



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**Curso: Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto**

**Disciplina: Análise Espacial de Dados Geográficos (SER-301)**

**Professores Responsáveis: Dr. Antônio Miguel Vieira Monteiro e Dr. Eduardo G. Camargo**

**APLICAÇÃO DE AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL EM  
SÉRIES TEMPORAIS DE IMAGENS DE SATÉLITE PARA  
ANÁLISE DA DINÂMICA DAS ÁREAS ÚMIDAS EM UM  
TRECHO DA PLANÍCIE DO RIO DOS SINOS**

**Thiago Bazzan**

**E-mail: [thiago.bazzan@inpe.br](mailto:thiago.bazzan@inpe.br)**

**São José dos Campos, 2019**

# 1. INTRODUÇÃO

---

## ***Áreas úmidas:***

Grande biodiversidade animal e vegetal;

Pulsos de inundação;

Relevância ecológica;

Processo de uso e ocupação (urbanização e agricultura);

Alteração dos processos ecológicos e hidrológicos;

Impactos socio-econômicos das inundações.

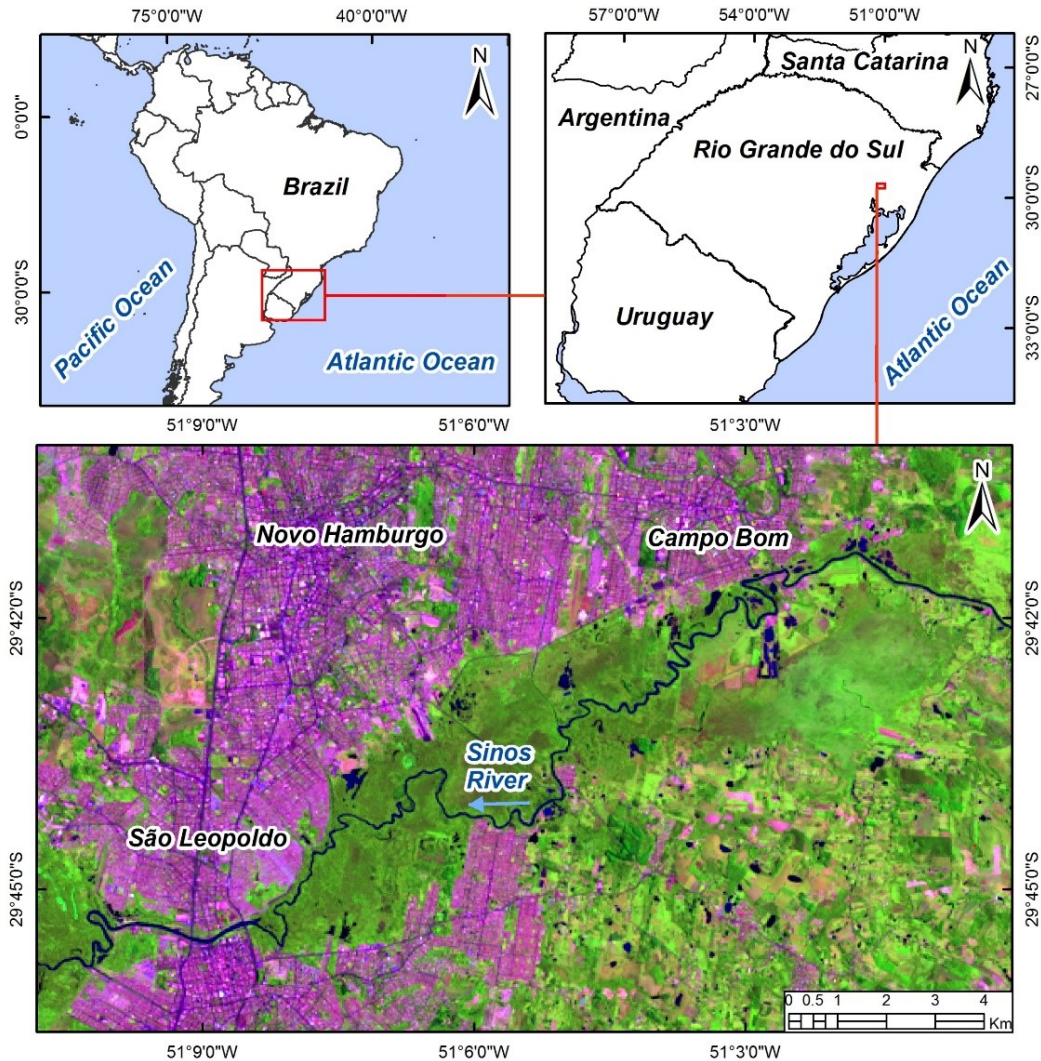
# 1. INTRODUÇÃO

---

## ***Objetivo:***

Avaliar se o Índice Global de Moran pode explicar a dinâmica dos padrões das áreas úmidas na planície do rio dos Sinos entre 1984 e 2019 comparando seu desempenho com as métricas da paisagem e medidas hidrológicas.

# 1.1. ÁREA DE ESTUDO



\*As análises estatísticas foram realizadas na área correspondente ao retângulo envolvente.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

---

### **Série Temporal das Imagens do Satélite Landsat**

Imagens do sensor TM do satélite Landsat-5:

1984-2011

2012: sem imagens.

