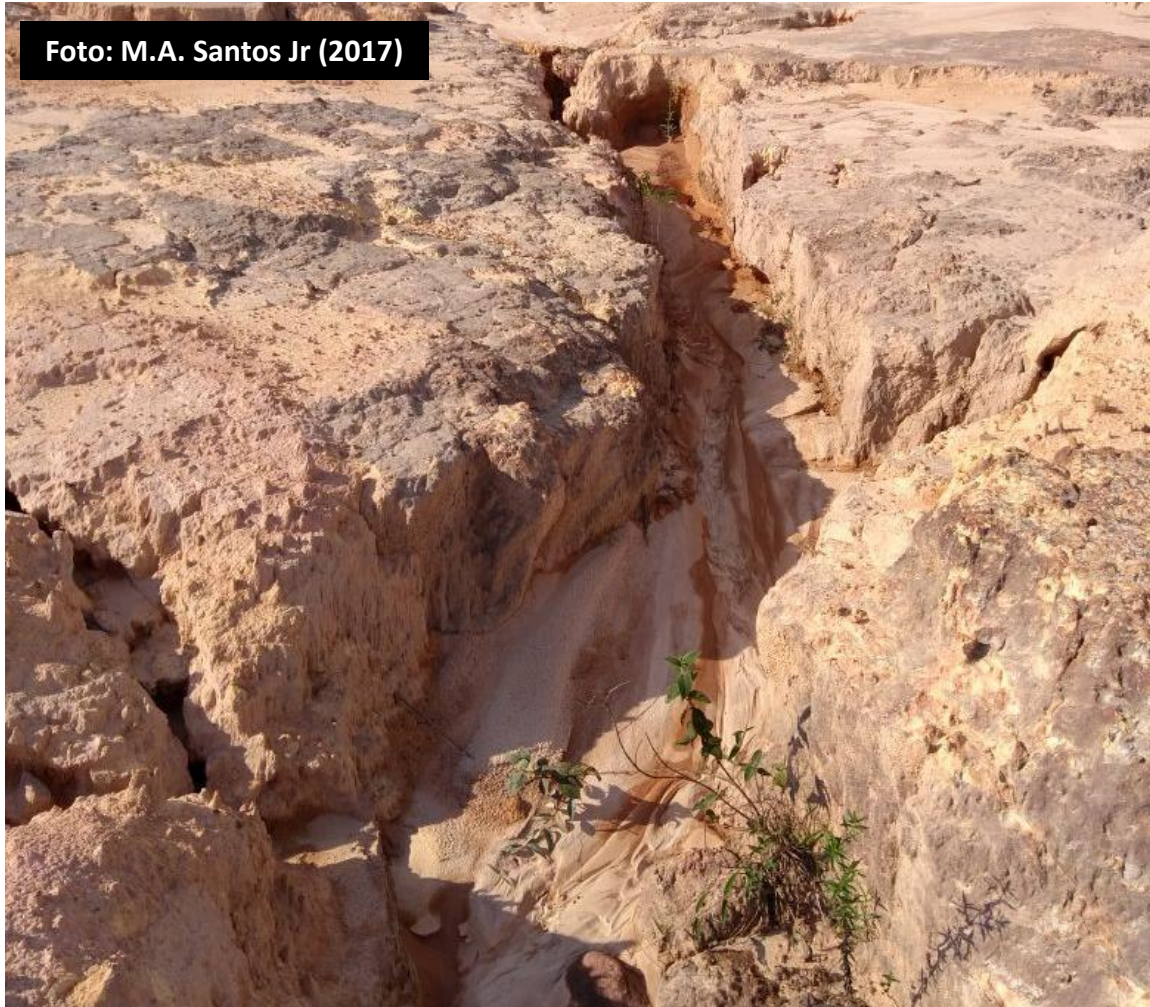


Foto: Acervo FVA (2019)



# Métodos

## 1. Dados:

- PRODES (INPE, desmatamento);
- TERRACLAS (INPE, uso e cobertura da terra);
- DEGRAD (INPE, áreas degradadas);
- Venticique *et al.* 2016 (*wetlands*);
- ALOS PALSAR (florestas alagáveis);
- SIPAM (RADAM, tipo de solo, tipo de vegetação, hidrografia);
- SRTM (altitude);
- HAND (elaborado pelo autor);
- Worldclim (precipitação);
- IBGE (grade estatística);
- FVA (mapeamento de campinas amazônicas na RMM);
- Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (CEPED UFSC 2013) e do Sistema Integrado de Informações sobre desastres (S2ID) (eventos, afetados e óbitos).



# Métodos

## 2. Análises:

- **2.1: AHP - Análise Hierárquica Ponderada**

Elaboração dos mapas de suscetibilidade

- **2.3: População Potencialmente Exposta**

Padronização dos valores dos mapas para variarem de 0 a 1;

Classificação em 5 categorias;

Intersecção das categorias 1 e 2 com a grade estatística.

- **2.3: Cálculo dos Índices**

Cálculo das proporções de população potencialmente exposta, de eventos, de afetados e de óbitos;

Atribuição de pontuações relativas graduais de 1 a 5 para as variáveis utilizando o método dos percentis;

Padronização das médias para variarem de 0 a 1.

Agregação das variáveis pontuadas por meio de média aritmética no mapa final;

Padronização das médias para variarem de 0 a 1.

# Análise Hierárquica Ponderada – AHP (4)

1

Matriz de hierarquização (importância dos fatores de risco)

Intensidade de Importância	Definição (18)
1	Igual importância entre os elementos
3	Importância moderada de um elemento sobre outro
5	Importância grande ou essencial de um elemento sobre outro
7	Importância muito grande ou demonstrada de um elemento sobre outro
9	Importância absoluta de um elemento sobre outro
2, 4, 6, 8	Valores Intermediários de importância de um elemento sobre outro
Incremento 0,1	Valores Intermediários de importância de um elemento sobre outro na graduação mais fina de 0,1

2

Matriz de hierarquização normalizada

Fatores	Variável 01	Variável 02	Variável 03
Variável 01	1	3	5
Variável 02	0.333	1	3
Variável 03	0.200	0.333	1
Soma (coluna)	1.533	4.333	9.0

3

Vetor de peso (W)

Fatores	Variável 01	Variável 02	Variável 03	Média (linha)
Variável 01	0.652	0.692	0.556	0.6333
Variável 02	0.217	0.231	0.333	0.2605
Variável 03	0.130	0.077	0.111	0.1062

Fatores	Peso (W)
Variável 01	0.6333
Variável 02	0.2605
Variável 03	0.1062



# Análise Hierárquica Ponderada – AHP <sup>(4)</sup>

- Avaliação se a distribuição dos pesos foi bem-sucedida;
- Razão de consistência (RC)
  - $RC = IC / IR$ ;
  - $IR$  = Índice Randômico de Consistência Médio;
  - $IC$  = Índice de consistência =  $(\lambda_{max} - n) / (n-1)$
  - $n$  = número de critérios;
  - $\lambda_{max}$  = maior autovalor da matriz
  - $Matriz\ w = \lambda_{max} * w$
  - O valor de RC deve ser abaixo de 0.10 <sup>(5)</sup>

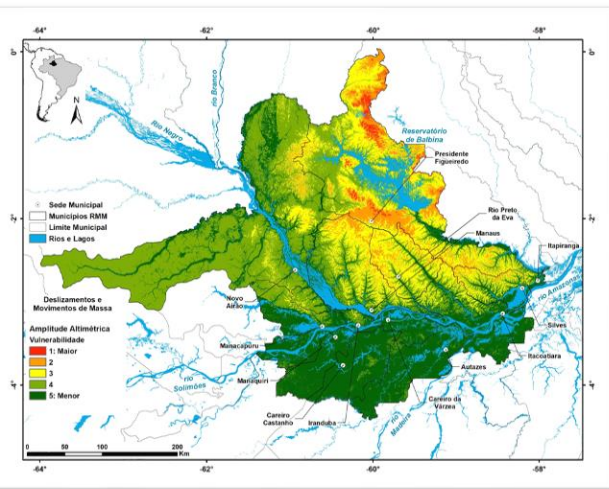
Índice randômico de consistência médio para matrizes quadradas de ordem “n”.

	Dimensão da Matriz Quadrada <sup>(6)</sup>														
n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ICR	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

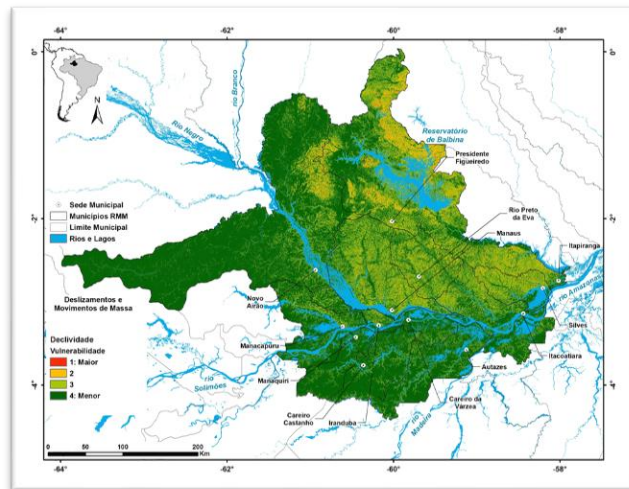
# Variáveis para análise de Suscetibilidade a Deslizamentos categorizadas de alta a baixa vulnerabilidade

