



Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Pós-graduação em Sensoriamento Remoto  
Análise Espacial de Dados Geográficos

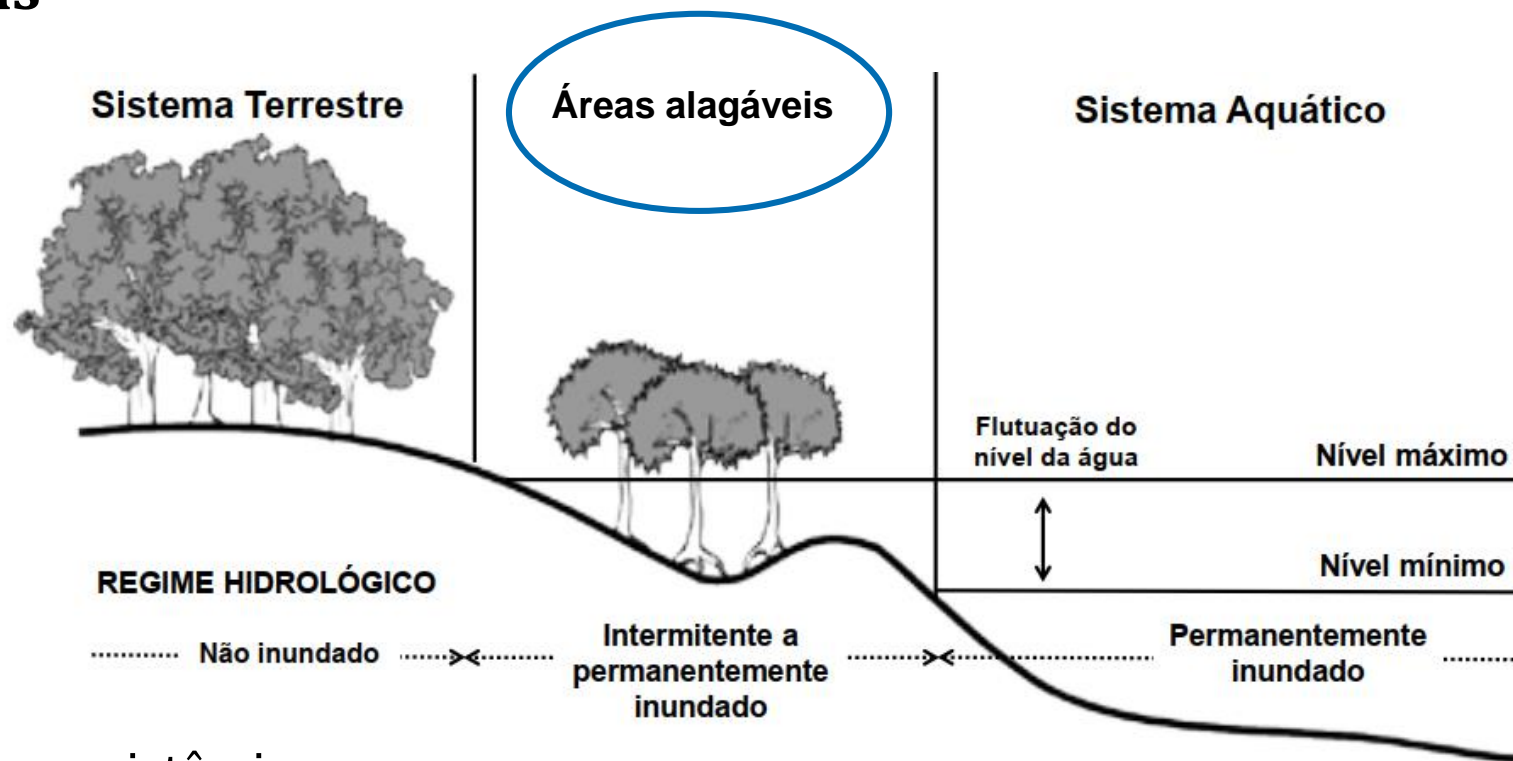
# Mapeamento de áreas alagáveis utilizando o Modelo Aditivo Generalizado espacial em uma região da bacia Amazônica

Deborah Lopes Correia Lima

18/12/2020

# 1 Introdução

## Áreas alagáveis



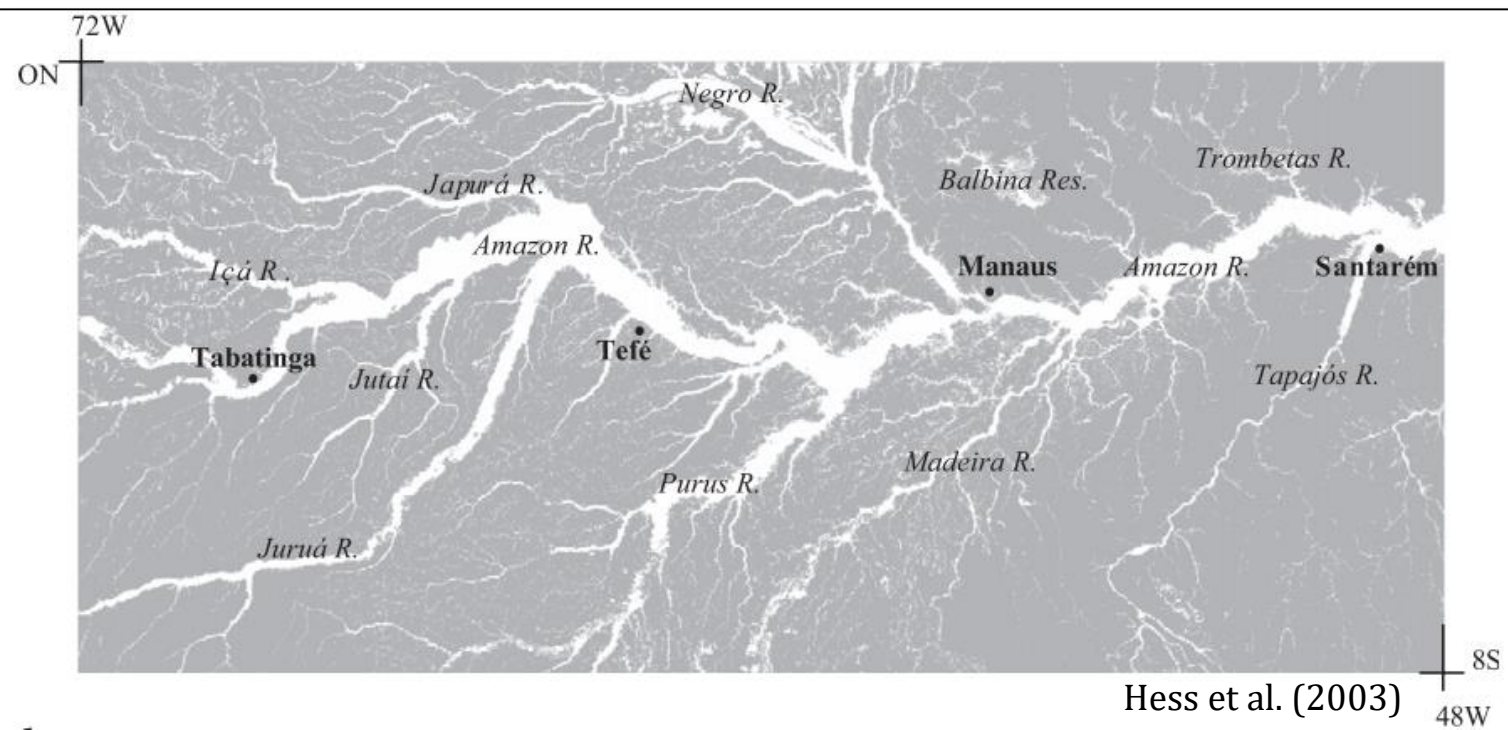
Fonte: Lopes e Piedade (2015).

- Fornecem serviços ecossistêmicos
  - Filtragem e retenção de água
  - Ciclagem de nutrientes
- Desempenham importante papel nos ciclos biogeoquímicos

# 1 Introdução

## Mapeamento de áreas alagáveis na bacia Amazônica

- Mapeamento realizado por Hess et al. (2003) a partir de imagens SAR adquiridas pelo satélite japonês JERS-1.



