



# ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO PARA O ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

**KENNY D. OLIVEIRA**

**INPE**

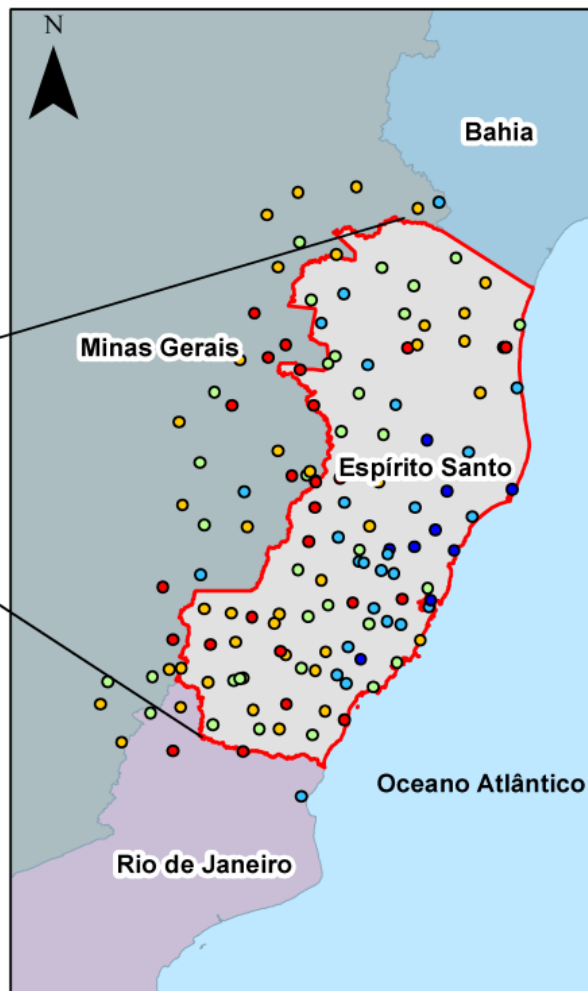
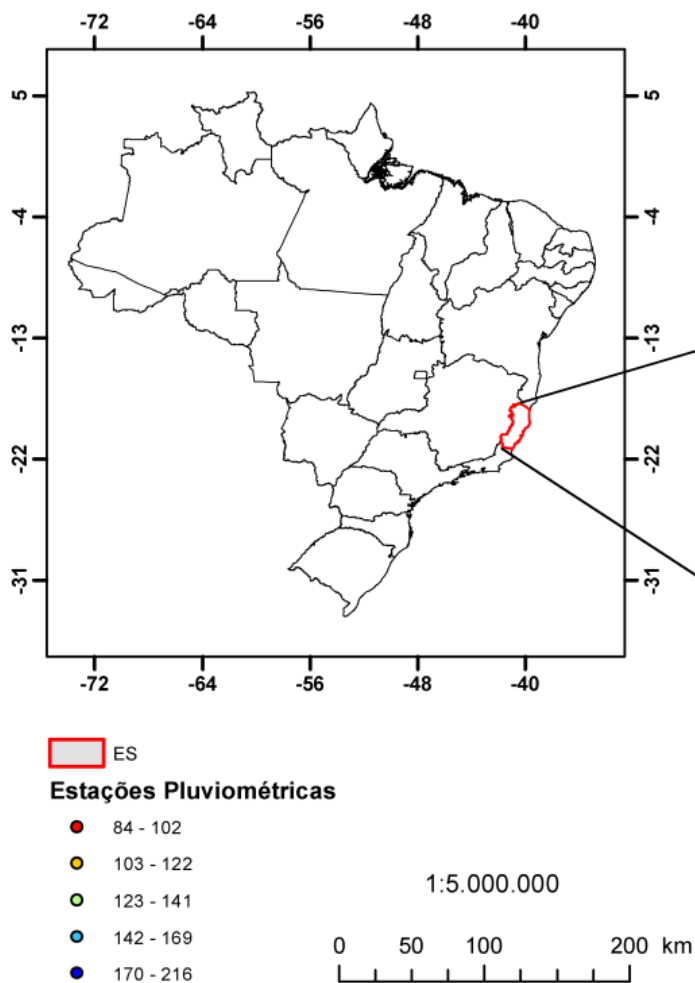
**São José dos Campos  
Dezembro de 2016**