- Água
- Alto
- Mod. Alto
- Moderado
- Mod. Baixo
- Baixo

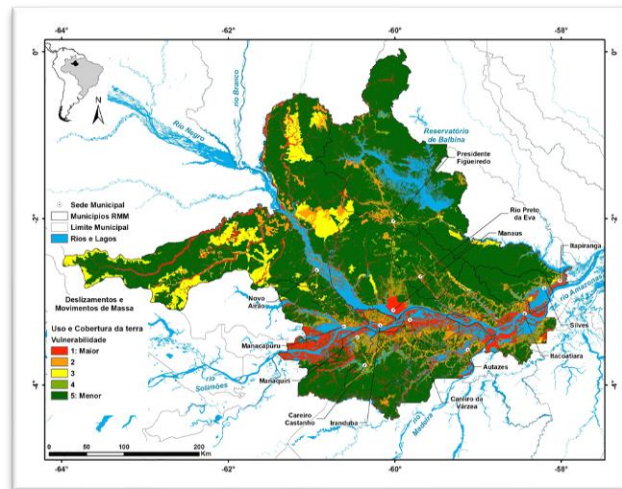
Amplitude Altimétrica



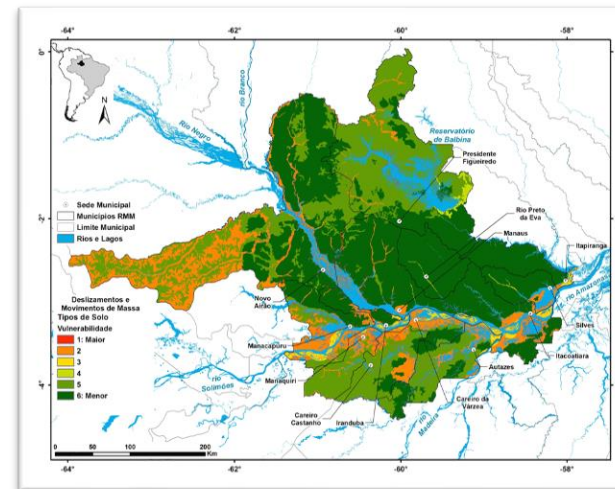
Declividade



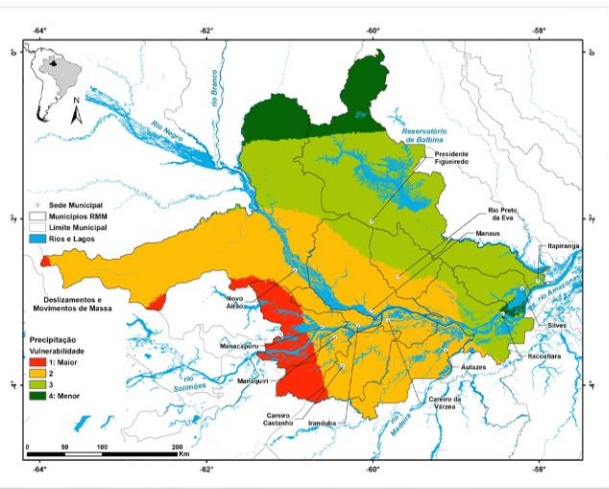
Uso e Cobertura da terra



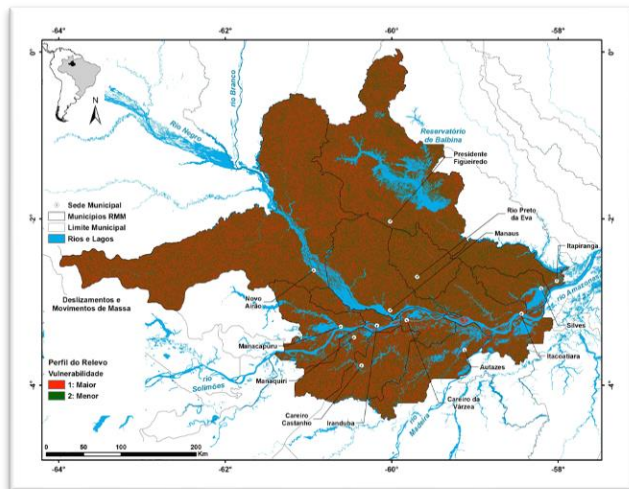
Tipo de Solo



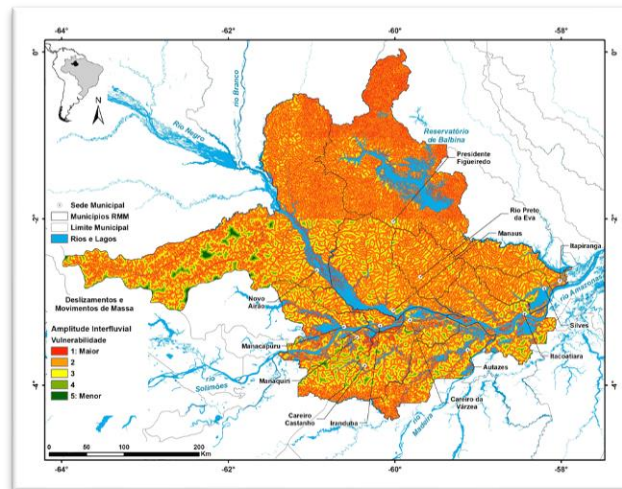
Precipitação



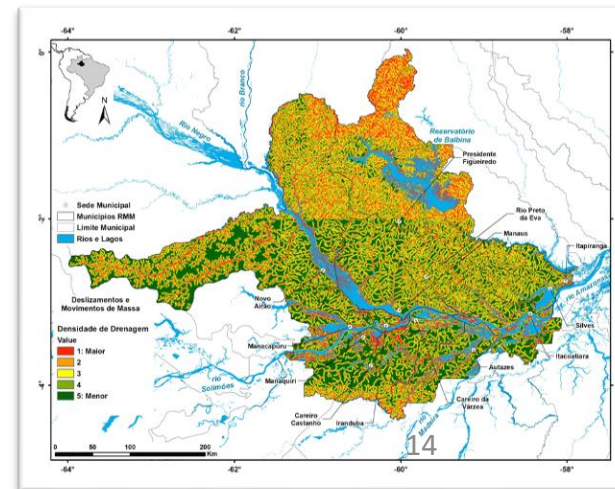
Perfil do Relevo



Amplitude Interfluvial



Densidade de Drenagem

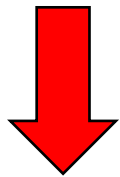




# Suscetibilidade a Deslizamentos

## Análise Hierárquica Ponderada – AHP (4)

Matriz de hierarquização de importância dos fatores de risco de deslizamentos	Fatores	Amplitude Altimétrica	Declividade	Uso da terra	Tipo de Solo	Pluviometria	Perfil do Relevo	Amplitude Interfluvial	Densidade de Drenagem
	Amplitude Altimétrica	1	1	3	5	7	7	9	9
	Declividade	1	1	1	3	5	7	7	9
	Uso da terra	0.333	1	1	1	3	5	7	7
	Tipo de Solo	0.200	0.333	1	1	1	3	5	7
	Pluviometria	0.143	0.200	0.333	0.429	1	1	3	5
	Perfil do Relevo	0.143	0.143	0.200	0.429	1	1	1	3
	Amplitude Interfluvial	0.111	0.143	0.143	0.333	0.778	0.778	1	1
	Densidade de Drenagem	0.111	0.111	0.143	0.333	0.778	0.778	1	1



Matriz de hierarquização <u>normalizada</u> de importância dos fatores de risco de deslizamentos	Fatores	Amplitude Altimétrica	Declividade	Uso da terra	Tipo de Solo	Pluviometria	Perfil do Relevo	Amplitude Interfluvial	Densidade de Drenagem
	Amplitude Altimétrica	0.329	0.254	0.440	0.434	0.358	0.274	0.265	0.214
	Declividade	0.329	0.254	0.147	0.260	0.256	0.274	0.206	0.214
	Uso da terra	0.110	0.254	0.147	0.087	0.153	0.196	0.206	0.167
	Tipo de Solo	0.066	0.085	0.147	0.087	0.051	0.117	0.147	0.167
	Pluviometria	0.047	0.051	0.049	0.037	0.051	0.039	0.088	0.119
	Perfil do Relevo	0.047	0.036	0.029	0.037	0.051	0.039	0.029	0.071
	Amplitude Interfluvial	0.037	0.036	0.021	0.029	0.040	0.030	0.029	0.024
	Densidade de Drenagem	0.037	0.028	0.021	0.029	0.040	0.030	0.029	0.024

**Pesos (W)**

$$\lambda_{max} = 8,871; IC = 0,124; IR = 1,41; RC = 0,0883$$

(4) Saaty 1977, 1987, 1990, 1994

# Suscetibilidade a Deslizamentos

## Análise Hierárquica Ponderada – AHP

Pesos de hierarquização de importância dos fatores de risco de deslizamentos

Fatores	Pesos (w)
Amplitude Altimétrica	0.3210
Declividade	0.2425
Uso da terra	0.1649
Tipo de Solo	0.1083
Pluviometria	0.0602
Perfil do Relevo	0.0426
Amplitude Interfluvial	0.0308
Densidade de Drenagem	0.0298

### Equação para Risco de Deslizamentos

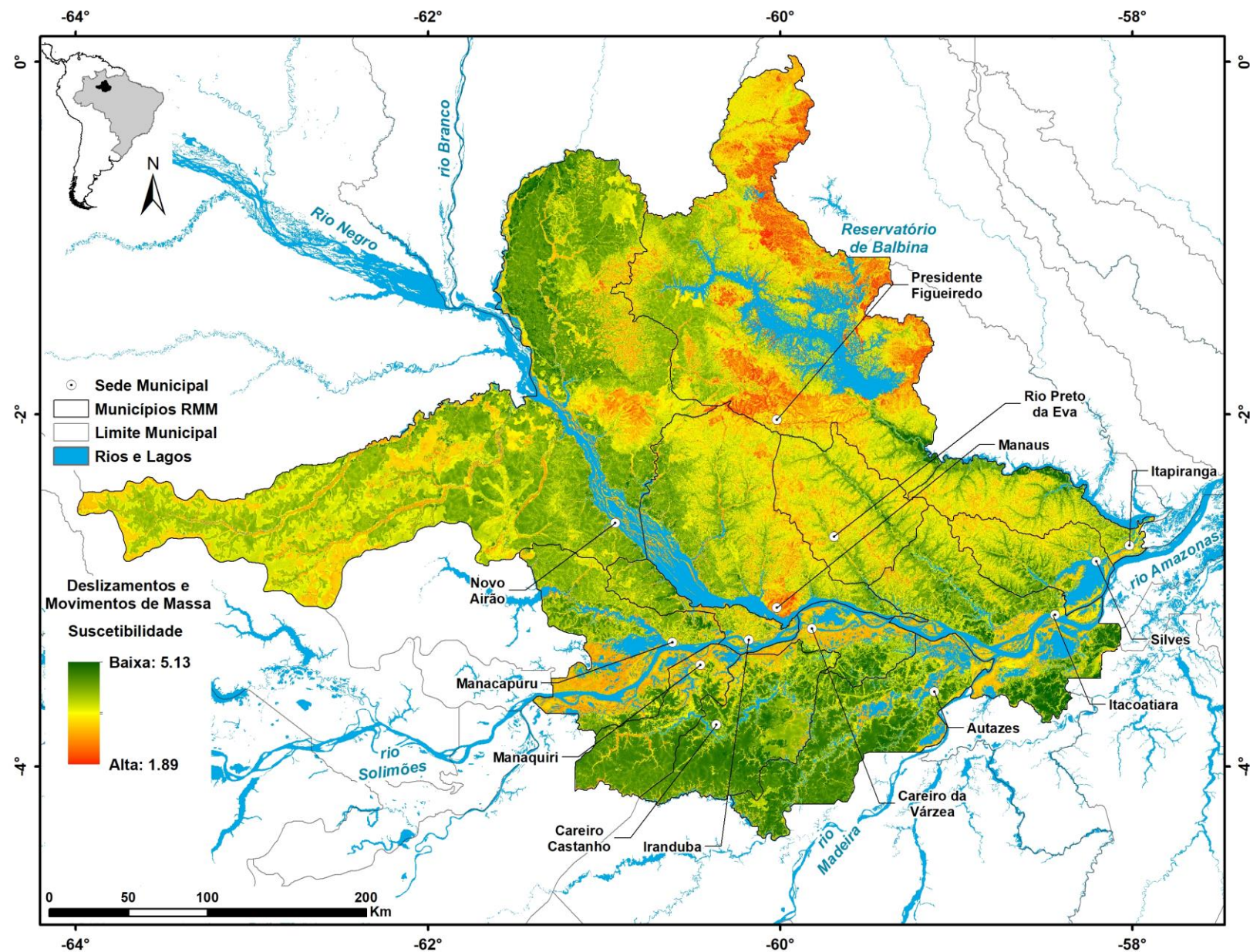
$$\text{RID} = 0,3210 * \text{AA} + 0,2425 * \text{DC} + 0,1649 * \text{US} + 0,1083 * \text{TS} + 0,0602 * \text{CP} + 0,0426 * \text{PT} + 0,0308 * \text{AI} + 0,0298 * \text{DD}$$

RID = Índice de Risco de Deslizamentos  
AA = Amplitude Altimétrica  
AI = Amplitude dos Interflúvios  
CP = Comportamento Pluviométrico  
DC = Declividade  
DD = Densidade de Drenagem  
PT = Perfil Topográfico  
TS = Tipo de Solo  
US = Uso do Solo

## Deslizamentos de Movimentos de Massa

- Mapa de suscetibilidade:

- Padronizado para variar de 0 a 1;
- Classificado em 5 categorias (0 = 1 até 1 = 5);
- Seleccionadas as categorias 1 e 2;
- Interseccionado com a grade estatística do IBGE;
- Seleccionando a população potencialmente exposta.