Por não considerar o relevo, apresenta **inconsistências** em algumas áreas

# 1 Introdução

## Mapeamento de áreas alagáveis na bacia Amazônica



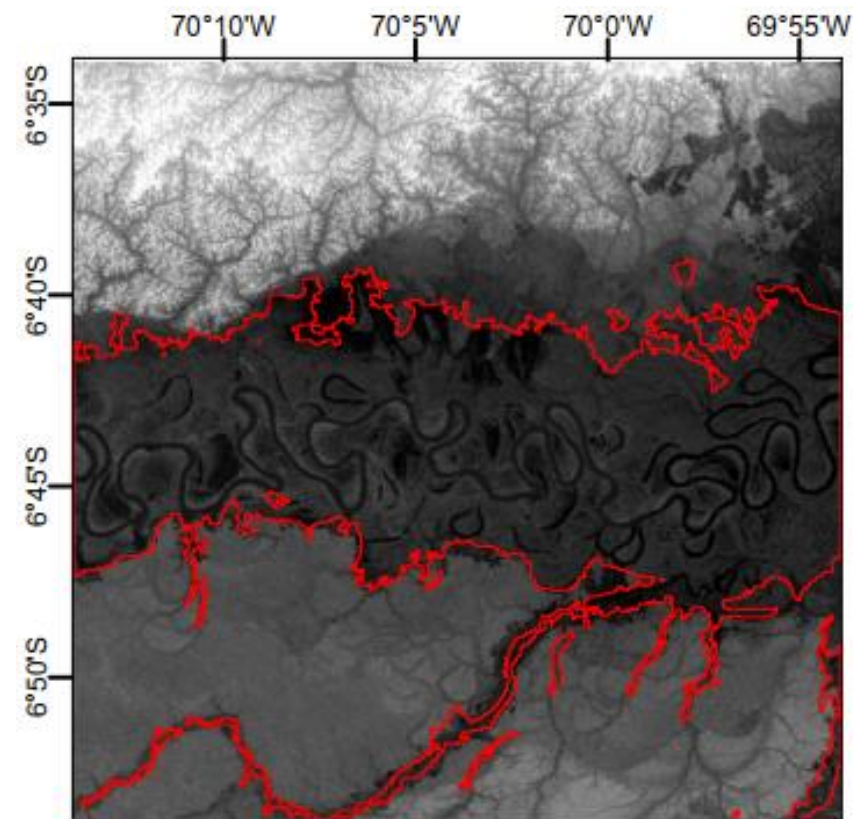
É possível gerar um dado com menos inconsistências?

### Objetivo

Realizar o mapeamento das áreas alagáveis utilizando atributos oriundos do Modelo Digital de Elevação (MDE)

Utilizar o Modelo Aditivo Generalizado Espacial para gerar uma superfície de suscetibilidade

Recorte da área mapeada por Hess et al. (2003)






— Wetmask

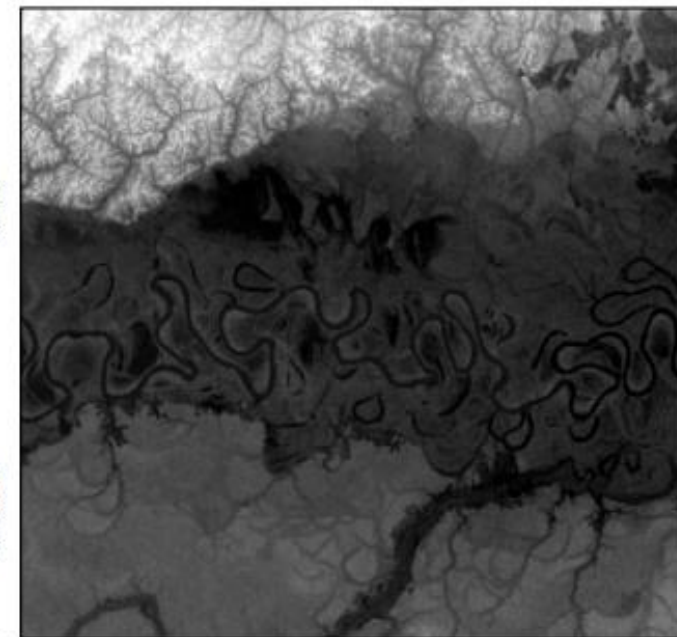
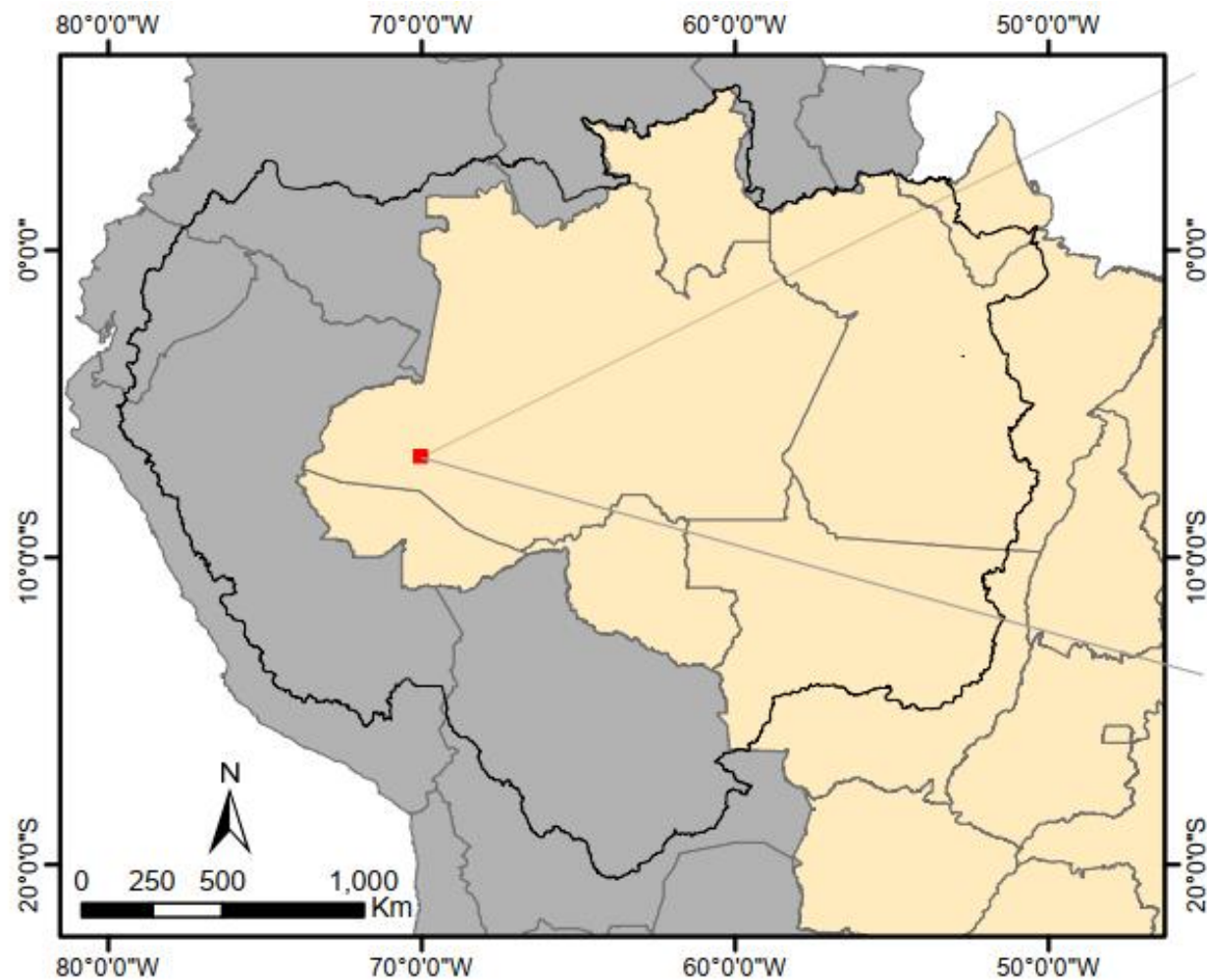
## 2 Área de estudo



### Legenda:

-  Bacia Amazônica
-  Área de estudo
-  Brasil

Sistema de Coordenada Geográfica  
Datum Horizontal: WGS 1984  
Fonte: IBGE (2019);  
USGS (2000).