# INTRODUÇÃO

1. Contextualização do trabalho;
2. Justificativa;
3. O problema da pesquisa;
4. Objetivo

- Buscou-se por meio do presente trabalho realizar a **modelagem probabilística de eventos de precipitação extrema** para o estado do Espírito Santo, de forma que os dados de **chuvas extremas possam ser calculados para qualquer período de retorno desejado** sob suporte de análise de incerteza dos dados

# LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO



- Latitude  $-17^{\circ}52'$  e  $-21^{\circ}17'$
- Longitude  $-41^{\circ}54'$  e  $-39^{\circ}38'$
- Área de 46.077,51km<sup>2</sup>
- Clima quente e seco na porção norte, a frio e úmido na região sul
  - Continentalidade;
  - Maritimidade;
  - Topoclima
- 134 estações ANA e INMET
- Série: 2007 a 2015
- Série chuva máxima

$$M = \mu + K \sigma$$

em que:

M = magnitude do evento para o período de retorno estabelecido;

$\mu$  = média dos eventos;

K = fator de frequência; e

$\sigma$  = desvio padrão dos eventos.

## Distribuição de Gumbel

Magnitude do evento para séries finitas

$$M = \mu + \frac{\sigma_x}{\sigma_n} (b - Y_n)$$

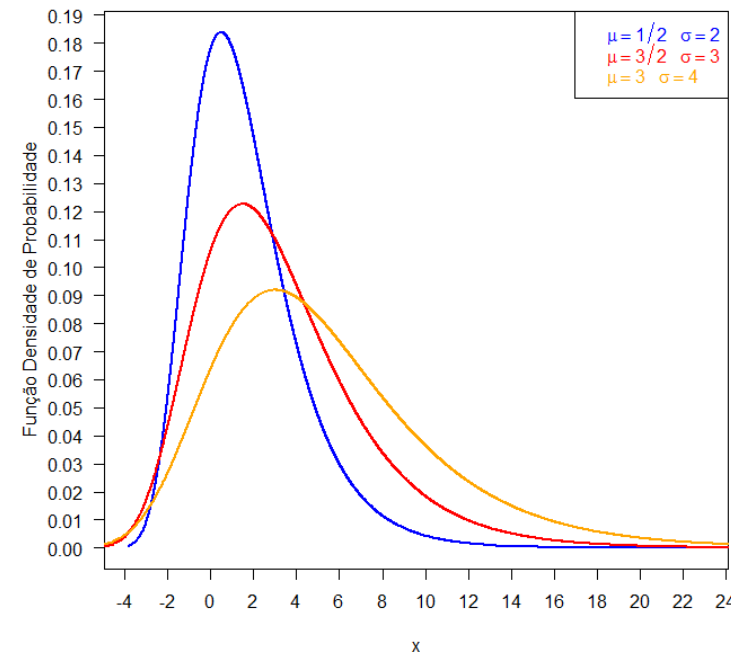
sendo:

$$b = -\ln\left(-\ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right)$$

Magnitude do evento para séries infinitas

$$K = -\left\{0,45 + 0,7797 \ln\left(-\ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right)\right\}$$

Distribuição Gumbel



em que:

M = magnitude do evento;

$\mu$  = média da amostra;

$\sigma_x$  = desvio padrão da amostra;

$\sigma_n$  = desvio padrão da variável reduzida;

b = variável reduzida;

$Y_n$  = média da variável reduzida; e

T = período de retorno.