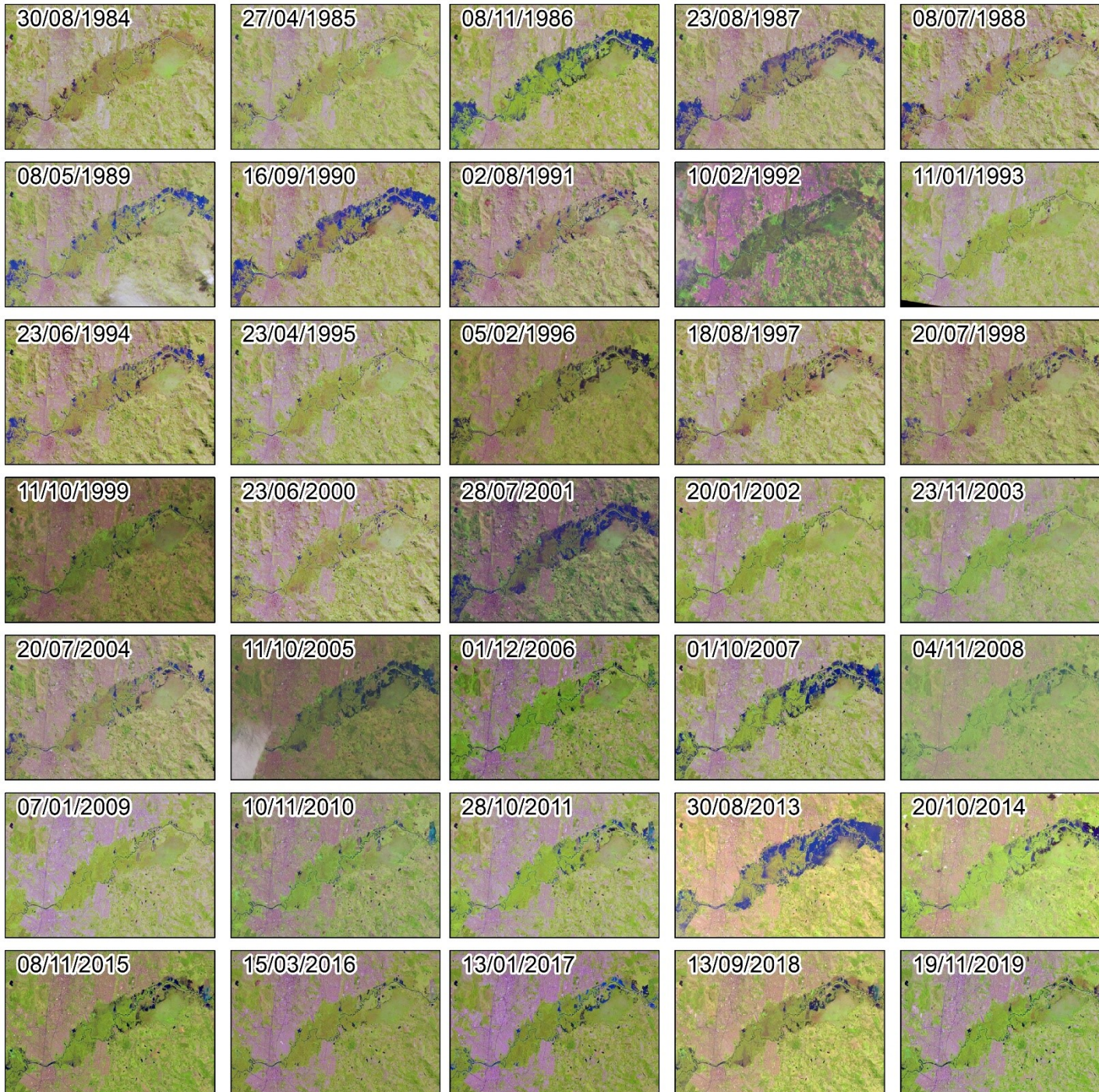
Imagens do sensor OLI do satélite Landsat-8:

2013-2019

Total de 35 imagens de satélite:

Imagem com maior presença de água superficial no ano.





## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

---

### *Mapeamento da água*

Aplicação do MNDWI em cada uma das imagens.

$$MNDWI = \frac{Green - SWIR1}{Green + SWIR1}$$

Imagem com valores reais contínuos no intervalo entre -1 e 1.

Classificação a partir da limiarização dos valores:

não água (-1 a 0) para valor inteiro = 1

água (>0) para valor inteiro = 2



## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### *Métricas da paisagem e medida hidrológica*

Variáveis dependentes:

<b>Métrica</b>	<b>Descrição</b>	<b>Unidades</b>	<b>Alcance</b>
<i>Landscape proportion</i>	Abundância proporcional de fragmentos de água	%	0 a 1
<i>Edge length</i>	Comprimentos total da borda dos fragmentos de água	m	$\geq 0$
<i>Landscape division</i>	Probabilidade de que dois pixels escolhidos aleatoriamente na paisagem não estejam situados no mesmo fragmento	Proporção	0 a 1
Cota do rio	Elevação da água do rio em relação a uma referência	cm	$\geq 0$

Extração das métricas paisagem: LecoS *plugin* no QGIS.

Cota do rio: plataforma *on-line* Hidroweb – 32 medidas.



## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

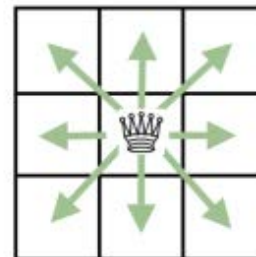
### Índice de autocorrelação espacial

Variável independente: Índice Global de Moran (SAGA/QGIS e R).

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x}) (x_j - \bar{x})}{\left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \right) \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (i \neq j)$$

Um valor de autocorrelação espacial por ano. Varia de -1 a 1.

Matriz de vizinhança (3x3): *Queen*



Se pixels forem adjacentes:  $w_{ij} = 1$ .

Se pixels não forem adjacentes:  $w_{ij} = 0$

$w_{ij}$  é a proximidade espacial entre  $i$  (linha) e  $j$  (coluna).

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

---

### *Análise exploratória*

Relações gerais entre variável independente x dependente.

### *Análise estatística*

Normalização de todas as variáveis:

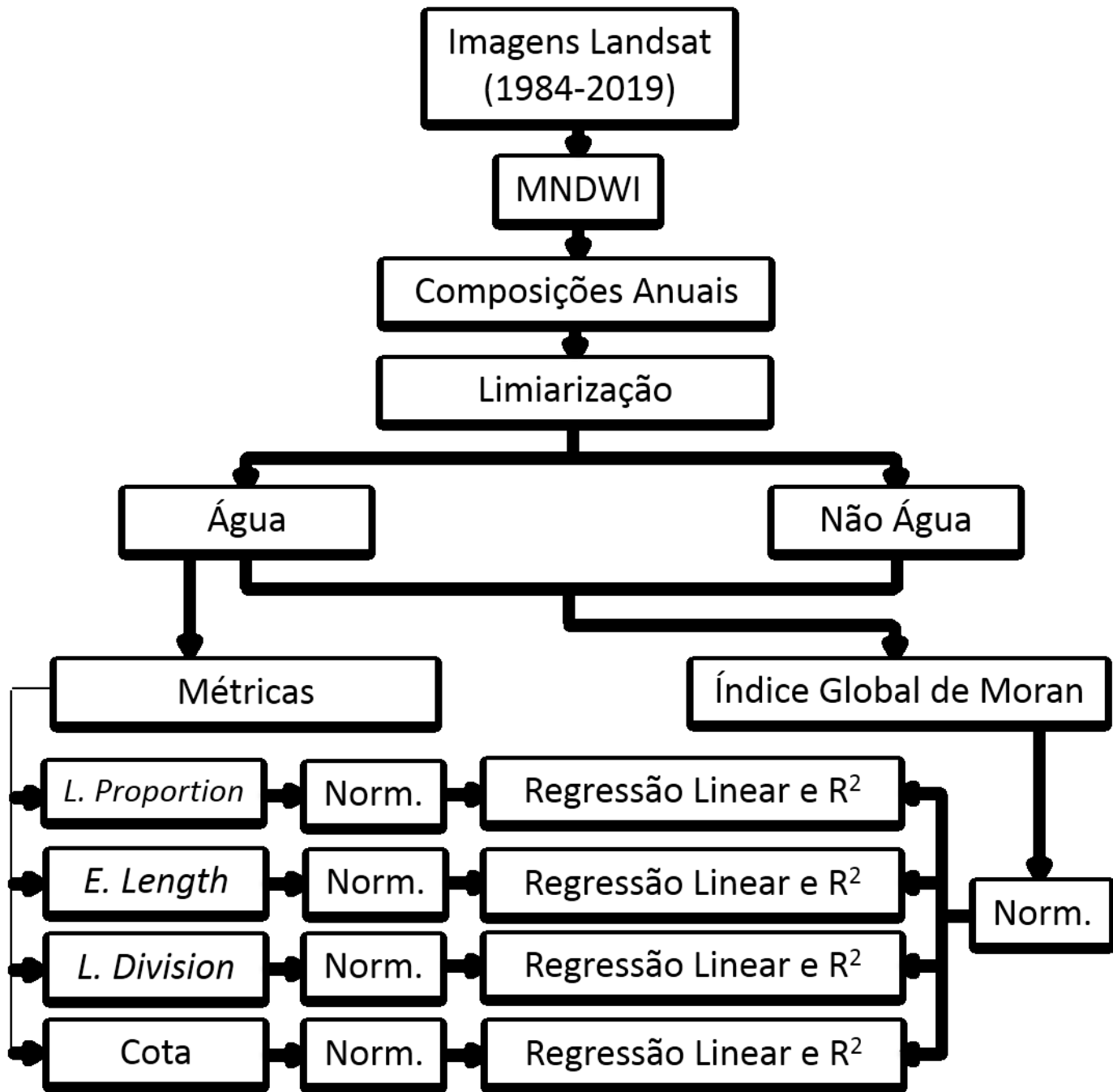
Método min-max: todos valores no intervalo entre 0 e 1.

Estatística descritiva (pacote R):

Avaliação de cada variável e relações entre variáveis.