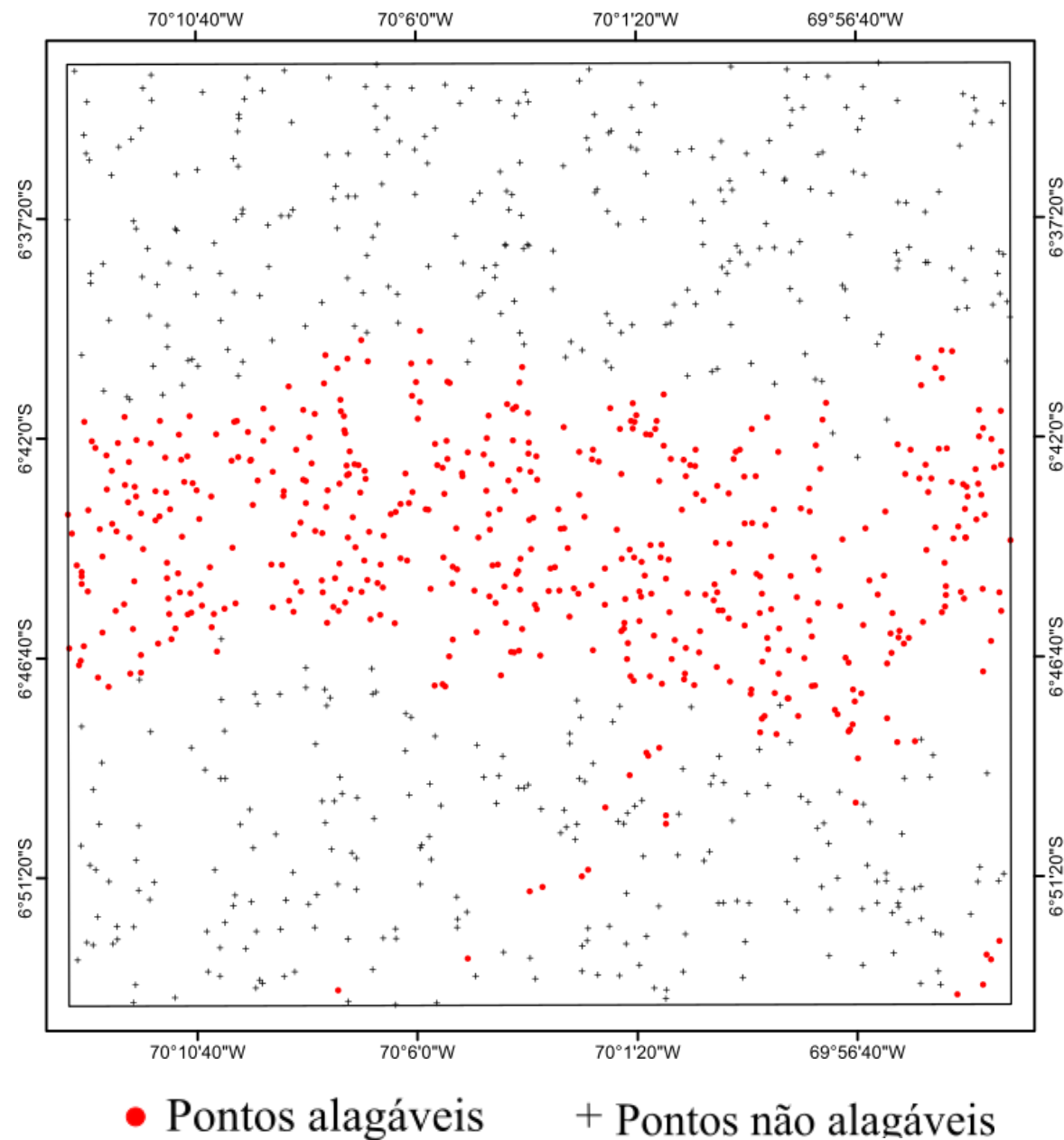
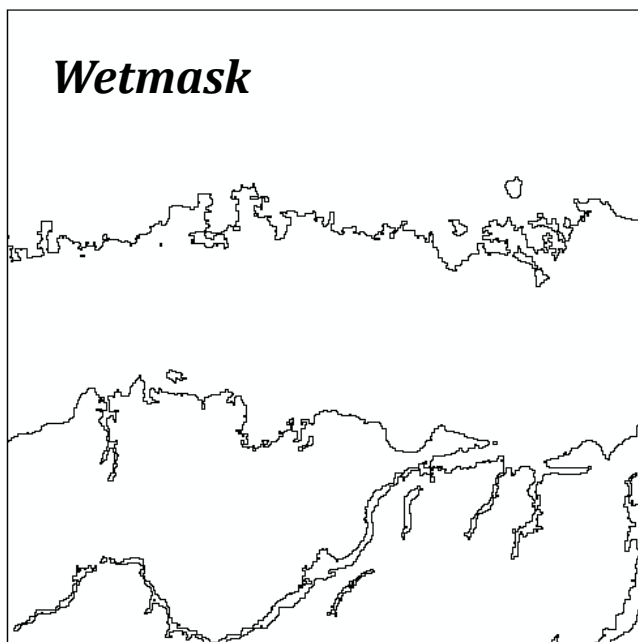
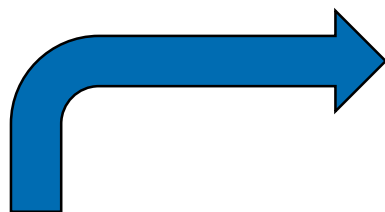


Elevação (m)  
236  
91

# 3 Metodologia

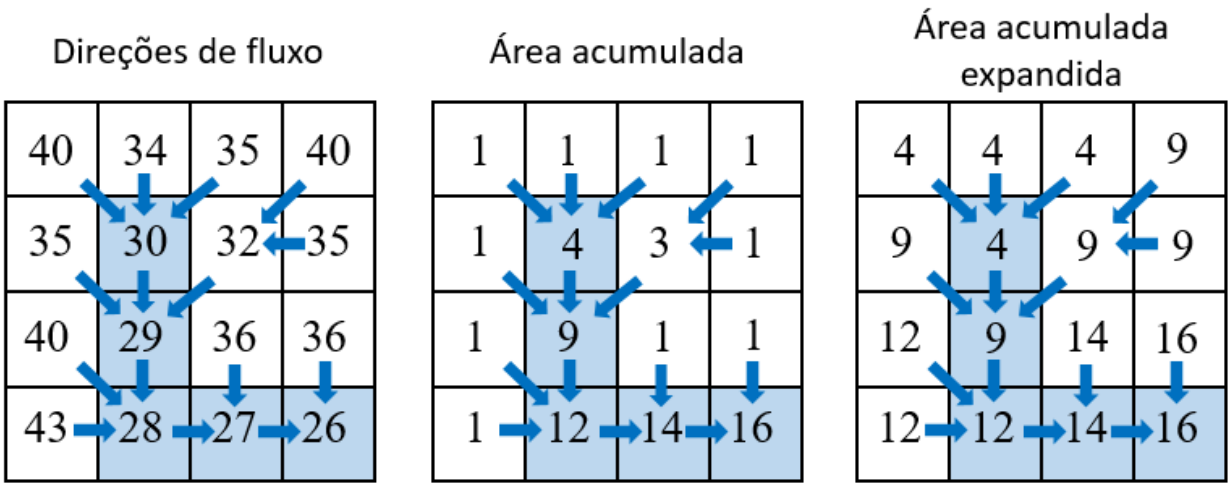
## Amostragem

1. Gerados 500 pontos aleatórios para cada classe
2. Retirados pontos incorretos
3. Total de 946 pontos
4. 70% treinamento  
30% validação