## Distribuição Log-Normal tipo II

Conforme Kite (1988), para a série gerada a partir dos logaritmos dos eventos da série de dados, o fator de frequência é calculado da seguinte forma

$$K = \frac{\left( e^{\sqrt{\ln(z^2+1)} \cdot t} - \frac{\ln(z^2+1)}{2} \right) - 1}{z}$$

sendo:

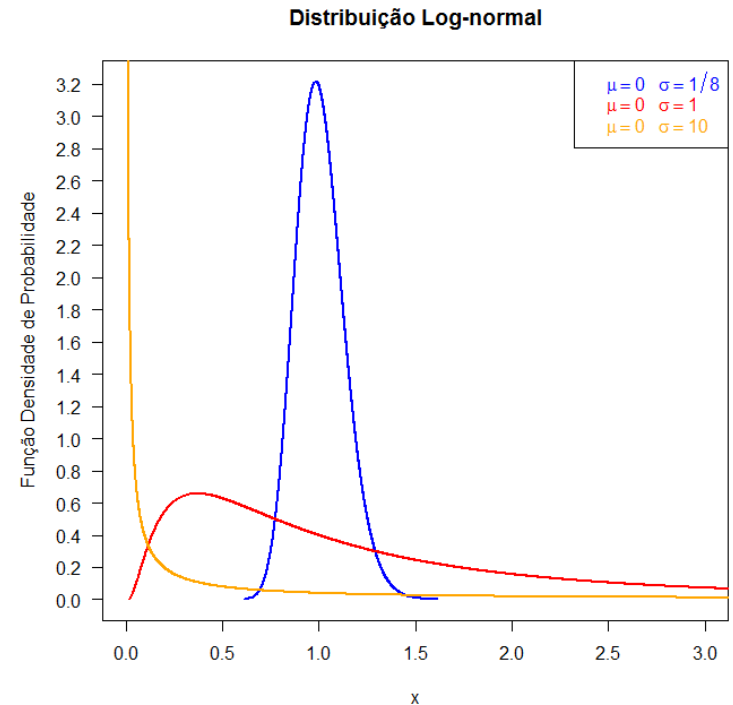
$$z = \frac{\sigma}{\mu}$$

em que:

$t$  = período de retorno;

$\sigma$  = desvio padrão dos eventos da amostra; e

$\mu$  = média dos eventos da amostra.



## Distribuição Log-Normal tipo III

Conforme Kite (1988), para a série gerada a partir dos logaritmos dos eventos da série de dados, o fator de frequência é calculado da seguinte forma

$$K = \frac{\left( e^{\sqrt{\ln(z^2+1)}} \cdot D - \frac{\ln(z^2+1)}{2} \right)_{-1}}{\sqrt{\left( e^{\ln(z^2+1)} \right)_{-1}}}$$

sendo:

$$K = \frac{\left( e^{\sqrt{\ln(z^2+1)}} \cdot t - \frac{\ln(z^2+1)}{2} \right)_{-1}}{W}$$

$$W = \frac{1 - \omega^{\frac{2}{3}}}{\omega^{\frac{1}{3}}} \quad \omega = \frac{-\gamma + \sqrt{\gamma^2 + 4}}{2}$$

$$\gamma = \frac{N}{(N-1)(N-2)} \sum_{i=1}^N \left( \frac{(x_i - \mu)^3}{\sigma^3} \right)$$

em que:

t = período de retorno;

$\sigma$  = desvio padrão dos eventos da amostra;

$\mu$  = média dos eventos da amostra;

$\gamma$  = assimetria; e

N = número de eventos.