Regressão linear:  $Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \xi_i$

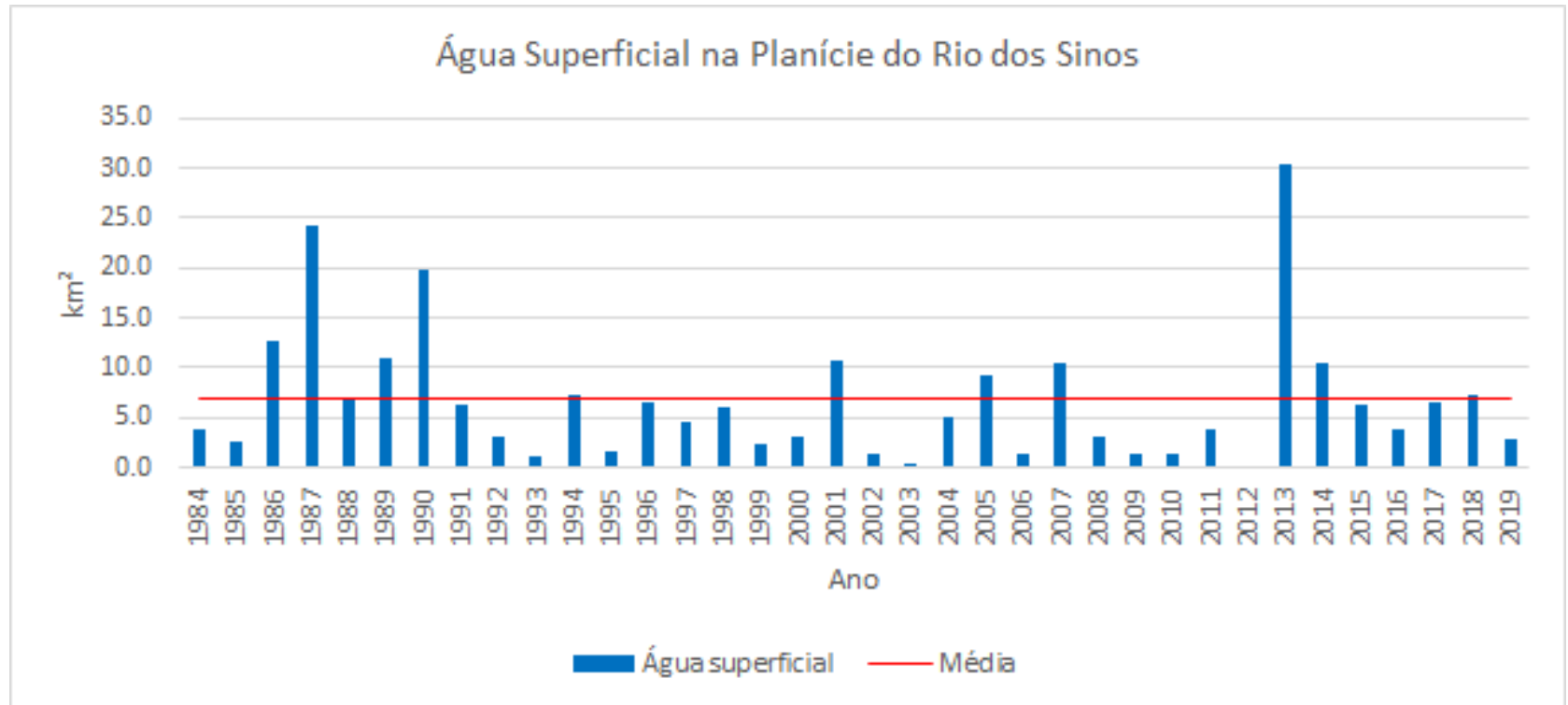
Coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e testes de normalidade.