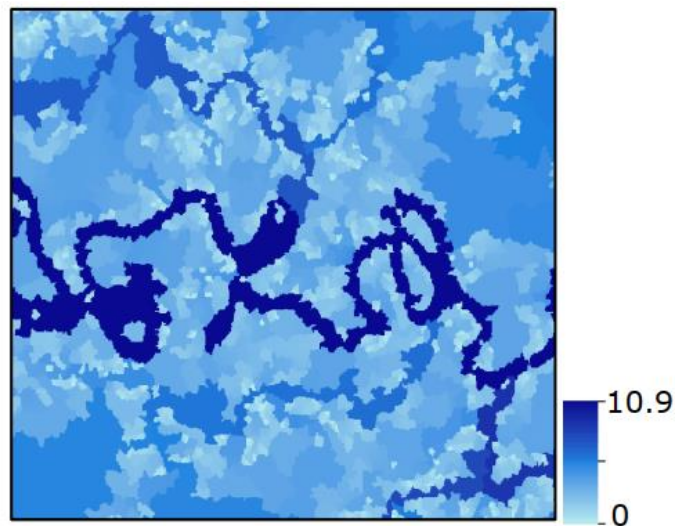
# 3 Metodologia

## Variáveis explicativas

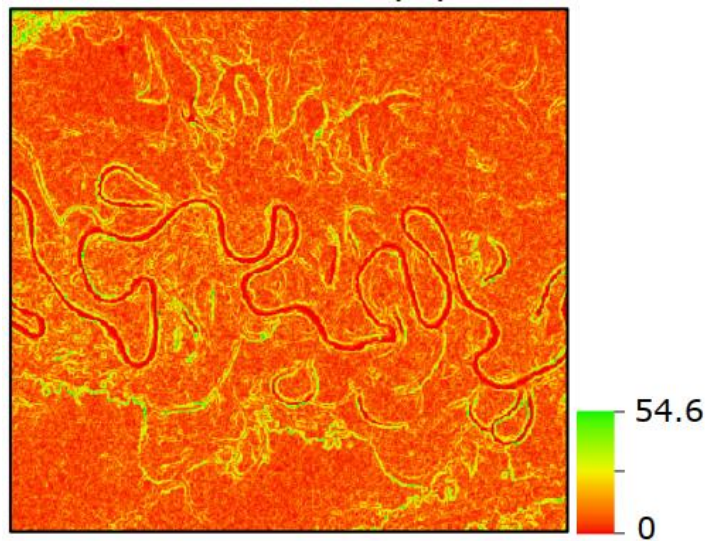


Expansão da informação do rio relacionada a área da bacia a montante para todos os pontos conectados a ele

Log da Área acumulada expandida (m<sup>2</sup>)



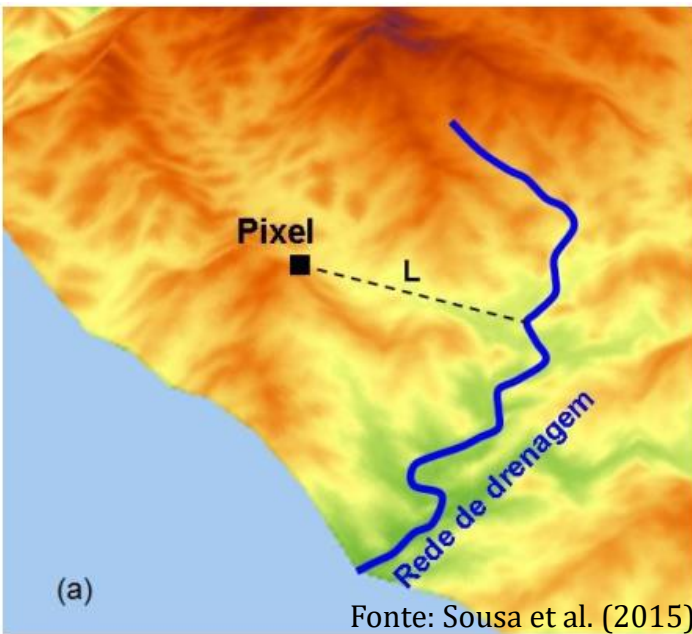
Declividade (%)



# 3 Metodologia

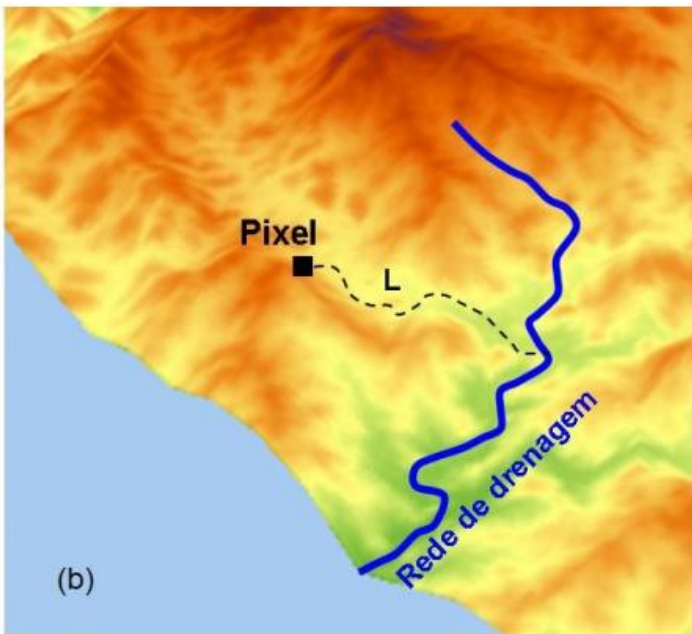
## Variáveis explicativas

Distância euclidiana à rede de drenagem



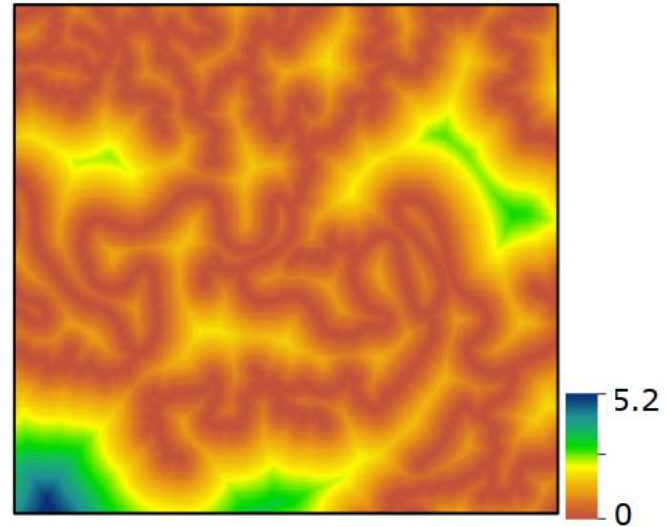
Menor distância em linha reta

Distância considerando o caminho de fluxo

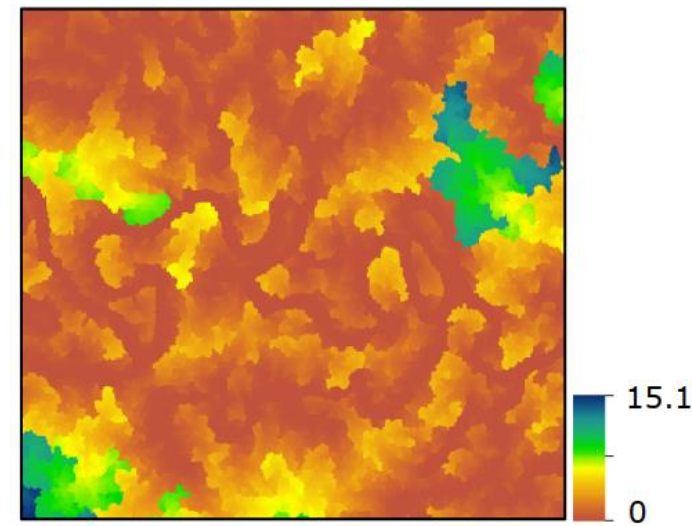


Menor distância seguindo a direção do fluxo

Distância euclidiana à rede de drenagem (Km)



Distância à rede de drenagem considerando o caminho do fluxo (Km)