**Qual a hierarquia dos municípios quanto a vulnerabilidade da população a movimentos de massa e inundações considerando a exposição?**

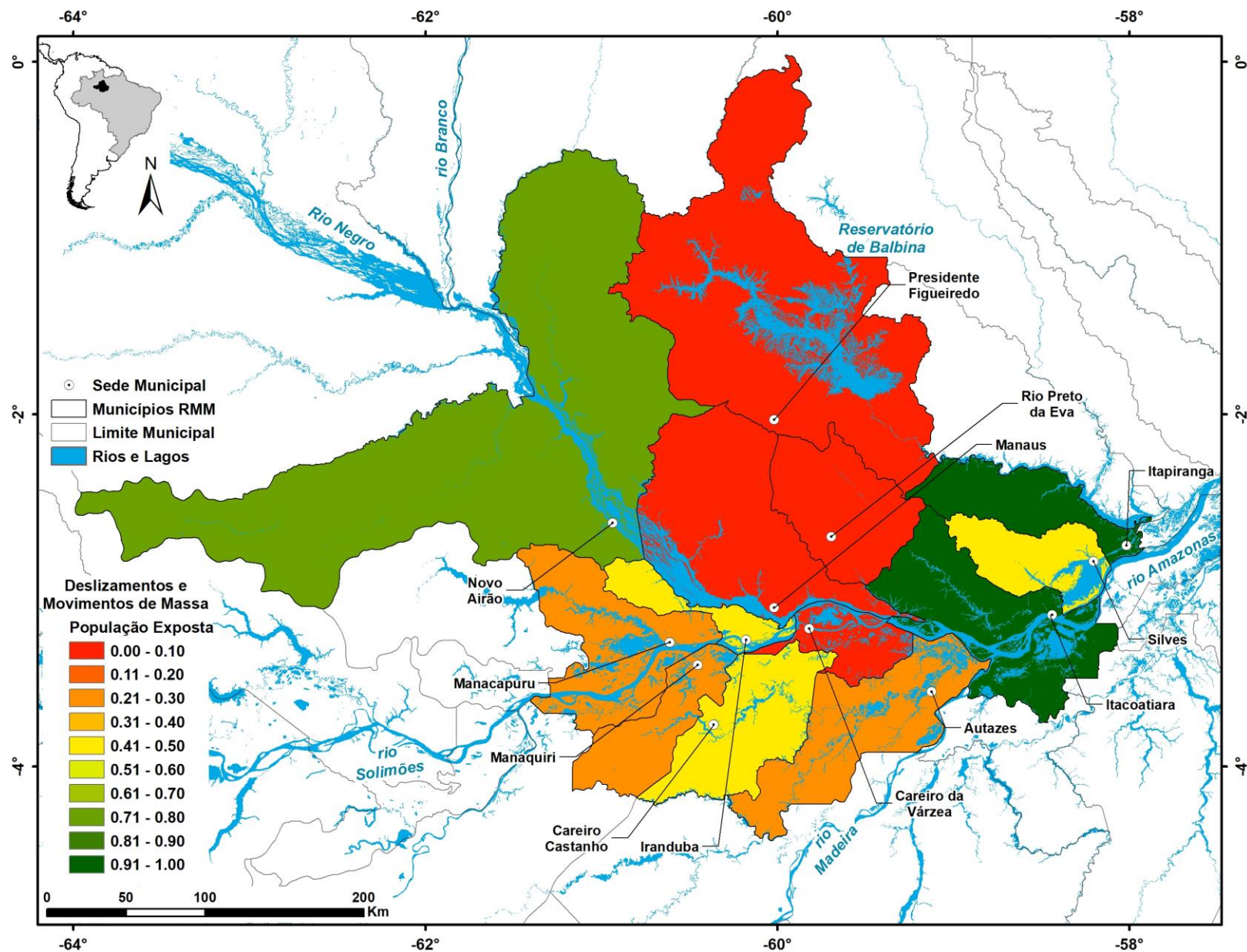
## Deslizamentos e Movimentos de Massa

- População potencialmente exposta:

**Proporção**

**população da grade / população do município**

- Careiro da Várzea, Manaus, Presidente Figueiredo e Rio Preto da Eva
- Autazes, Manacapuru e Manaquiri
- Careiro Castanho, Iranduba e Silves
- Itacoatiara, Itapiranga e Novo Airão



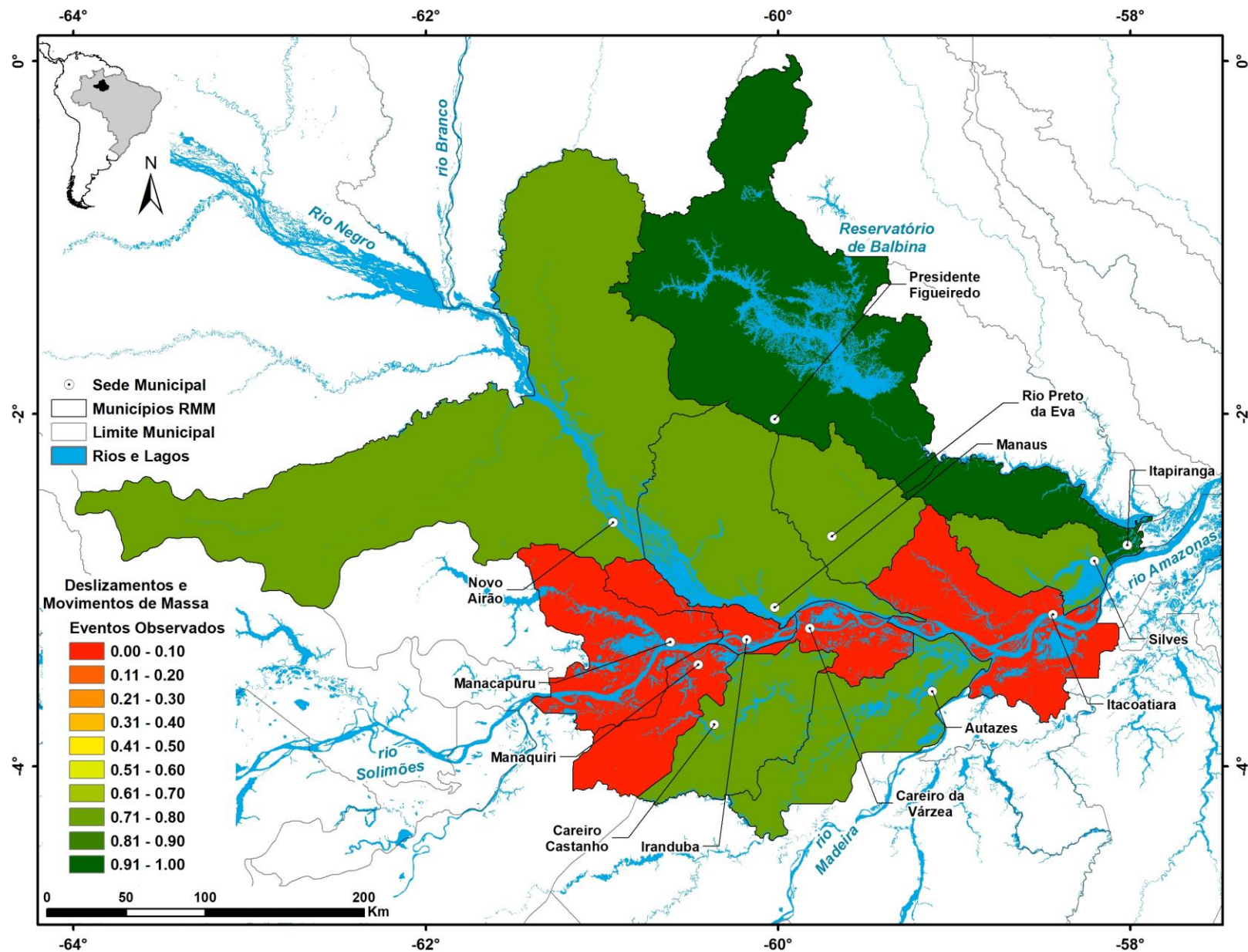
## Deslizamentos e Movimentos de Massa

- Eventos observados:

**Proporção**

**eventos no município / eventos no estado AM**

- Careiro da Várzea, Manacapuru, Manaquiri e Itacoatiara
- Autazes, Careiro Castanho, Iranduba, Manaus, Novo Airão, Rio Preto da Eva e Silves
- Itapiranga e Presidente Figueiredo





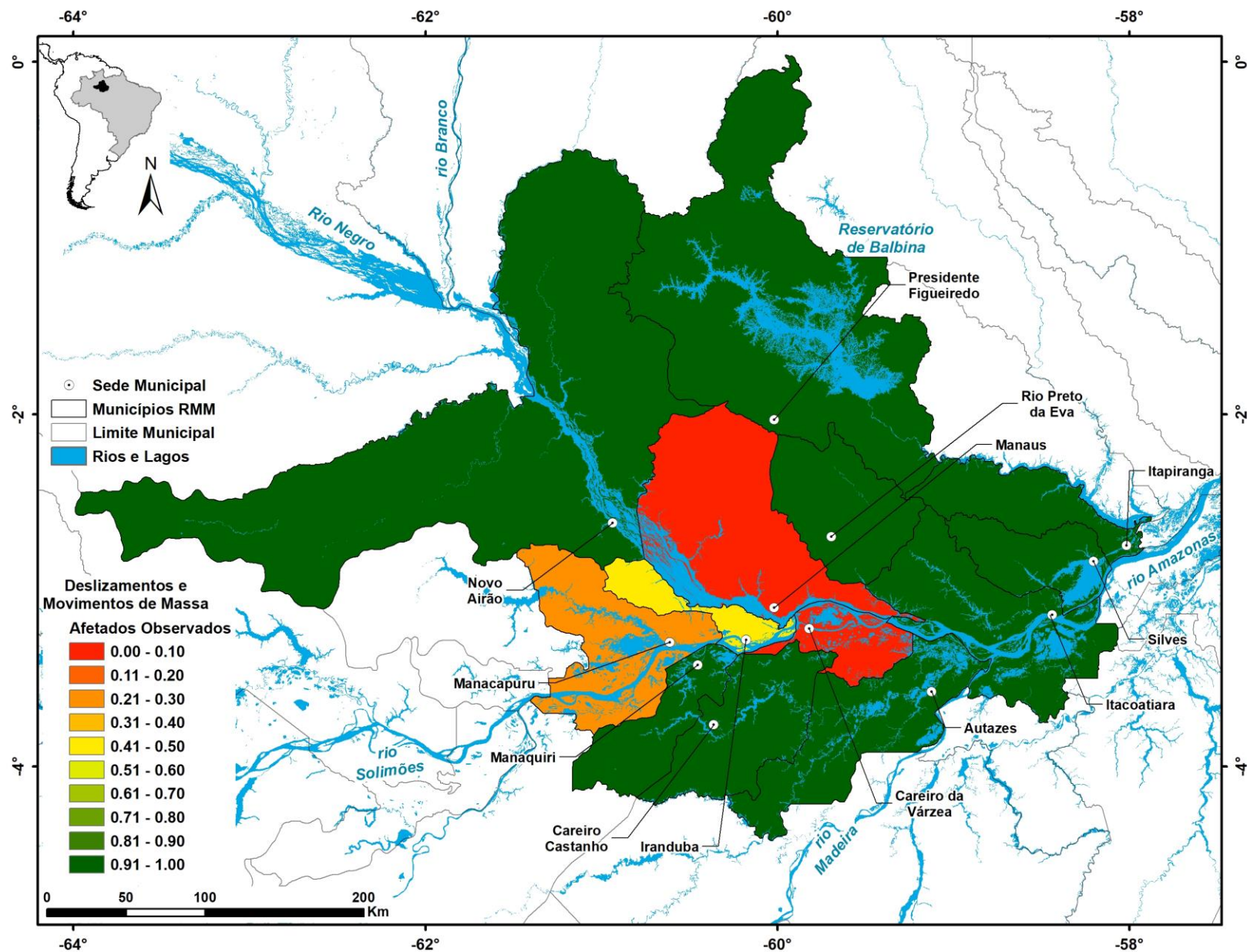
## Deslizamentos de Movimentos de Massa

- Afetados observados:

**Proporção**

**afetados no município / afetados no estado AM**

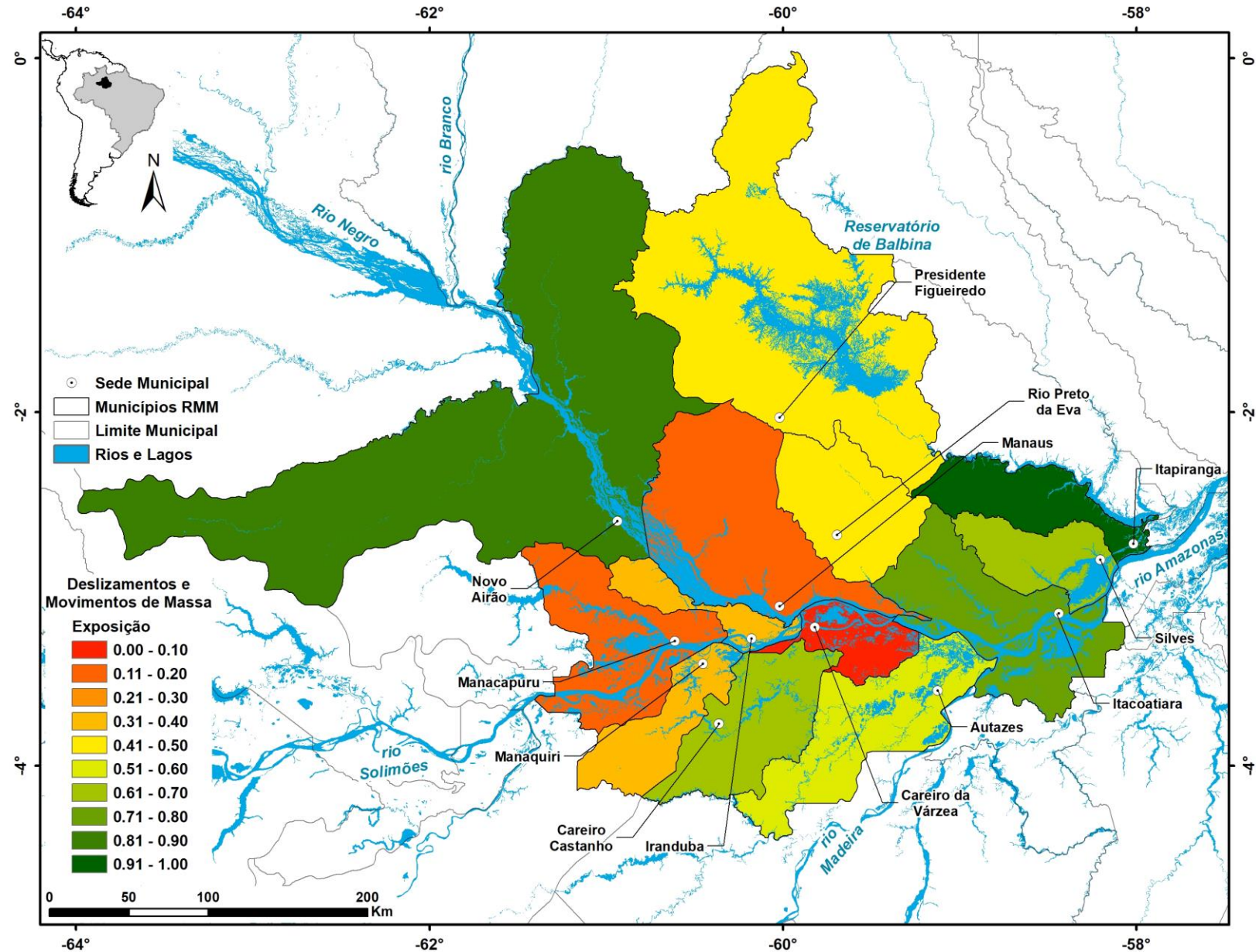
- Careiro da Várzea e Manaus
- Irاندuba e Manacapuru
- Autazes, Careiro Castanho, Itacoatiara, Irاندuba, Itapiranga, Manaquiri, Novo Airão, Presidente Figueiredo, Rio Preto da Eva e Silves



## Deslizamentos de Movimentos de Massa

- Exposição:

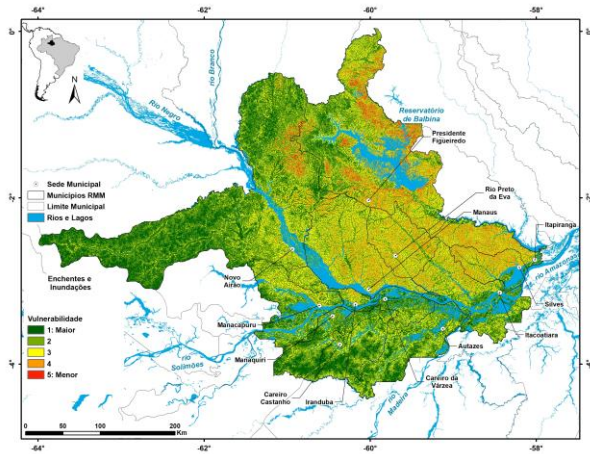
- Careiro Castanho, Careiro da Várzea, Manaus e Manacapuru
- Autazes, Manaquiri, Presidente Figueiredo e Rio Preto da Eva
- Irاندuba, Itacoatiara, Itapiranga, Novo Airão e Silves



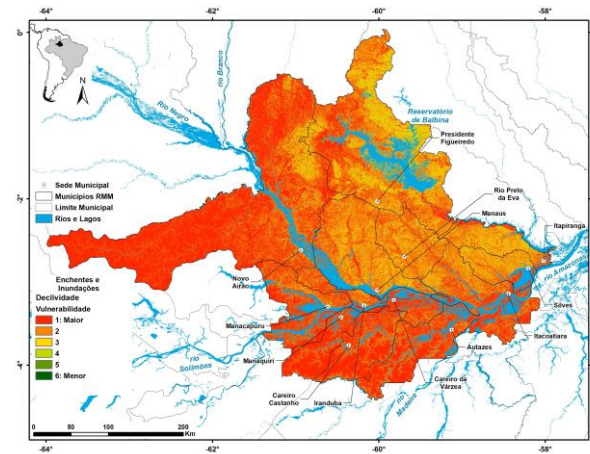


# Variáveis para análise de Suscetibilidade a Enchentes e Inundações categorizadas de alta a baixa vulnerabilidade

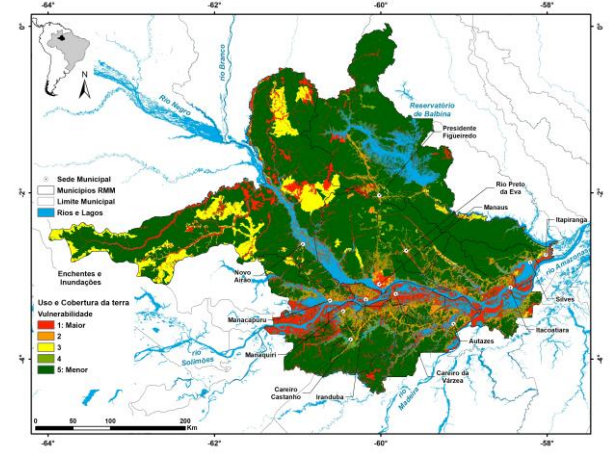
HAND



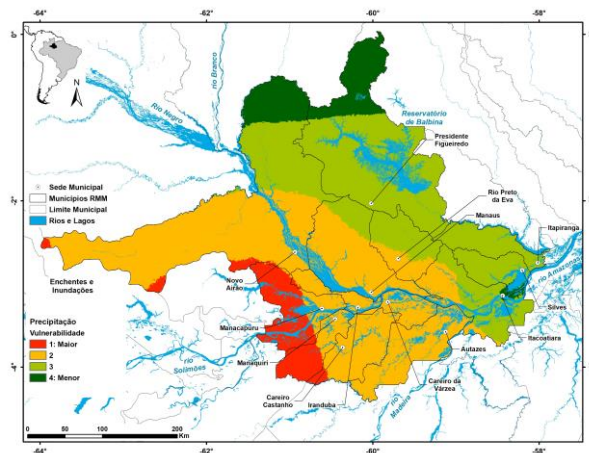
Declividade



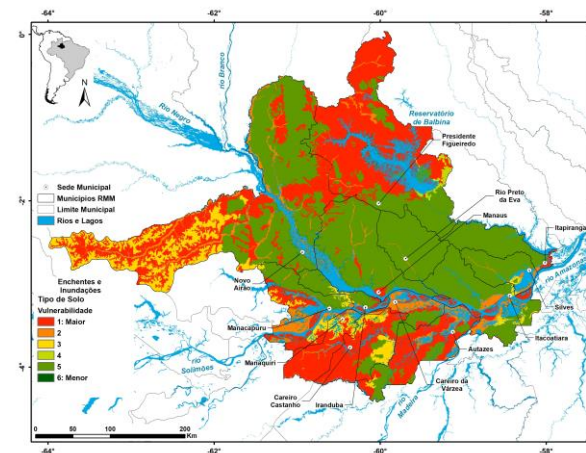
Uso e Cobertura da terra



Precipitação



Tipo de Solo



■ Água      ■ Alto      ■ Mod. Alto  
■ Moderado    ■ Mod. Baixo    ■ Baixo



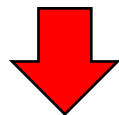
# Susceptibilidade a Enchentes

## Análise Hierárquica Ponderada – AHP (4)

Matriz de hierarquização de importância dos fatores de risco de enchentes	Fatores	Pluviometria	Declividade	Uso da terra	Tipo de Solo	Altitude
	HAND	1	3	5	5	7
	Pluviometria	0.333	1	3	3	5
	Declividade	0.200	0.333	1	1	5
	Uso e Cobertura	0.200	0.333	1	1	3
	Tipo de Solo	0.143	0.200	0.200	0.333	1



Matriz de hierarquização normalizada de importância dos fatores de risco de enchentes	Fatores	Pluviometria	Declividade	Uso da terra	Tipo de Solo	Altitude
	HAND	0.533	0.616	0.490	0.484	0.333
	Pluviometria	0.178	0.205	0.294	0.290	0.238
	Declividade	0.107	0.068	0.098	0.097	0.238
	Uso e Cobertura	0.107	0.068	0.098	0.097	0.143
	Tipo de Solo	0.076	0.041	0.020	0.032	0.048



**Pesos (W)**

$$\lambda_{max} = 5,222; IC = 0,055; IR = 1, 12; RC = 0,0495$$

(4) Saaty 1977, 1987, 1990, 1994

# Suscetibilidade a Enchentes

## Análise Hierárquica Ponderada – AHP

Pesos de hierarquização de importância dos fatores de risco de enchentes e inundações

Fatores	Pesos (w)
HAND	0.4914
Pluviometria	0.2411
Declividade	0.1216
Uso e Cobertura	0.1026
Tipo de Solo	0.0433