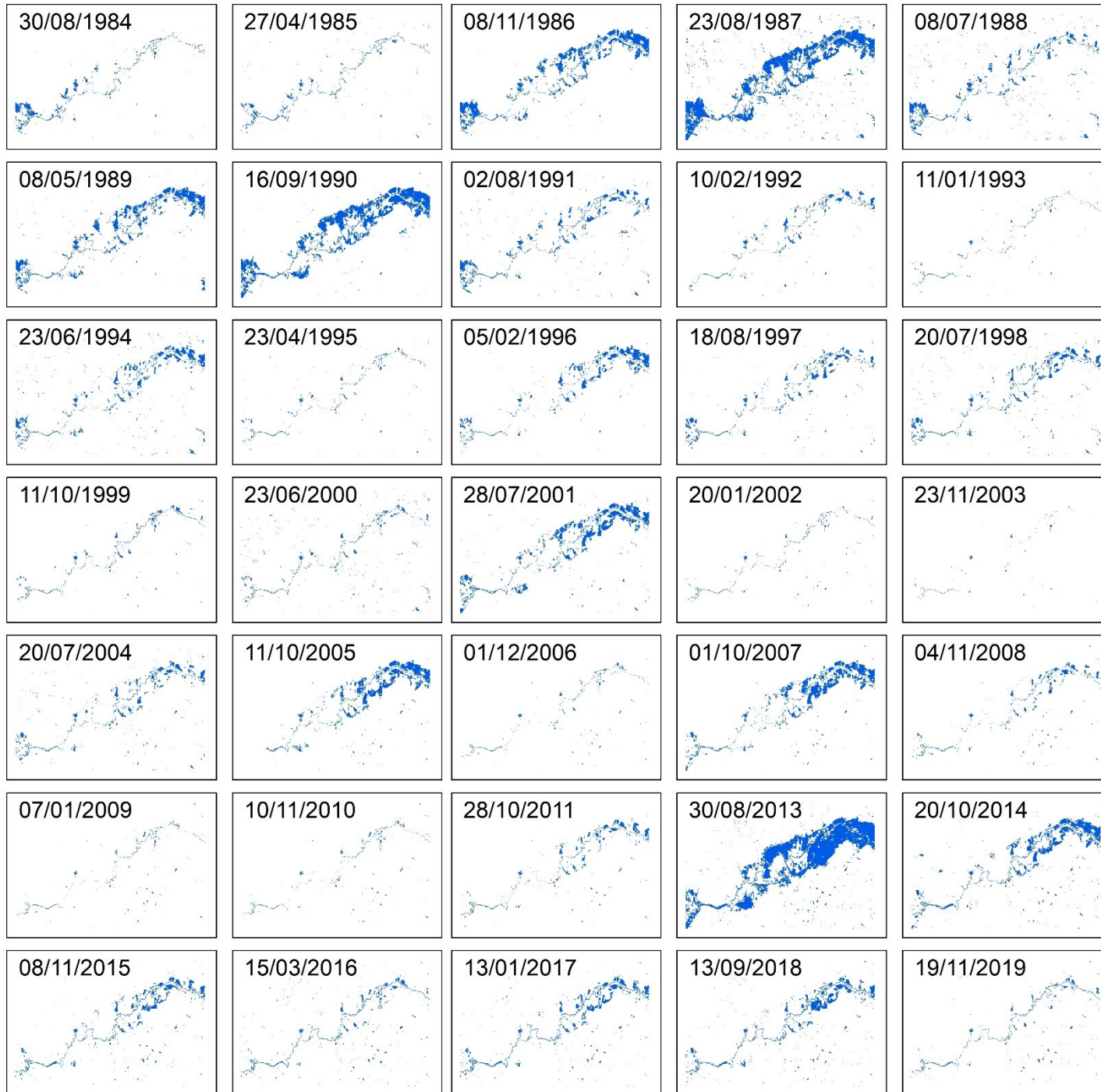
### 3. RESULTADOS

#### **Análise espacial e temporal da água superficial**

Aumento (expansão) e redução (retração) da água.





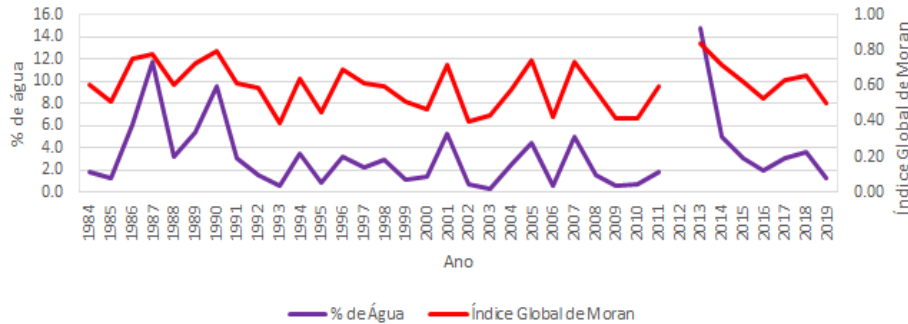


# 3. RESULTADOS

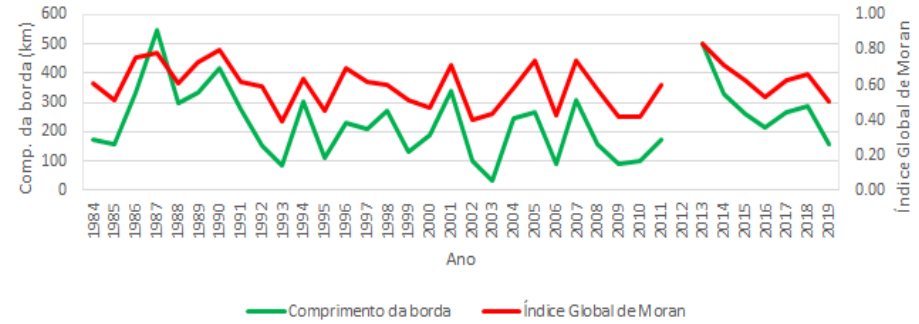
## Análise exploratória

Relação entre Índice Global de Moran e variáveis dependentes.

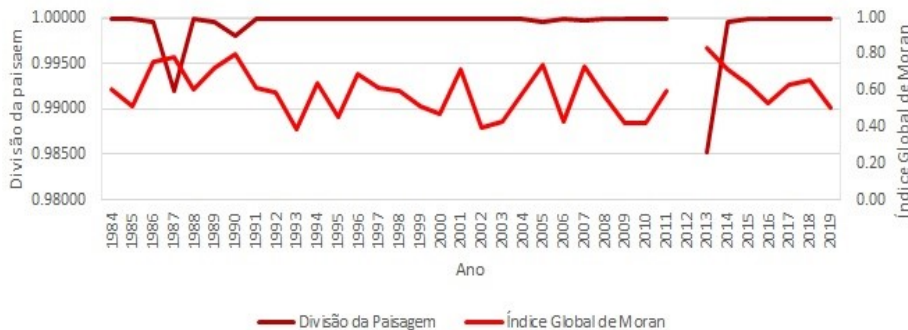
Índice Global de Moran e Porcentagem da Área de Água