# 3 Metodologia

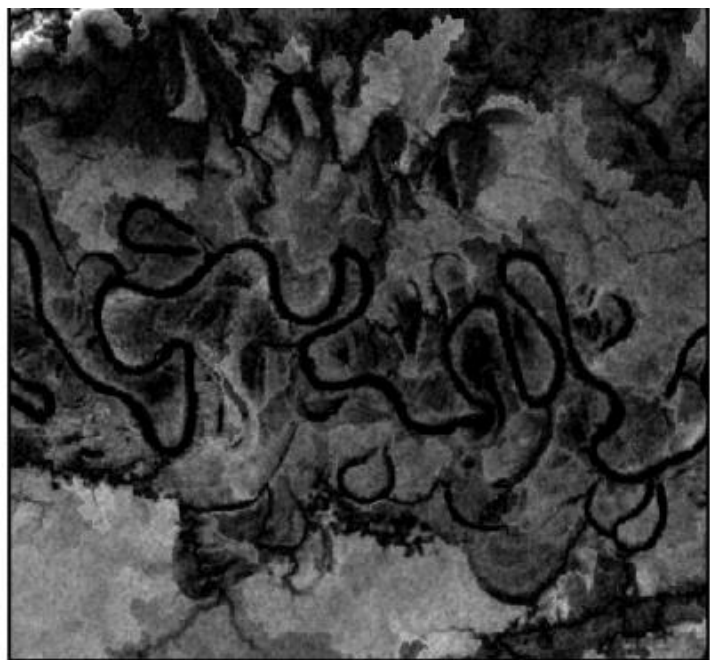
## Variáveis explicativas

**HAND**

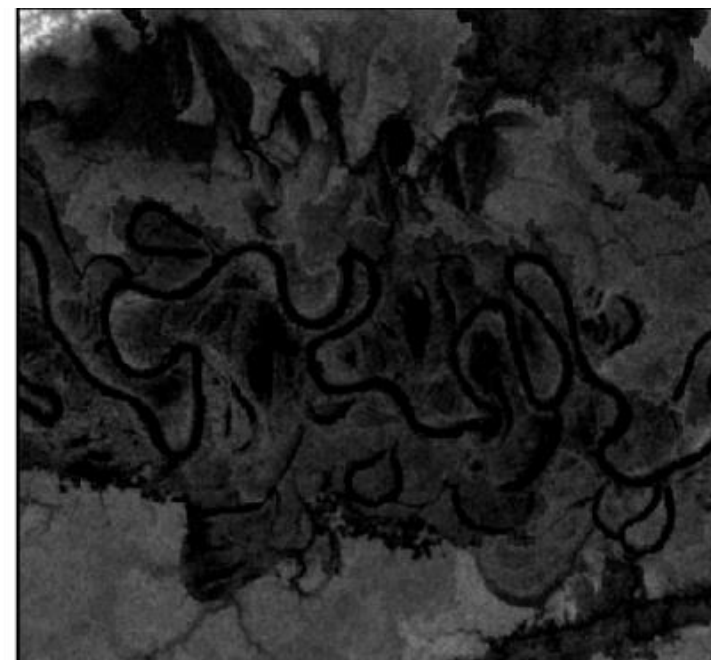


Distância vertical de um pixel da superfície até o pixel de drenagem

HAND considerando drenagem de ordem  $\geq 3$  (m)



HAND considerando drenagem de ordem  $\geq 5$  (m)





# 3 Metodologia

## Modelos de regressão

### *Generalized Linear Model (GLM)*

Extensão do modelo linear clássico

$$g(\mu_i) = \Sigma X\beta = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \beta_3 X_{i3} + \dots$$

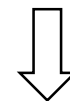
Pressupostos:

- Variável resposta pertence a família exponencial
- Função de ligação estabelece uma relação entre a média e o modelo proposto  $\rightarrow g(\mu_i) = E(Y_i)$

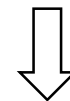
Variável resposta segue uma **distribuição binomial** (e.g. ocorrência ou não ocorrência de alagamento)



Probabilidade de ocorrência = “ $p$ ”  
Probabilidade de não ocorrência = “ $1-p$ ”

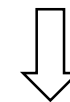


$\left(\frac{p}{1-p}\right) \rightarrow$  razão de chances



Aplicando uma transformação logarítmica no modelo:

$$\log\left(\frac{p}{1-p}\right) = \text{logit}(p)$$



$$\log\left(\frac{p}{1-p}\right) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots$$

# 3 Metodologia

## Modelos de regressão

### *Generalized Additive Model (GAM)*

Extensão do GLM

$$g(\mu_i) = \Sigma X\beta \longrightarrow g(\mu_i) = \Sigma f(X)$$

- $f(X)$  função não paramétrica
  - Estimada através de curvas de alisamento
- A curva alisada permite lidar com relações não lineares no modelo

# 3 Metodologia

## SPGAM – Modelo Aditivo Generalizado Espacial

$$\text{logit}[p(s, x)] = \log \left( \frac{p(s, x)}{1 - p(s, x)} \right) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + k(s)$$

Probabilidade de  
ocorrência da variável  
resposta

Variável  
explicativa

Efeito espacial  
Função de  
Kernel

Efeito da  
variável

Possibilita a geração de um mapa  
contínuo e suavizado da variável  
resposta

# 3 Metodologia

## SPGAM – Modelo Aditivo Generalizado Espacial

Teste global da variação espacial da suscetibilidade e a identificação dos locais com alta e baixa suscetibilidade:



Superfície de suscetibilidade gerada pelo SPGAM

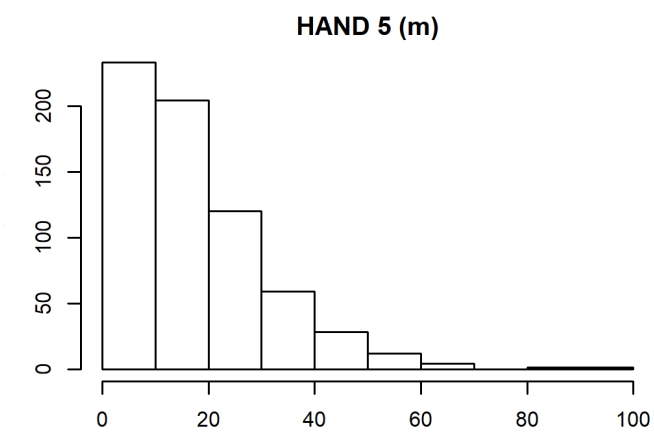
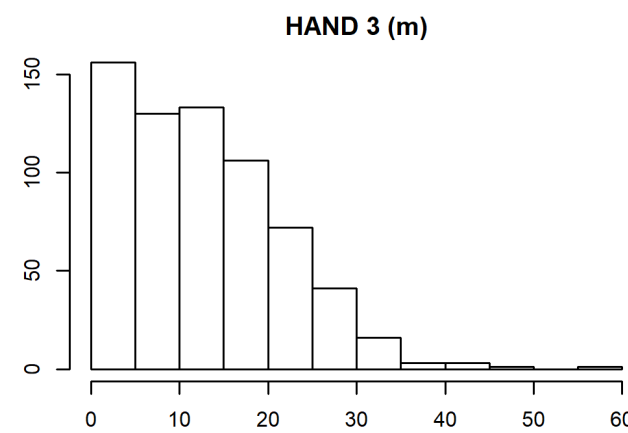
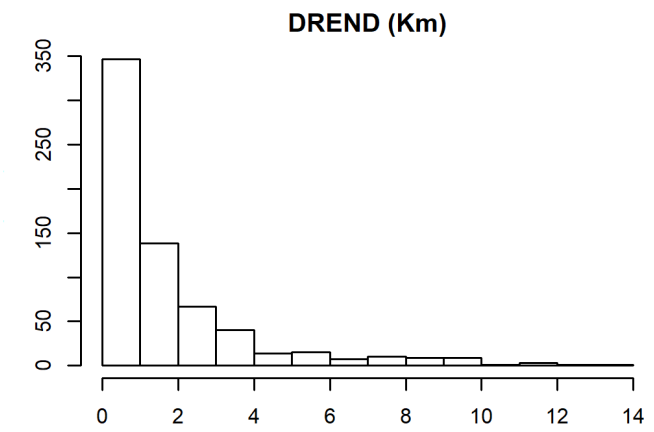
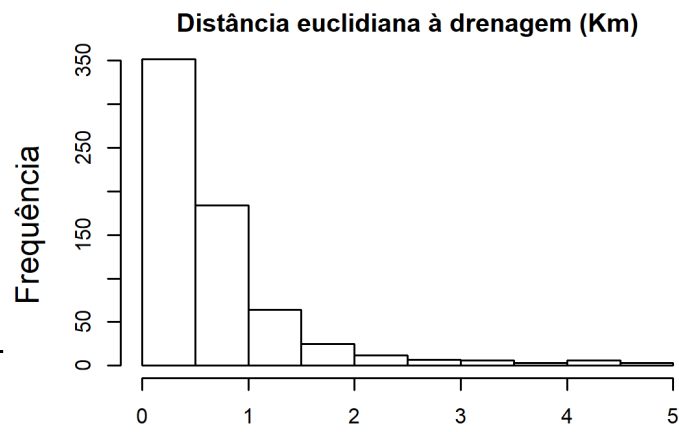
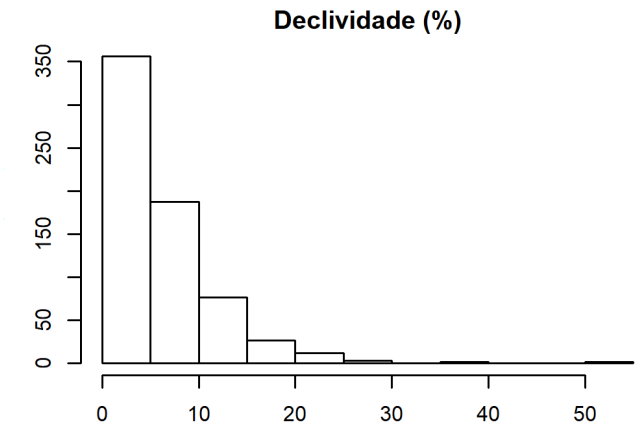
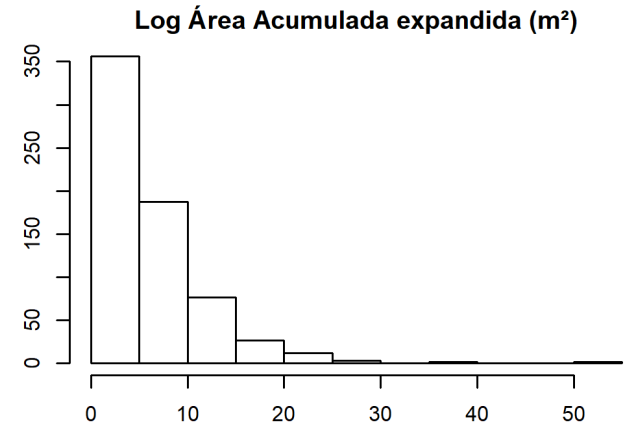
500 Simulações de Monte Carlo