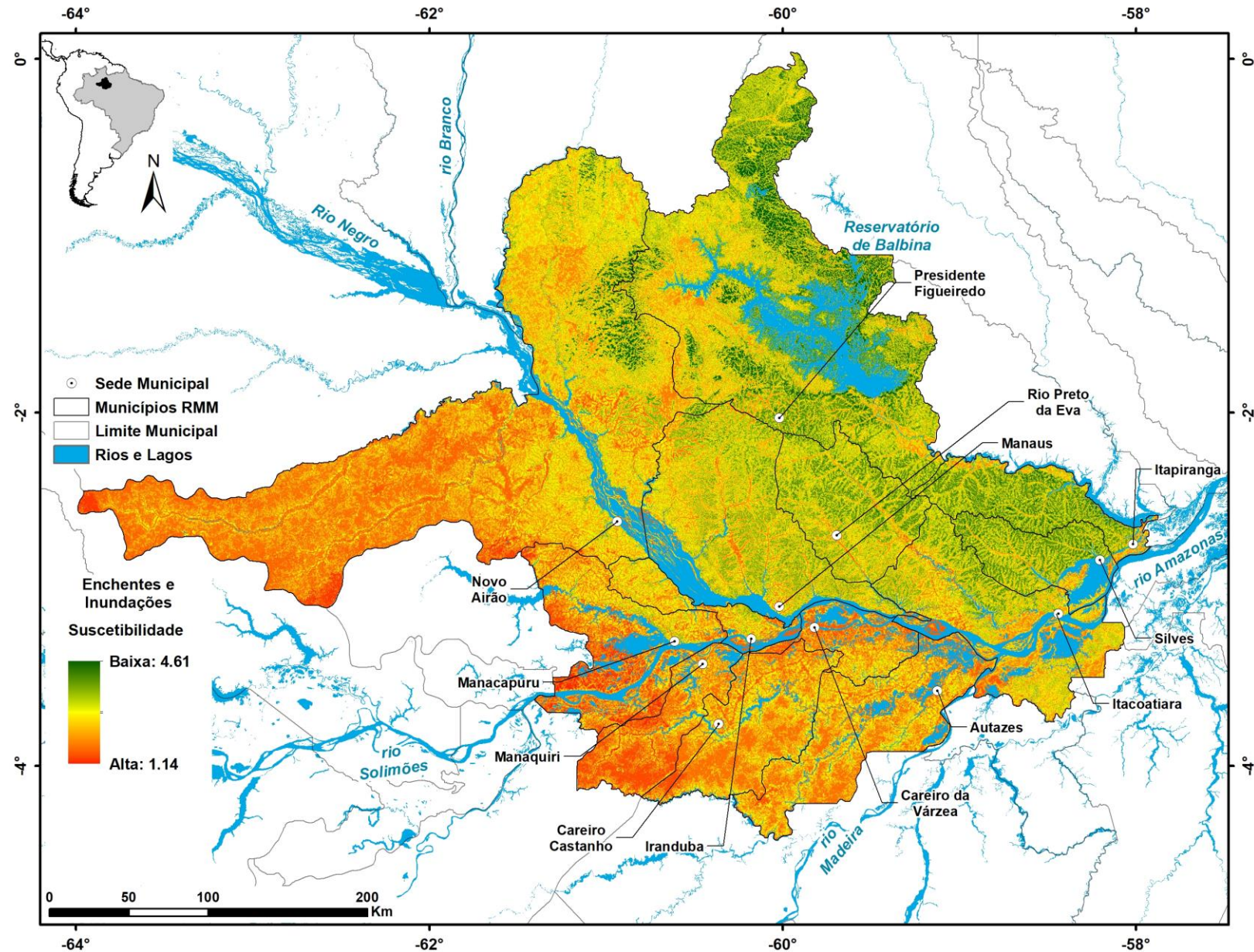
### Equação para Risco de Enchentes

$$REI = 0,4914 * HD + 0,2411 * CP + 0,1216 * DC + 0,1026 * US + 0,0433 * TS$$

- REI = Índice de Risco de Enchentes
- HD = HAND
- CP = Comportamento Pluviométrico
- DC = Declividade
- TS = Tipo de Solo
- US = Uso do Solo

## Enchentes e Inundações

- Mapa de suscetibilidade:
  - Padronizado para variar de 0 a 1;
  - Classificado em 5 categorias (0 = 1 até 1 = 5);
  - Seleccionadas as categorias 1 e 2;
  - Interseccionado com a grade estatística do IBGE;
  - Seleccionando a população potencialmente exposta.





**Qual a hierarquia dos municípios quanto a vulnerabilidade da população a movimentos de massa e inundações considerando a exposição?**

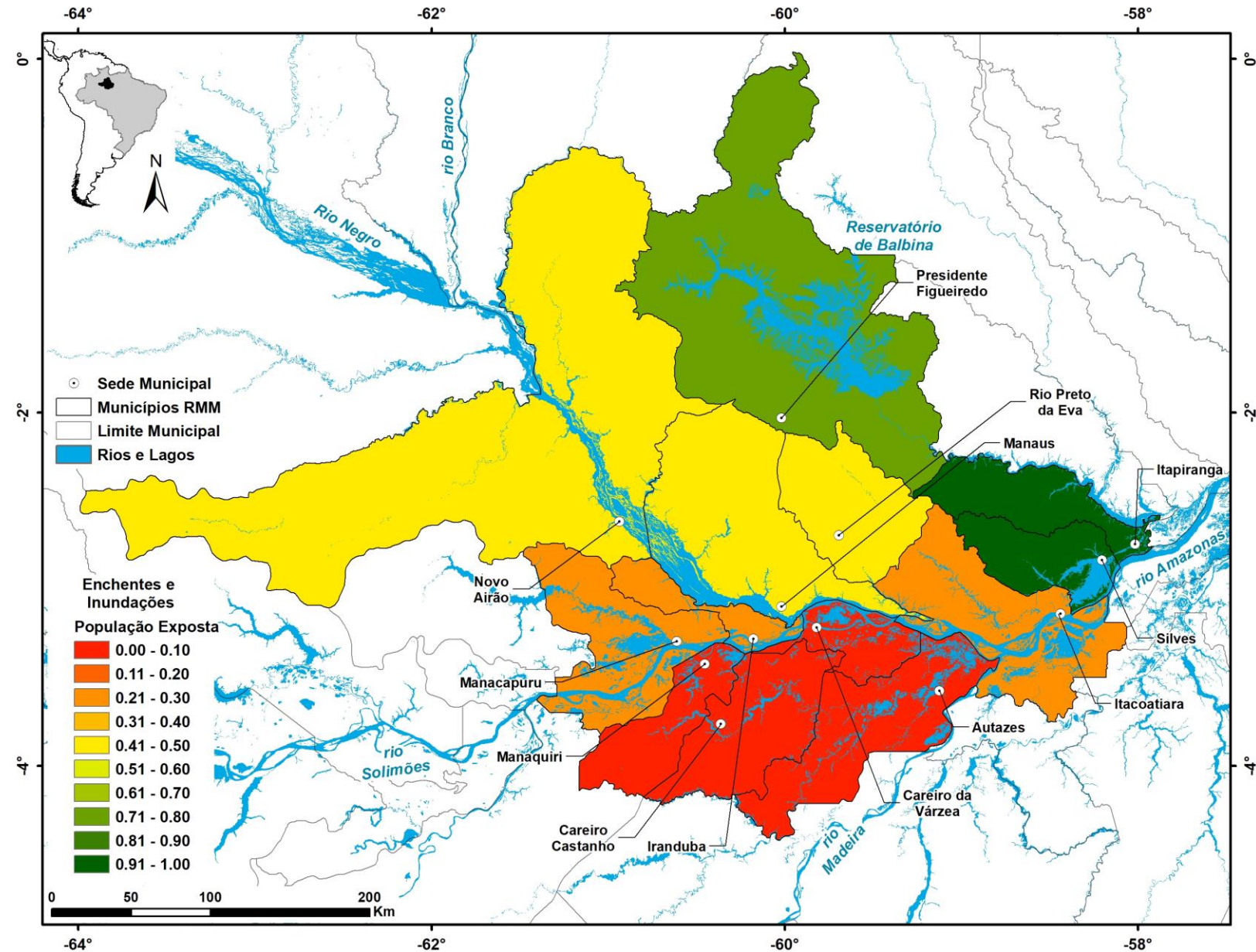
## Enchentes e Inundações

- População potencialmente exposta:

### Proporção

**população da grade / população do município**

- Autazes, Careiro Castanho, Careiro da Várzea e Manaquiri
- Iranduba, Itacoatiara e Manacapuru
- Manaus, Novo Airão e Rio Preto da Eva
- Itapiranga, Presidente Figueiredo e Silves



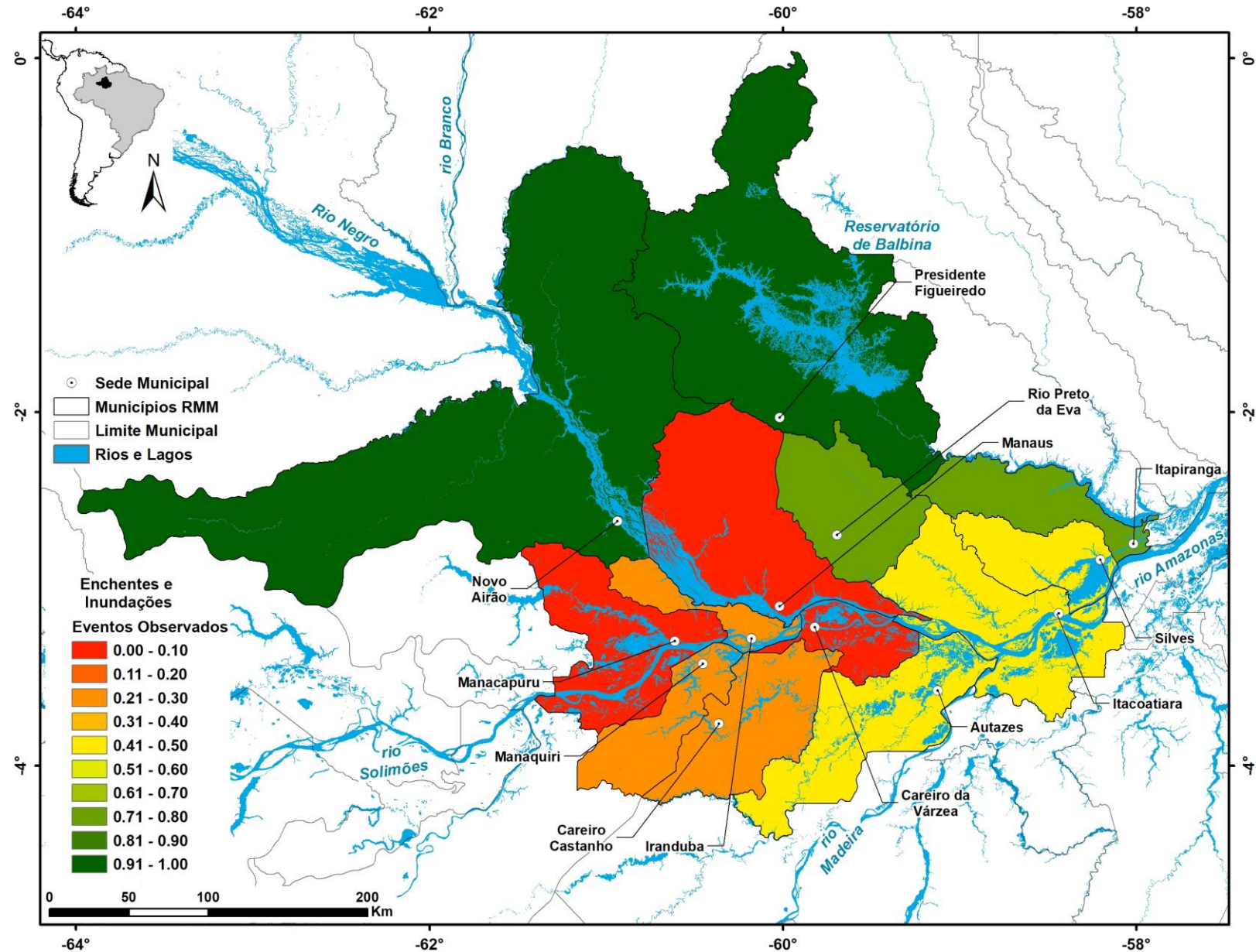
## Enchentes e Inundações

- Eventos observados:

### Proporção

eventos no município / eventos no estado AM

- Careiro da Várzea, Manacapuru e Manaus
- Careiro Castanho, Iranduba e Manaquiri
- Autazes, Itacoatiara e Silves
- Itapiranga e Rio Preto da Eva
- Novo Airão e Presidente Figueiredo