## Distribuição Pearson tipo III

$$K = D + (D^2 - 1) \frac{\gamma}{6} + \frac{1}{3} (D - 6D) \left(\frac{\gamma}{6}\right)^2 - (D^2 - 1) \left(\frac{\gamma}{6}\right)^3 + D \left(\frac{\gamma}{6}\right)^4 + \frac{1}{3} \left(\frac{\gamma}{6}\right)^5$$

sendo:

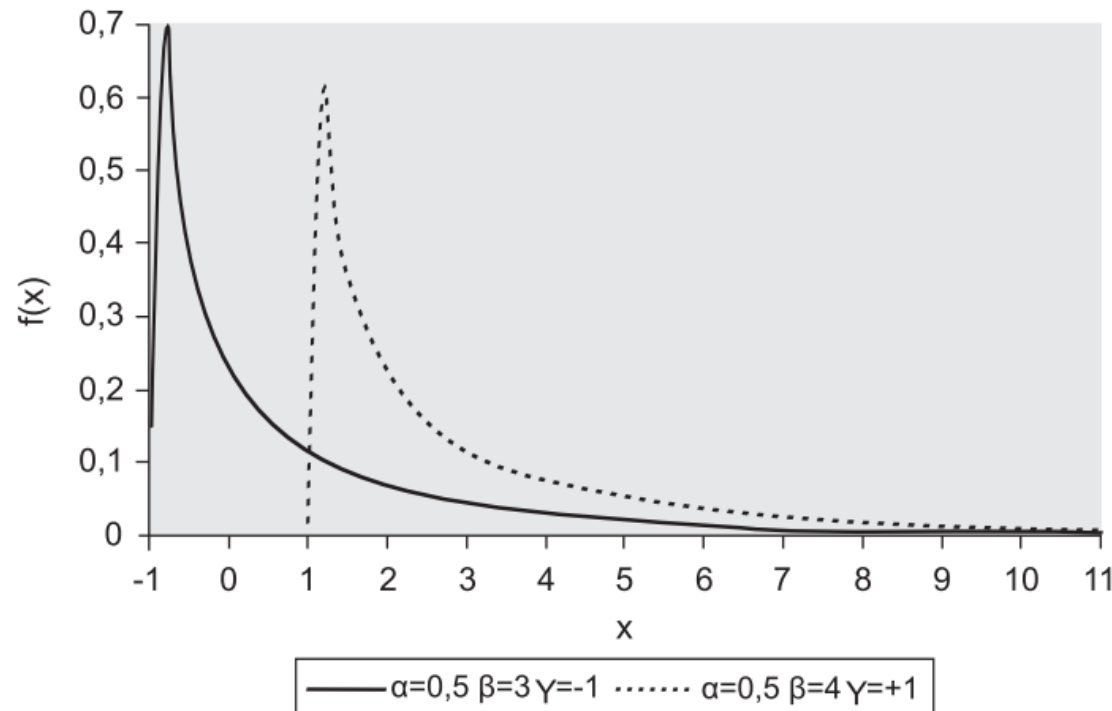
$$D = t - \frac{2,30753 + 0,27061 \cdot t}{1 + 0,99229 \cdot t + 0,04481 \cdot t^2}$$

$$\gamma = \frac{N}{(N-1)(N-2)} \sum_{i=1}^N \left( \frac{(x_i - \mu)^3}{\sigma^3} \right)$$

em que:

- D = desvio padrão padronizado;
- $\gamma$  = assimetria;
- t = período de retorno;
- N = número de eventos da amostra;
- $x_i$  = i-ésimo evento da amostra;
- $\mu$  = média dos eventos; e
- $\sigma$  = desvio padrão.

Função Densidade Pearson Tipo III



## Distribuição Log-Pearson tipo III

$$K = D + (D^2 - 1) \frac{\gamma}{6} + \frac{1}{3} (D - 6D) \left(\frac{\gamma}{6}\right)^2 - (D^2 - 1) \left(\frac{\gamma}{6}\right)^3 + D \left(\frac{\gamma}{6}\right)^4 + \frac{1}{3} \left(\frac{\gamma}{6}\right)^5$$

sendo:

$$D = t - \frac{2,30753 + 0,27061 \cdot t}{1 + 0,99229 \cdot t + 0,04481 \cdot t^2}$$