Superfície de suscetibilidade testada

# 4

# Resultados

## Estatística descritivas



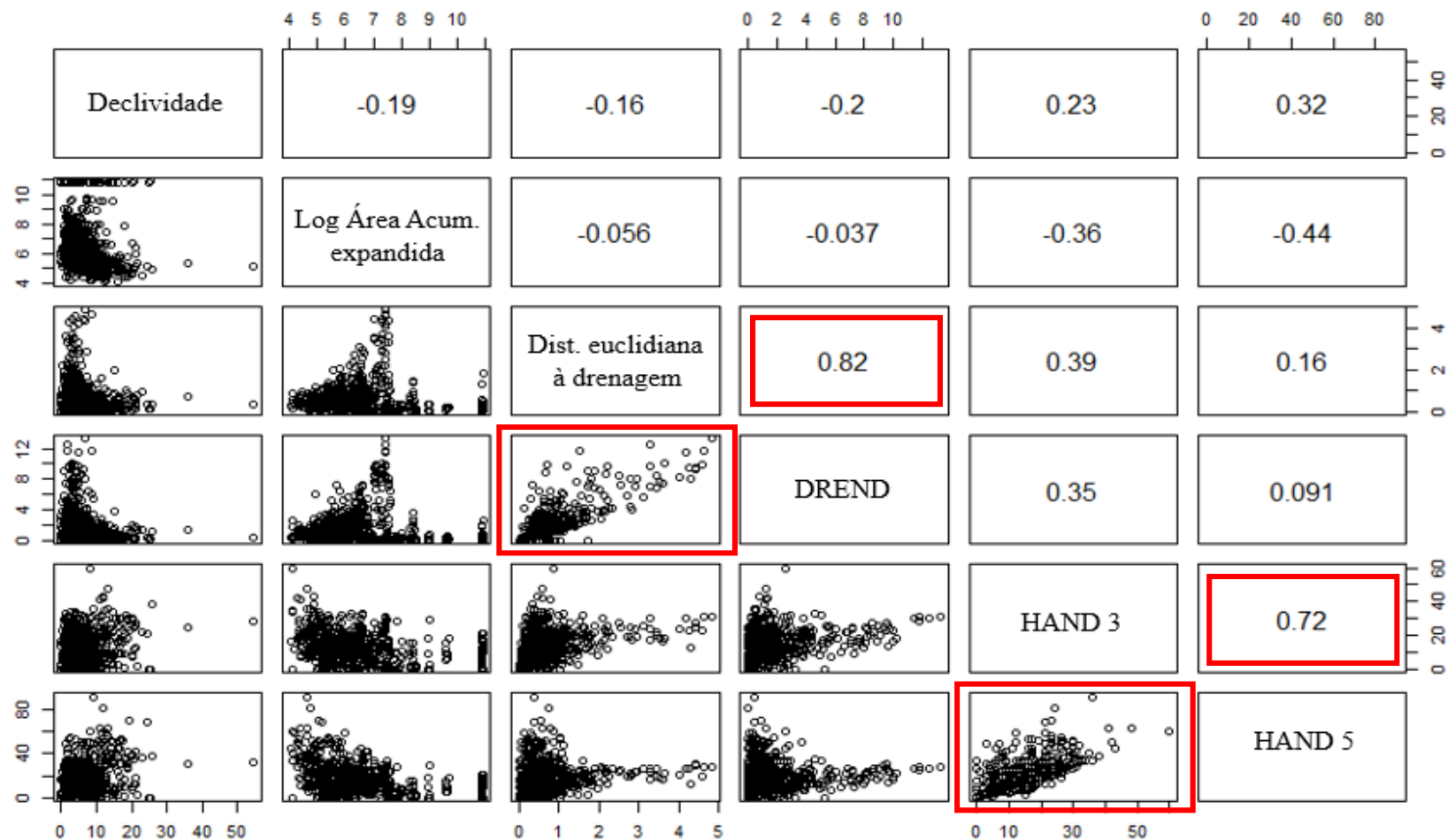
	Declividade	Log Área Acum. Expandida	Distância Euclidiana à drenagem	DREND	HAND3	HAND5
<b>Média</b>	6.151	6.569	0.671	1.704	13.100	17.477
<b>Máximo</b>	54.573	10.910	4.832	13.241	60.000	91.000
<b>Mínimo</b>	0.000	4.019	0.000	0.000	0.000	0.000
<b>1° Quartil</b>	2.708	5.414	0.218	0.278	6.000	8.000
<b>Mediana</b>	4.599	6.234	0.463	0.881	12.000	15.000
<b>3° Quartil</b>	7.899	7.209	0.832	2.141	19.000	24.000
<b>Range</b>	54.573	6.891	4.832	13.241	60.000	91.000
<b>Variância</b>	28.008	2.842	0.570	4.888	84.256	190.613
<b>Desvio Padrão</b>	5.292	1.686	0.755	2.211	9.179	13.806
<b>n</b>	662	662	662	662	662	662

## 4

## Resultados

## Análise da correlação entre as variáveis explicativas

- Distância euclidiana à rede de drenagem e DREND
- HAND 3 e HAND 5
- Multicolinearidade afeta a significância dos coeficientes
  - Inicialmente nenhuma variável foi retirada






# 4 Resultados

## Construção do modelo SPGAM

- 1ª Tentativa : Variável resposta  $\sim$  Declividade + Log\_Área\_Acum\_Exp + Dist. euclidiana à drenagem + DREND + HAND 3 + HAND 5