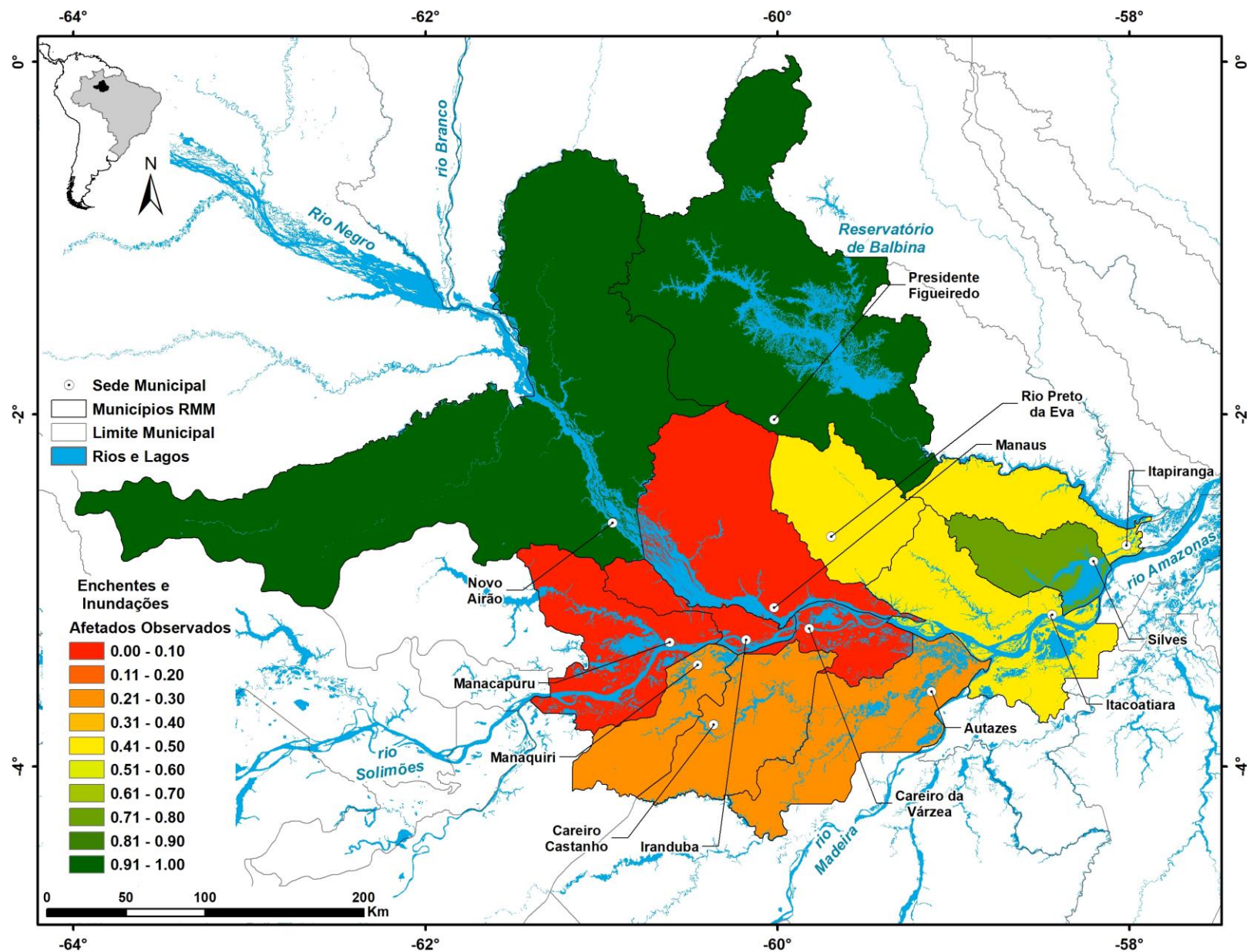
## Enchentes e Inundações

- Afetados observados:

### Proporção

afetados no município / afetados no estado AM

- Careiro da Várzea, Iranduba, Manacapuru e Manaus
- Autazes, Careiro Castanho e Manaquiri
- Itacoatiara, Itapiranga e Rio Preto da Eva
- Novo Airão, Presidente Figueiredo e Silves



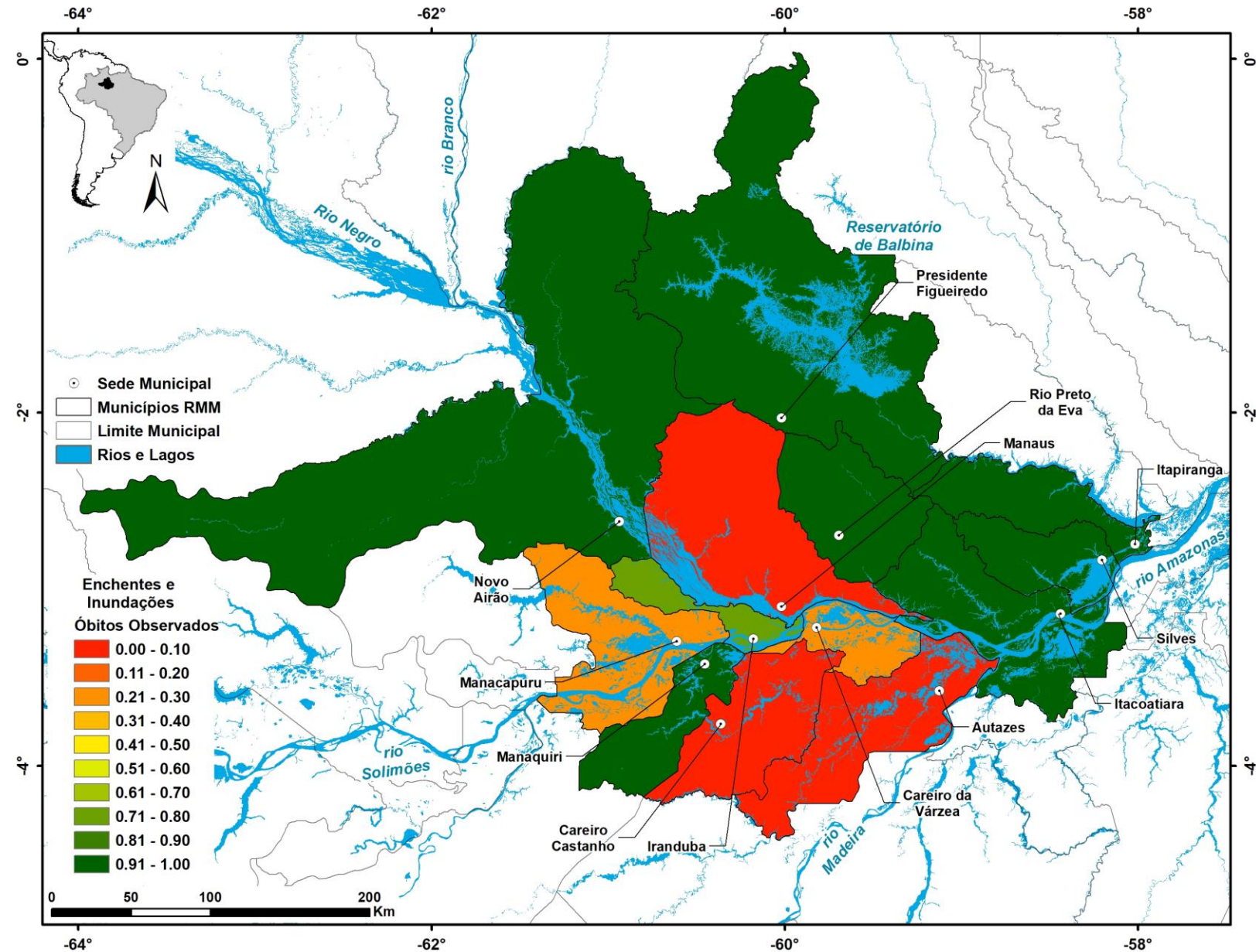
## Enchentes e Inundações

- Óbitos observados:

### Proporção

óbitos no município / óbitos no estado AM

- Autazes, Careiro Castanho e Manaus
- Careiro da Várzea e Manacapuru
- Irاندuba, Itacoatiara, Itapiranga, Manaquiri, Novo Airão, Presidente Figueiredo, Rio Preto da Eva e Silves

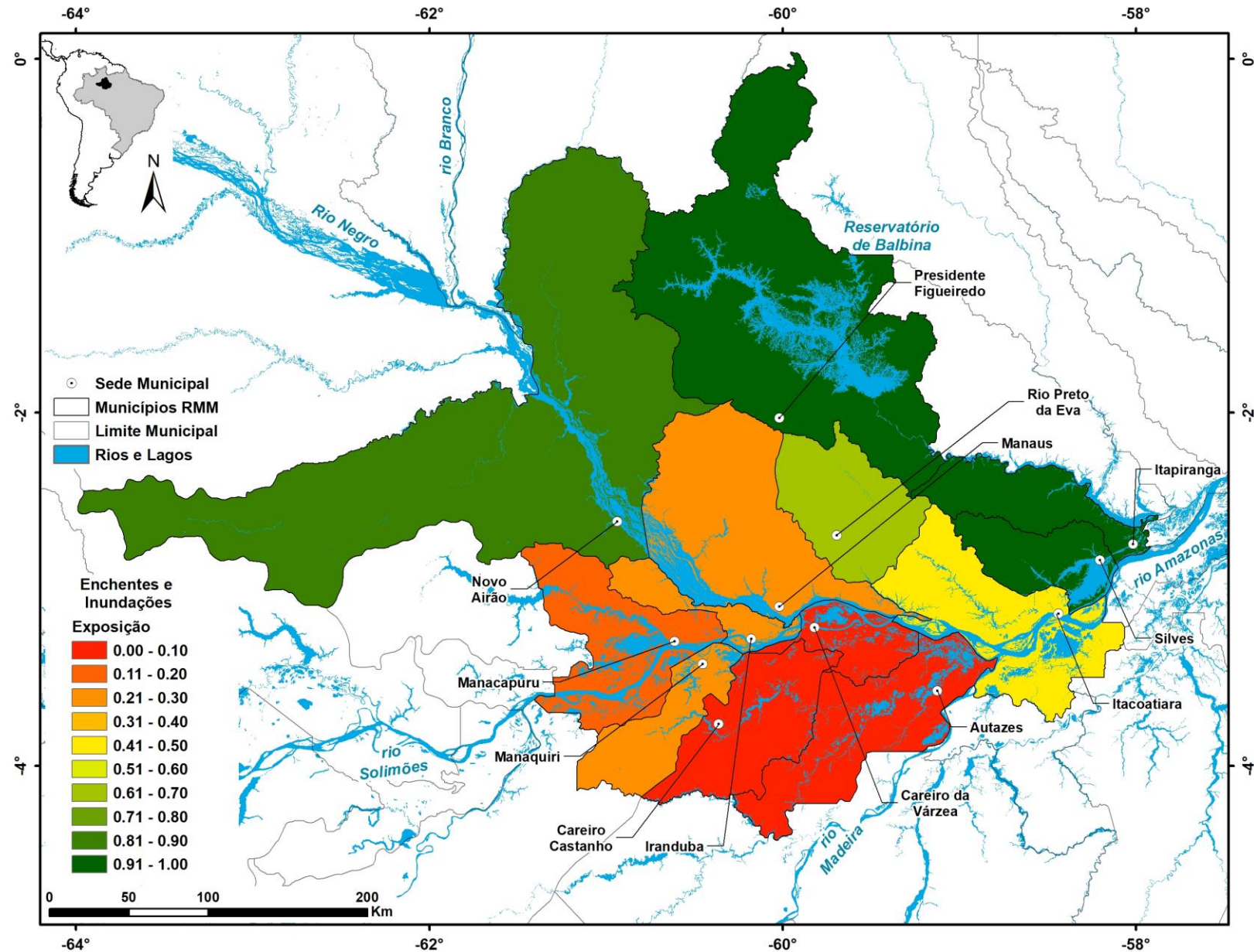




## Enchentes e Inundações

- Exposição:

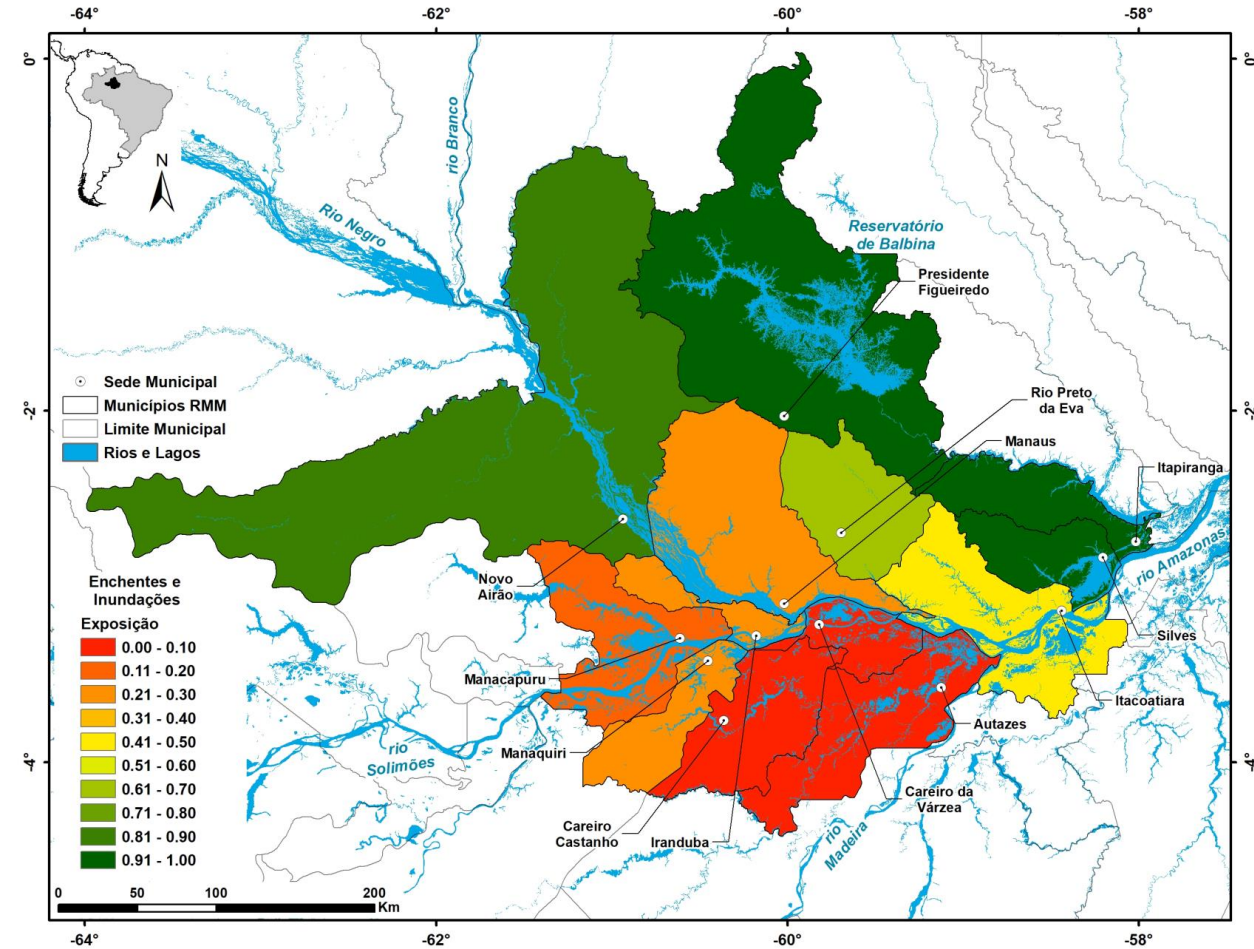
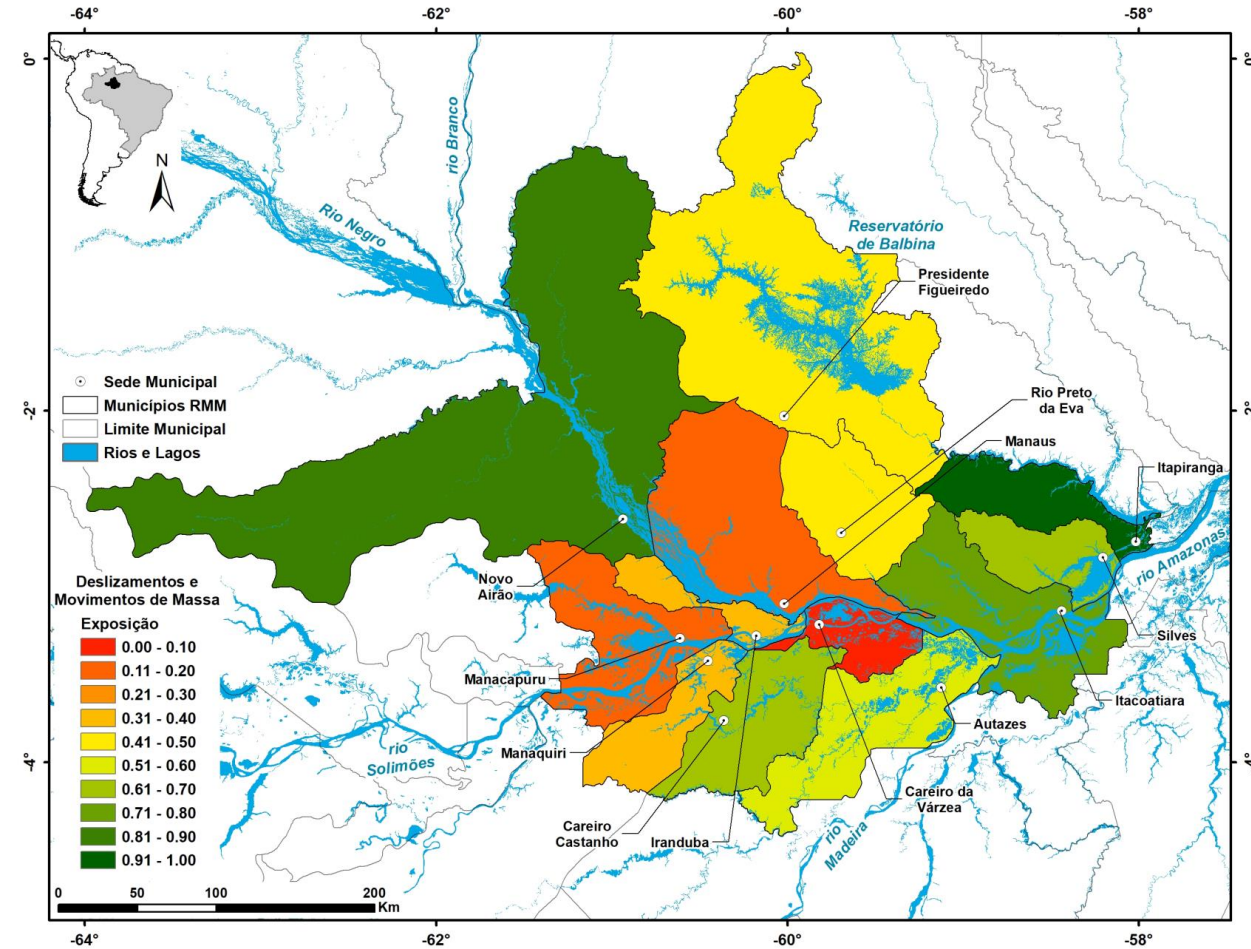
- Careiro da Várzea, Manaus e Manacapuru
- Manaquiri e Iranduba
- Autazes, Presidente Figueiredo e Rio Preto da Eva
- Careiro Castanho, Itacoatiara, Itapiranga, Novo Airão e Silves





## Deslizamentos e Movimentos de Massa

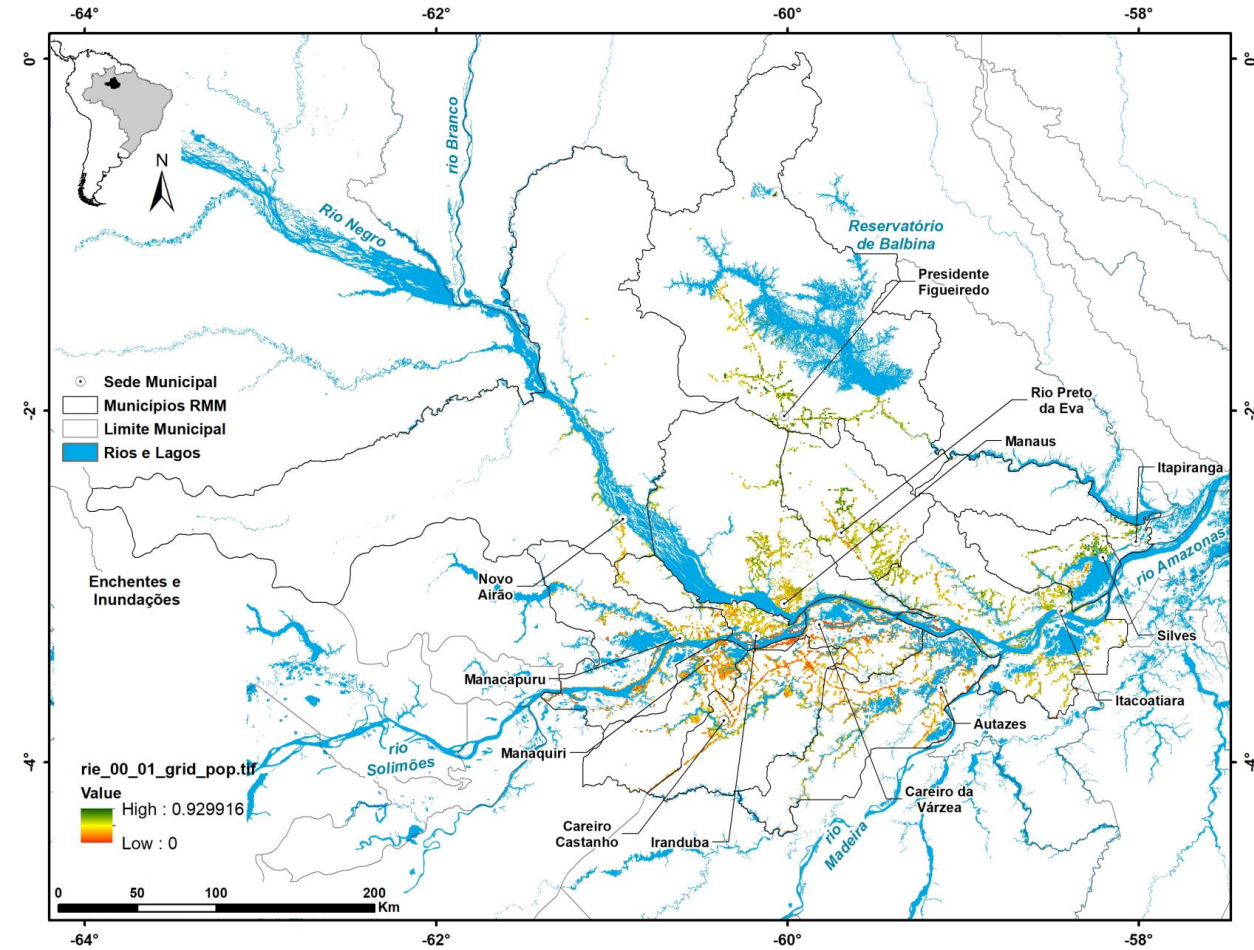
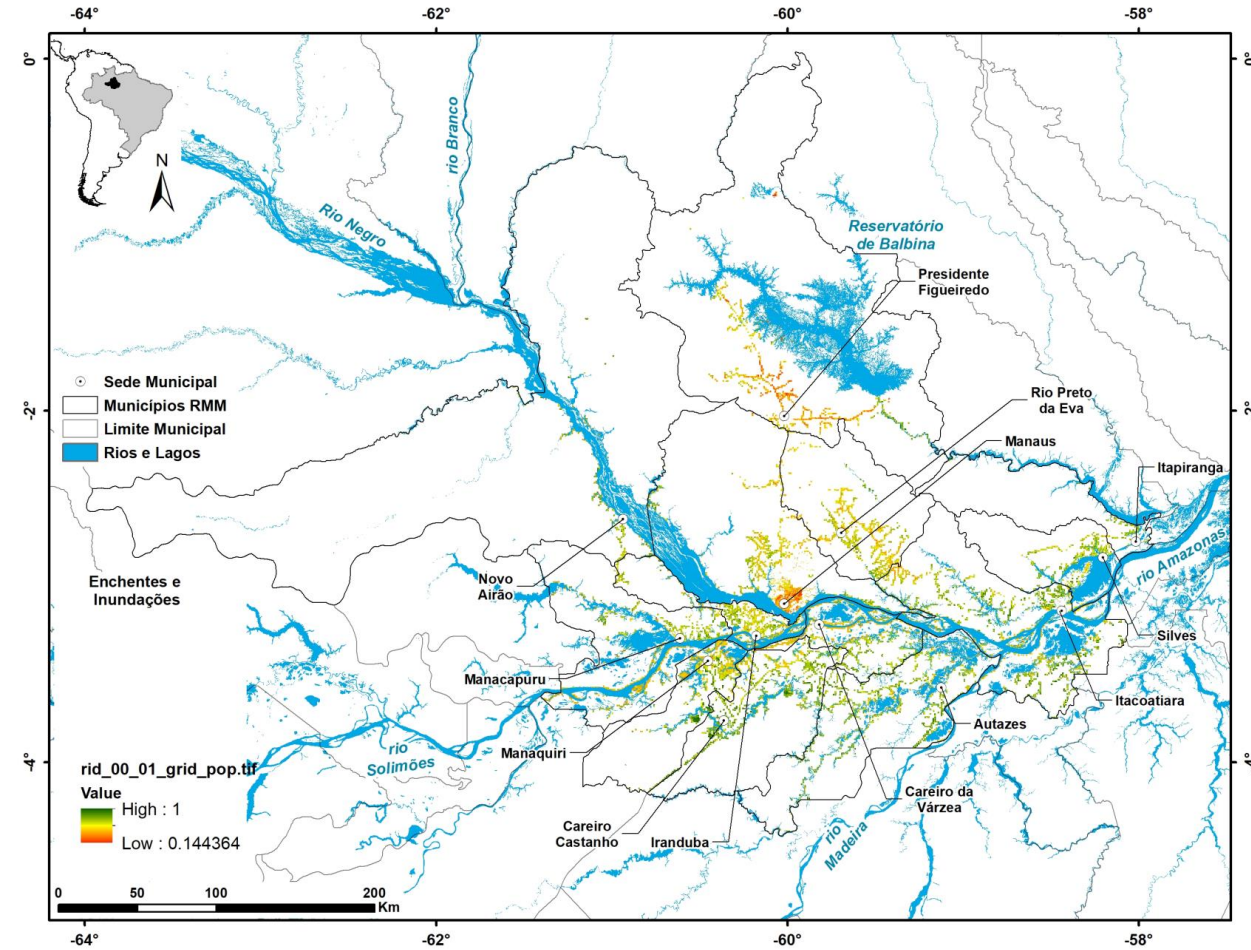
## Enchentes e Inundações