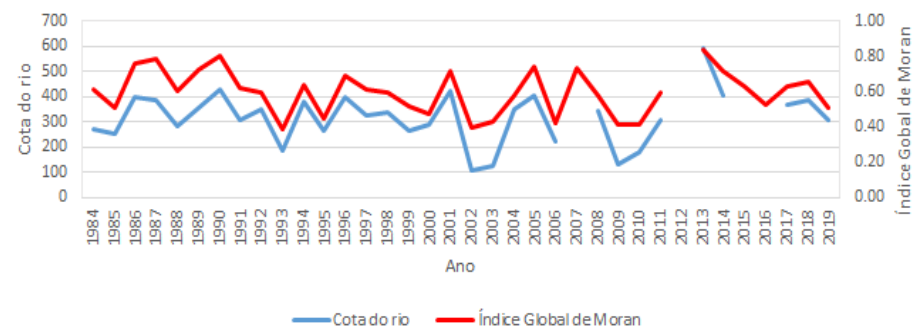
Índice Global de Moran e Comprimento da Borda



Índice Global de Moran e Divisão da Paisagem



Índice Global de Moran e Cota do Rio

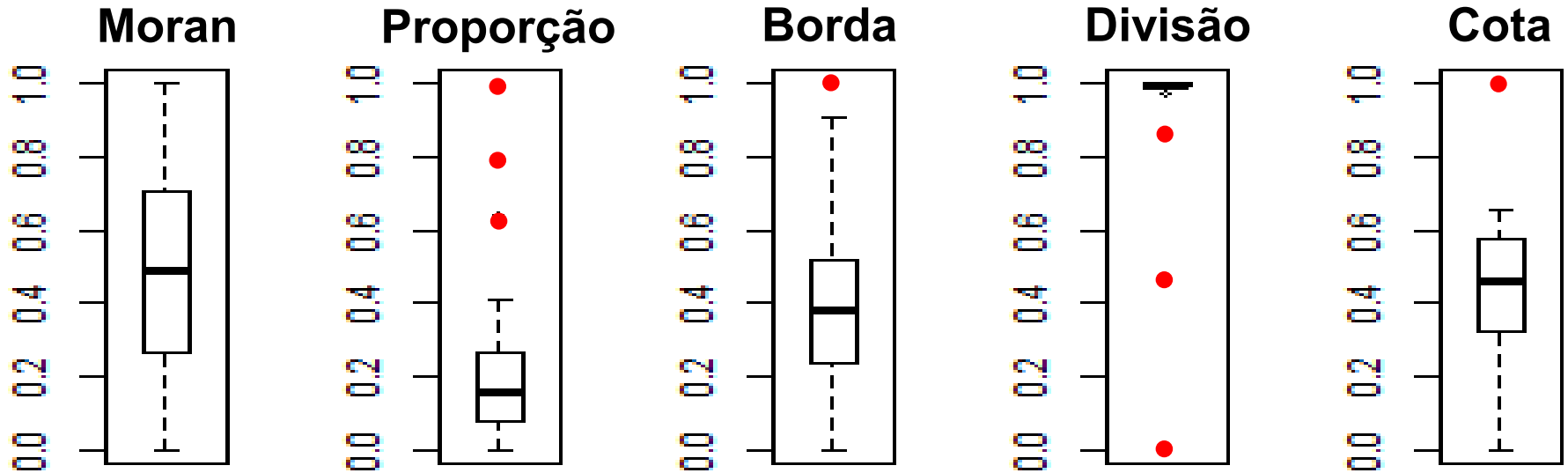


### 3. RESULTADOS

#### Estatística descritiva

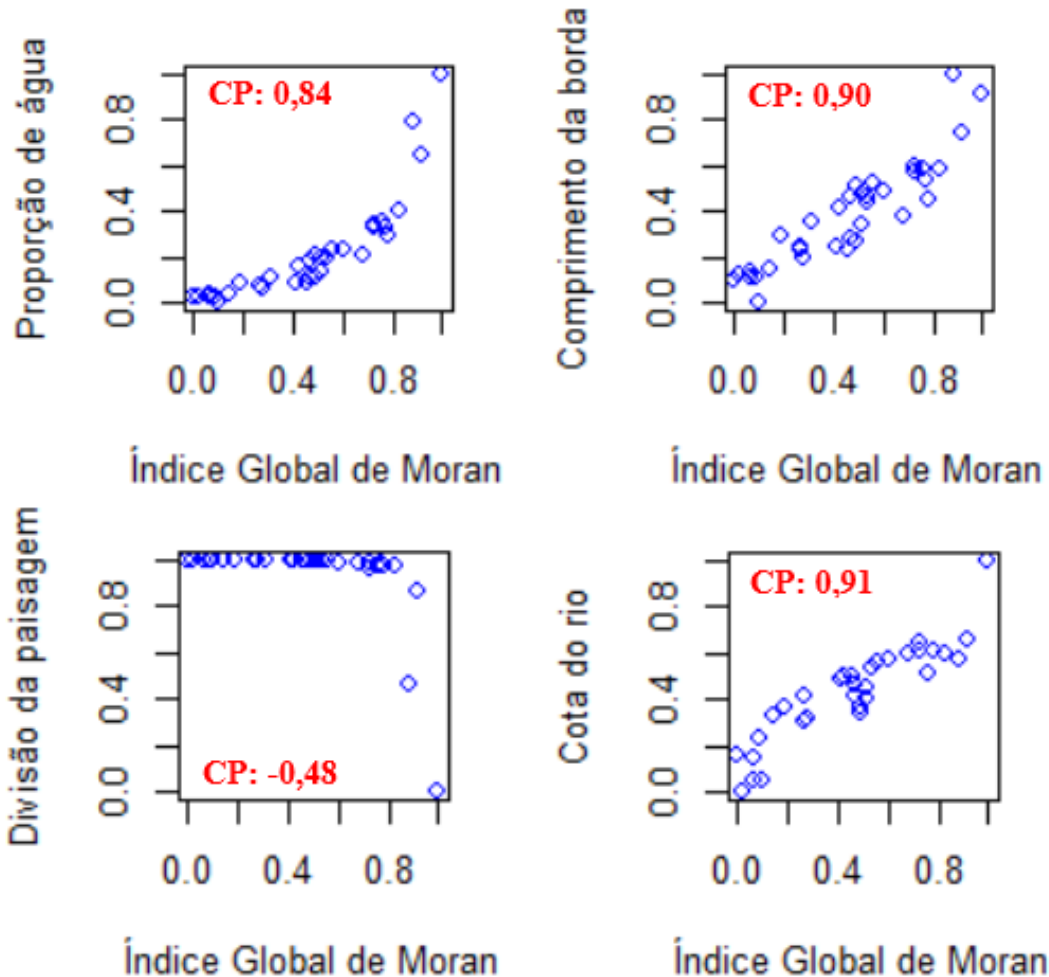
#### *Boxplot*

Dispersão das observações e *outliers*.



### 3. RESULTADOS

#### Estatística descritiva – Linearidade





### 3. RESULTADOS

#### Análise da regressão linear

	<i>Modelo Moran- Landscape proportion</i>	<i>Modelo Moran- Edge length</i>	<i>Modelo Moran- Landscape division</i>	<i>Modelo Moran- Cota do rio</i>
<b>Intercept</b>	-0.09646	0.04405	1.0985	0.12404
<b>Inclinação</b>	0.66281	0.73887	-0.3246	0.67033
<b>Erro padrão</b>	0.1213	0.09934	0.1684	0.08957
<b>R<sup>2</sup></b>	0.7056	0.8163	0.2298	0.825
<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	0.6967	0.8107	0.2065	0.8192
<b>valor-p</b>	2.8e-10	1.091e-13	0.003572	6.985e-13
<b>F</b>	79.1	146.7	9.846	141.4