 Declividade excluída  $\rightarrow$  p-valor não significativo

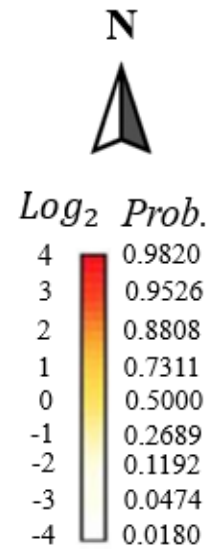
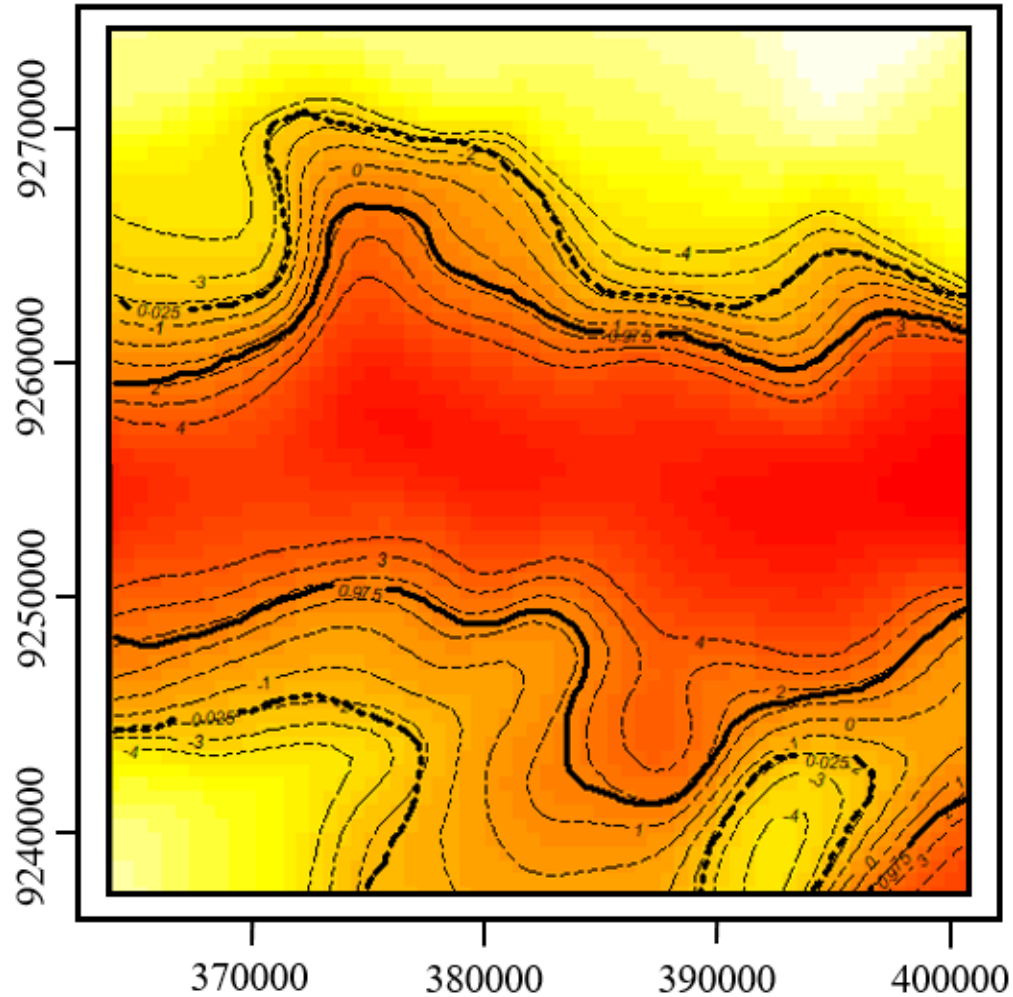
- 2ª Tentativa : Variável resposta  $\sim$  Log\_Área\_Acum\_Exp + Dist. euclidiana à drenagem + DREND + HAND 3 + HAND5

$\beta$	Estimativa	Erro padrão	t -valor	p-valor
Intercepto ( $\beta_0$ )	1.99997	0.37436	5.34238	1.27E-07
Log Área Acum Exp	0.14278	0.04849	2.94446	0.00335
Dist euclidiana à drenagem	-0.49669	0.16674	-2.9789	0.00300
DREND	0.13443	0.04658	2.88628	0.00403
HAND3	0.03252	0.01614	2.01428	0.04439
HAND5	-0.25657	0.01557	-16.48	2.58E-51