**Onde está a população potencialmente vulnerável a movimentos de massa e inundações considerando a exposição nos municípios da RMM?**

## Deslizamentos e Movimentos de Massa

## Enchentes e Inundações

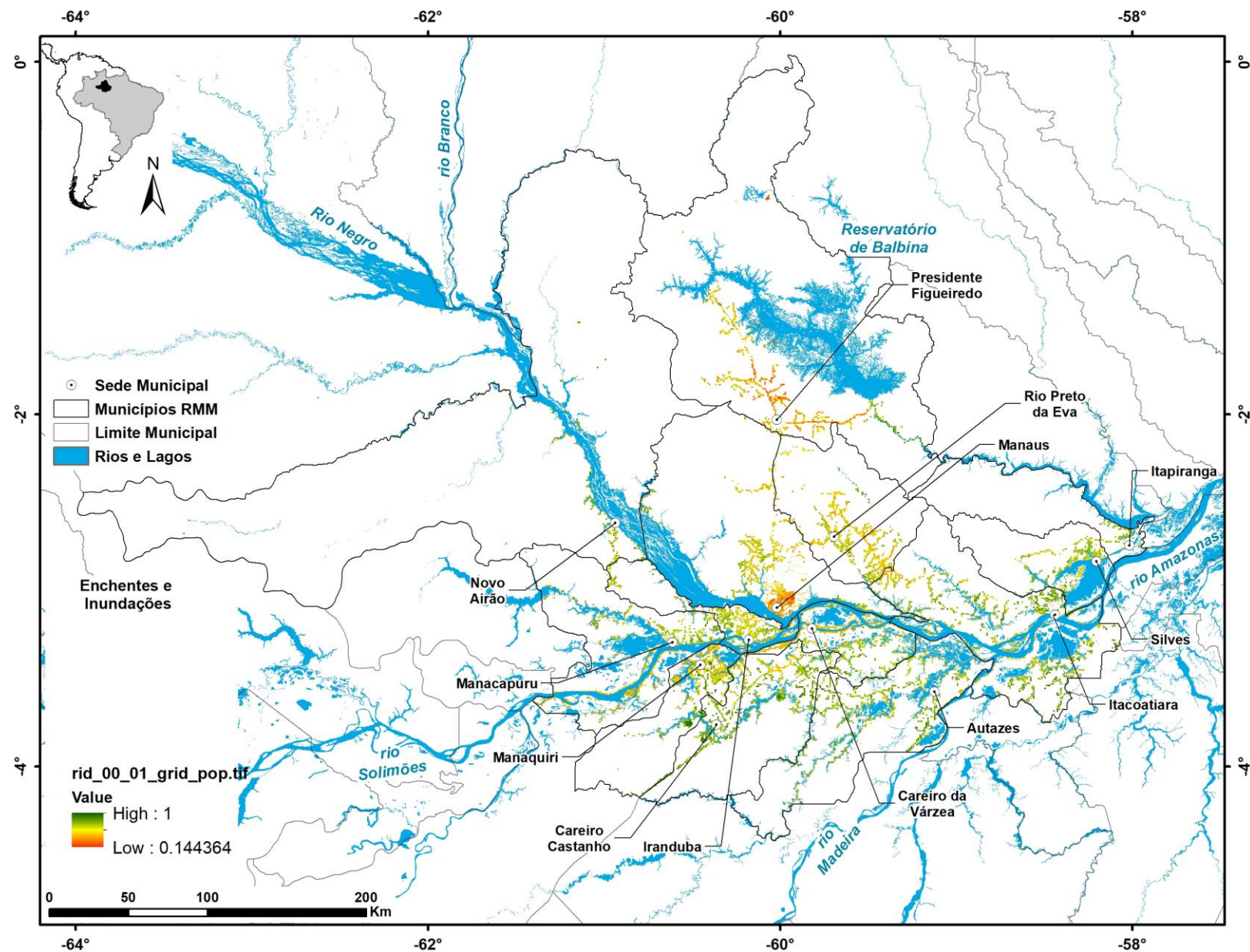




## Deslizamentos de Movimentos de Massa

- Mapa de suscetibilidade:

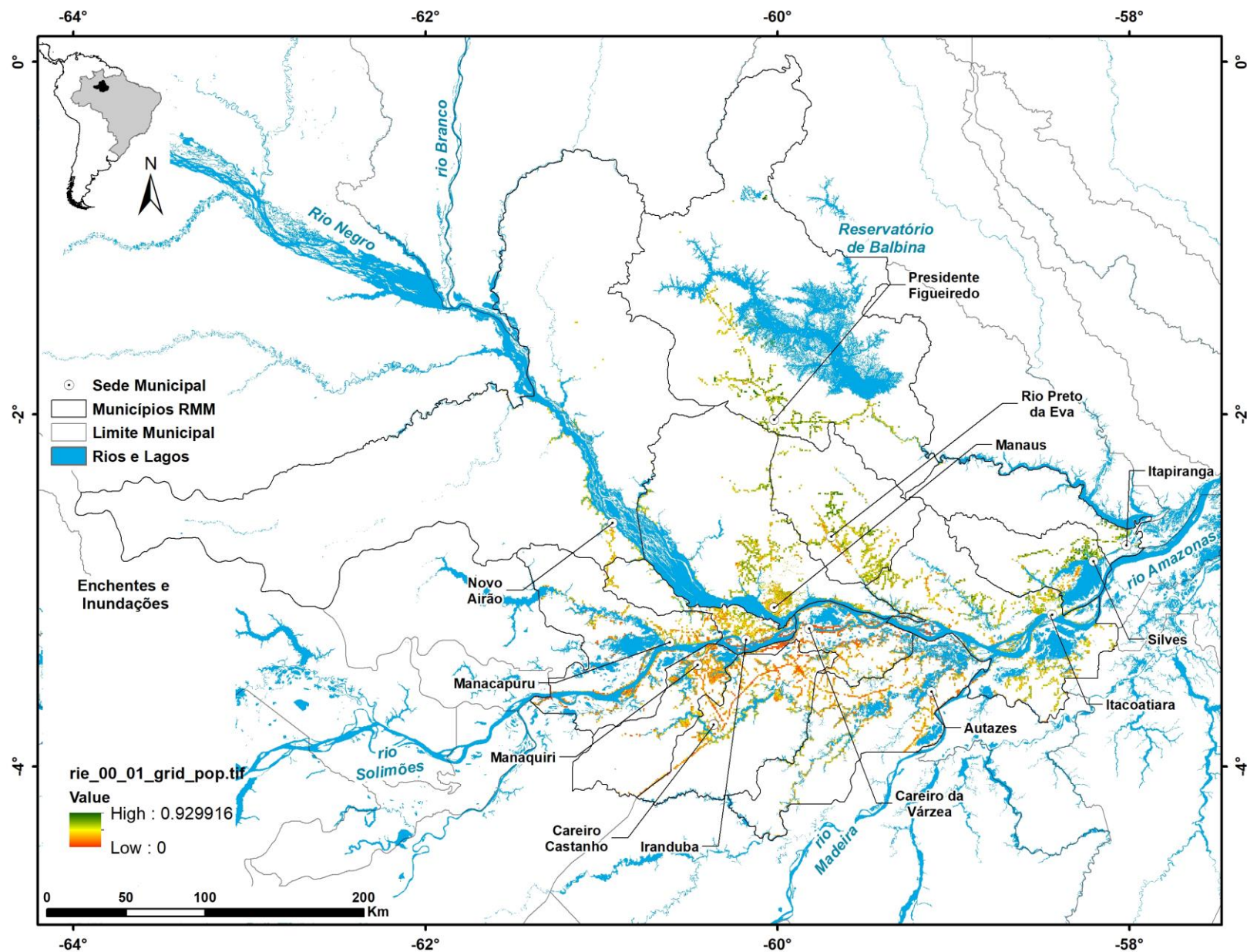
- Padronizado para variar de 0 a 1;
- Classificado em 5 categorias (0 = 1 até 1 = 5);
- Seleccionadas as categorias 1 e 2;
- Interseccionado com a grade estatística do IBGE;
- Seleccionando a população potencialmente exposta.



## Enchentes e Inundações

- Mapa de suscetibilidade:

- Padronizado para variar de 0 a 1;
- Classificado em 5 categorias (0 = 1 até 1 = 5);
- Seleccionadas as categorias 1 e 2;
- Interseccionado com a grade estatística do IBGE;
- Seleccionando a população potencialmente exposta.





# Obrigado