### 3. RESULTADOS

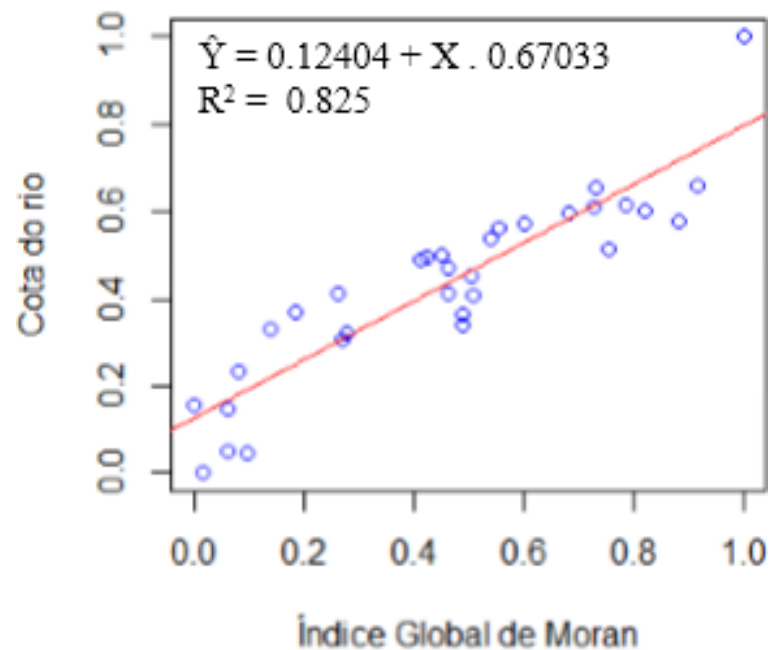
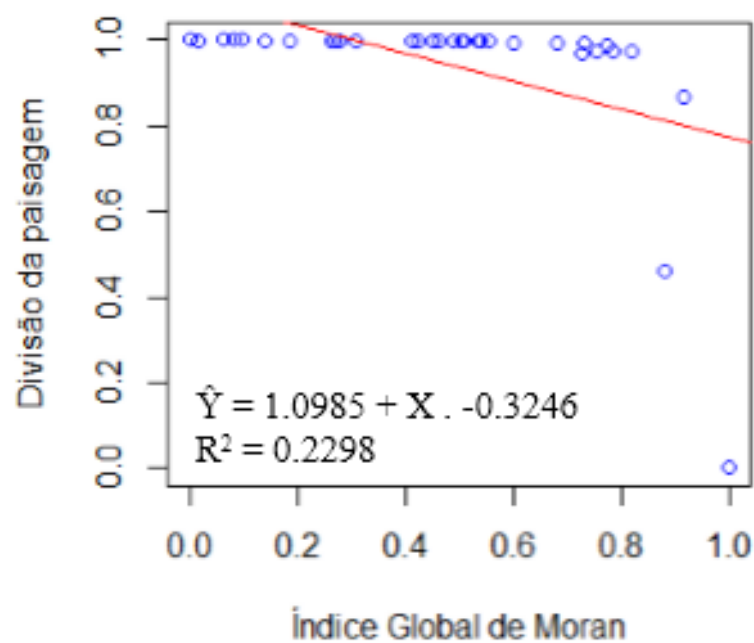
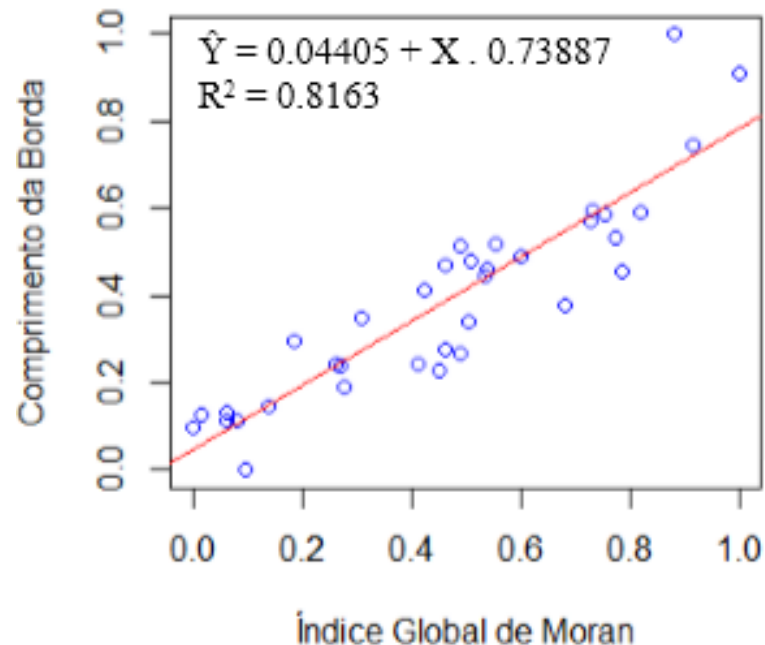
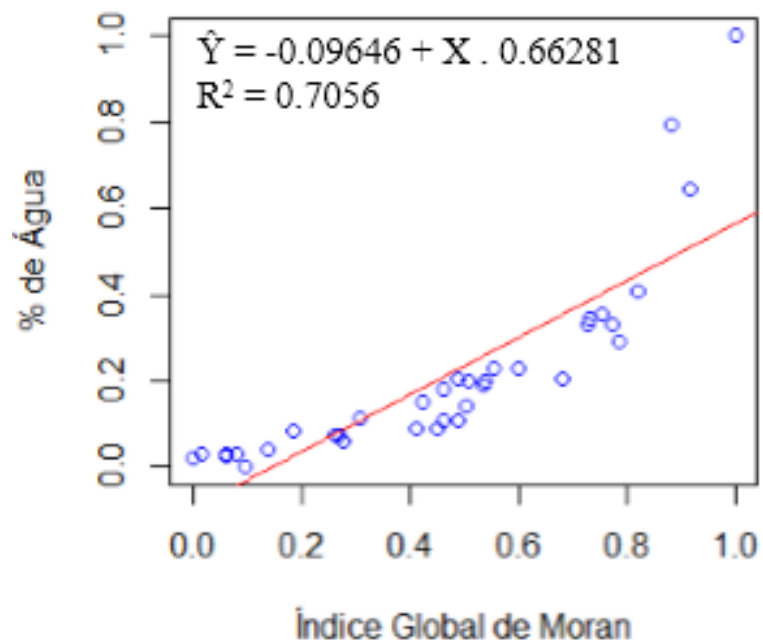
#### *Análise da regressão linear*

Confiabilidade do modelo:

Normalidade: resíduos normalmente distribuídos ( $p > 0,05$ ).

Homocedasticidade: variância constante ( $p > 0,05$ ).

	<i>Modelo Moran- Landscape proportion</i>	<i>Modelo Moran- Edge length</i>	<i>Modelo Moran- Landscape division</i>	<i>Modelo Moran- Cota do rio</i>
<b>Teste Jarque-Bera</b>	6.715e-10	0.2106	< 2.2e-16	0.7554
<b>Teste Shapiro-Wilk</b>	0.000103	0.09681	6.429e-08	0.4899
<b>Teste Breusch-Pagan</b>	0.009359	0.05041	0.01631	0.5513



## 4. CONCLUSÕES

---

### ***MNDWI:***

Bom desempenho para mapeamento da água.

### ***Série temporal das imagens de satélite:***

Variabilidade espacial e temporal nas ocorrência de áreas úmidas.

### ***Métricas da paisagem e medida hidrológica:***

Caracterização da dinâmica e quantificação das áreas úmidas.

### ***Índice Global de Moran:***

Bom desempenho	Baixo desempenho
Perímetro total das áreas úmidas	Fragmentação das áreas úmidas
Elevação do nível da água do rio	Variabilidade espacial das áreas úmidas



## 4. CONCLUSÕES

---

### ***Considerações finais e recomendações:***

Aumentar amostragem: maior número de imagens por ano.

Utilizar limiares diferentes para extração da água do MNDWI.

Eliminar pequenos pixels ou fragmentos.

Foi considerado apenas o Índice Global de Moran.

Considerar outros índices de autocorrelação espacial.

Avaliar outras métricas da paisagem e medidas hidrológicas.