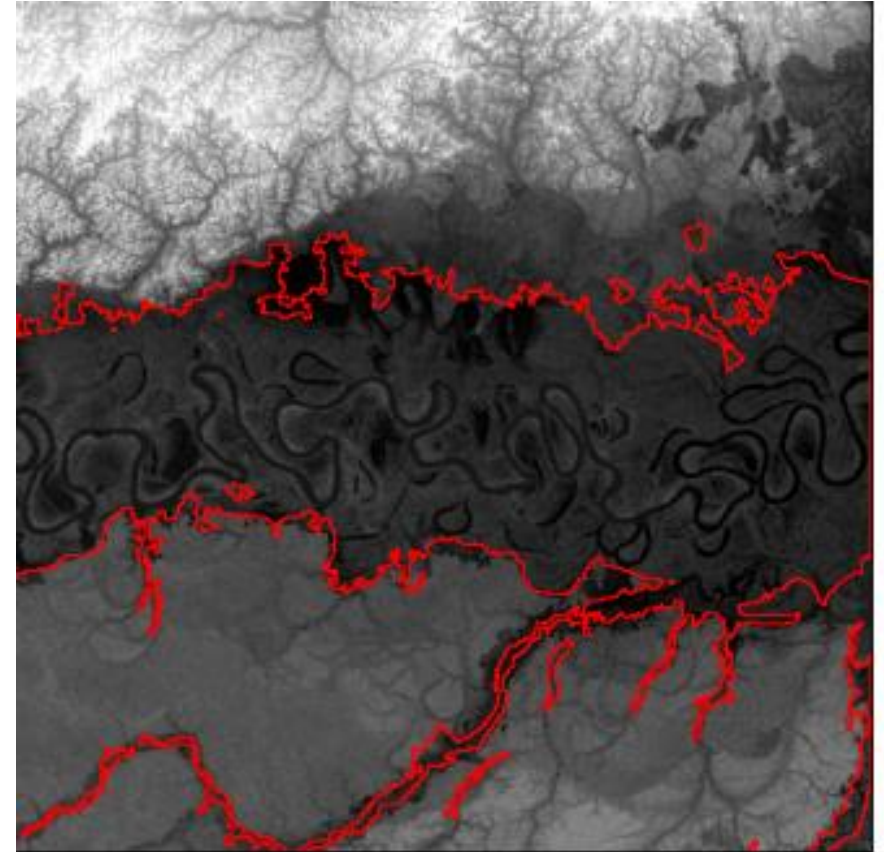


# 4 Resultados

## Mapa de suscetibilidade de alagamento

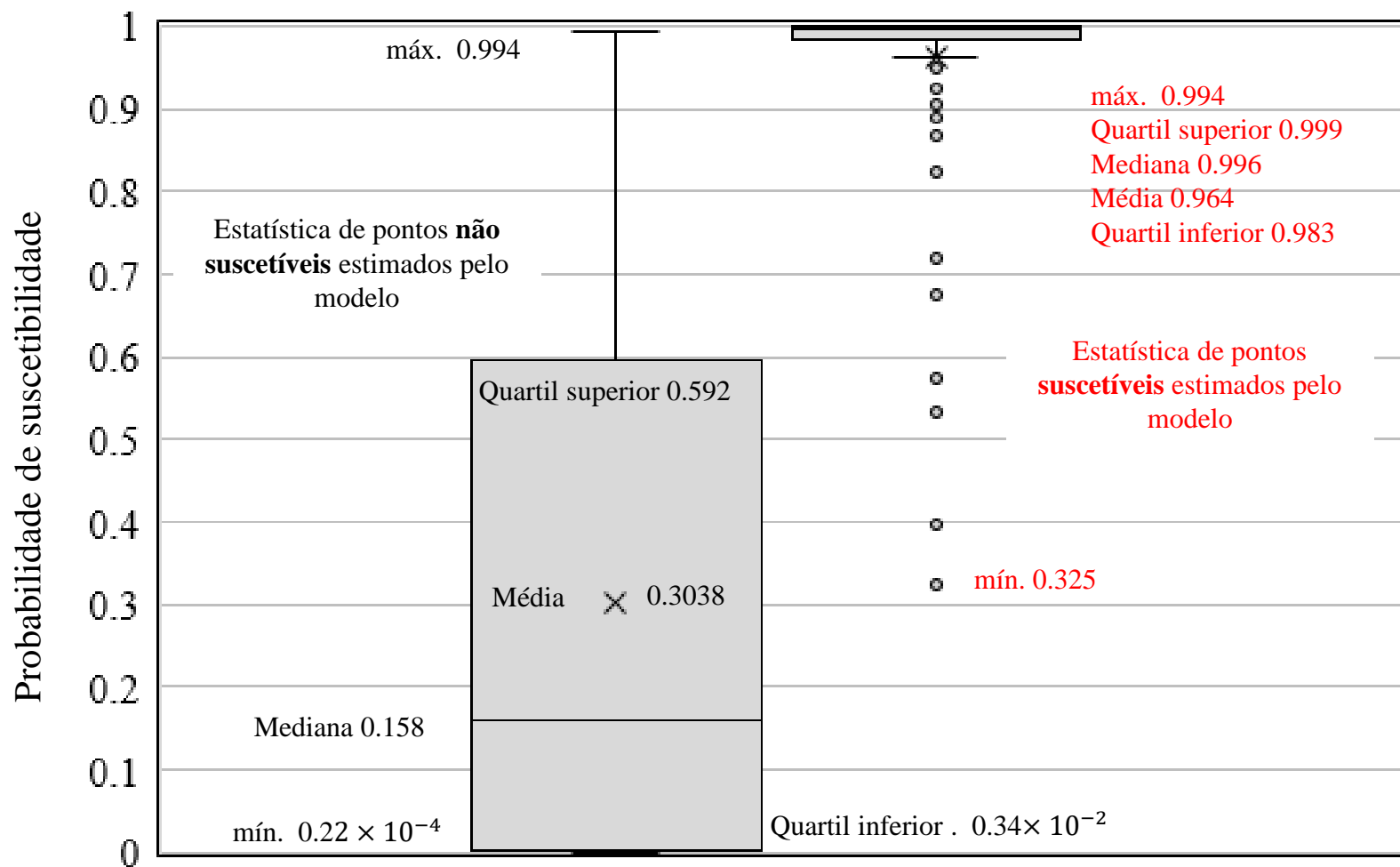


*Wetmask*



# 4 Resultados

## Validação do modelo

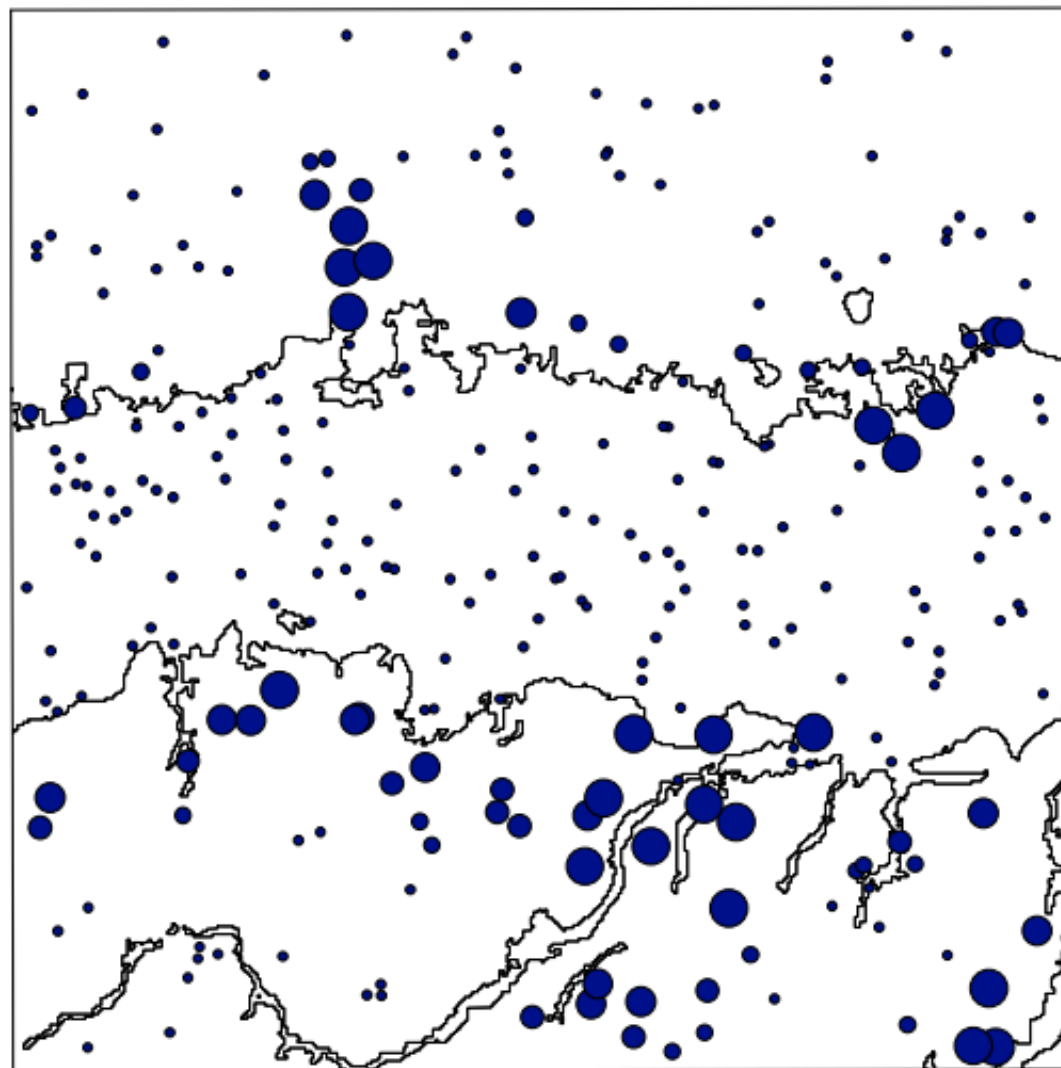


**Como os erros estão distribuídos espacialmente?**

## 4

## Resultados

## Mapa de erros



$$\text{Erro}^2 = (\text{valor modelado} - \text{valor observado})^2$$

Erro<sup>2</sup>

- 0.000000 - 0.039018
  - 0.039019 - 0.130522
  - 0.130523 - 0.337047
  - 0.337048 - 0.652782
  - 0.652783 - 0.987476
- *Wetmask*

# 5

## Conclusões

- A correlação entre as variáveis foi considerada e o espaço foi levado em conta para construção do modelo
- O fenômeno de áreas alagáveis é significativamente relacionado aos fatores condicionantes testados
- O modelo fez uma boa previsão para pontos de alagamento, já para os de não alagamento houve grande variação
- A espacialização dos erros associados aos valores obtidos pelo modelo mostrou que as áreas de transição entre as classes apresentaram maiores erros associados
- Para trabalhos futuros:
  - Analisar outras variáveis
  - Gerar mapa de incerteza associado ao mapeamento

## 6

# Bibliografia

HESS, L. L.; MELACK, J. M.; NOVO, E. M. L. M.; BARBOSA, C. C. F.; GASTIL, M. Dual season mapping of wetland inundation and vegetation for the central Amazon basin. **Remote Sensing of Environment**, v. 87, p.404-428, 2003

Lopes, A., & Piedade, M. T. F. (2015). *Uma viagem pelas várzeas e igapós* (A. Lopes & M. T. F. Piedade (eds.)). Editora INPA.

SOUSA, T. M. I.; SARAIVA, A. G. S.; PAZ, A. R. Distâncias relativas à rede de drenagem: euclidiana x caminho de fluxo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17. (SBSR), 2015, João Pessoa, **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2015. p. 6227-6234.