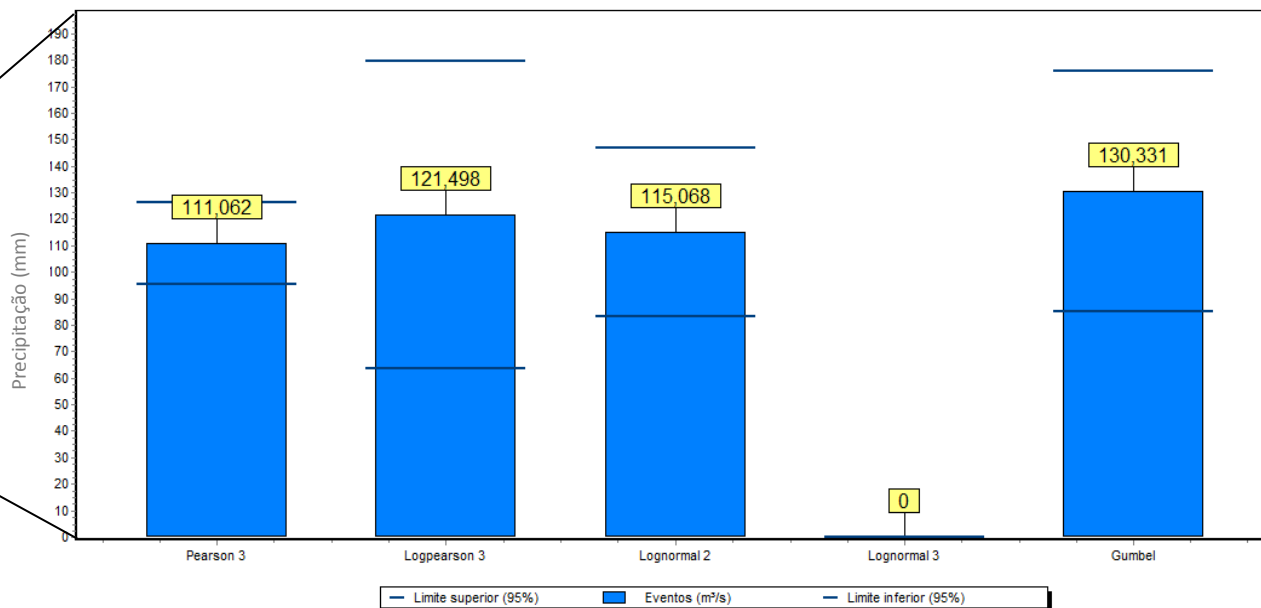
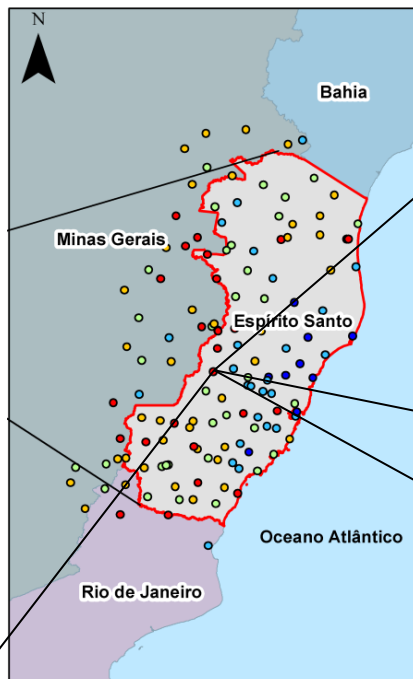
$$\gamma = \frac{N}{(N-1)(N-2)} \sum_{i=1}^N \left( \frac{(x_i - \mu)^3}{\sigma^3} \right)$$

em que:

- D = desvio padrão padronizado;
- $\gamma$  = assimetria;
- t = período de retorno;
- N = número de eventos da amostra;
- $x_i$  = i-ésimo evento da amostra;
- $\mu$  = média dos eventos; e
- $\sigma$  = desvio padrão.

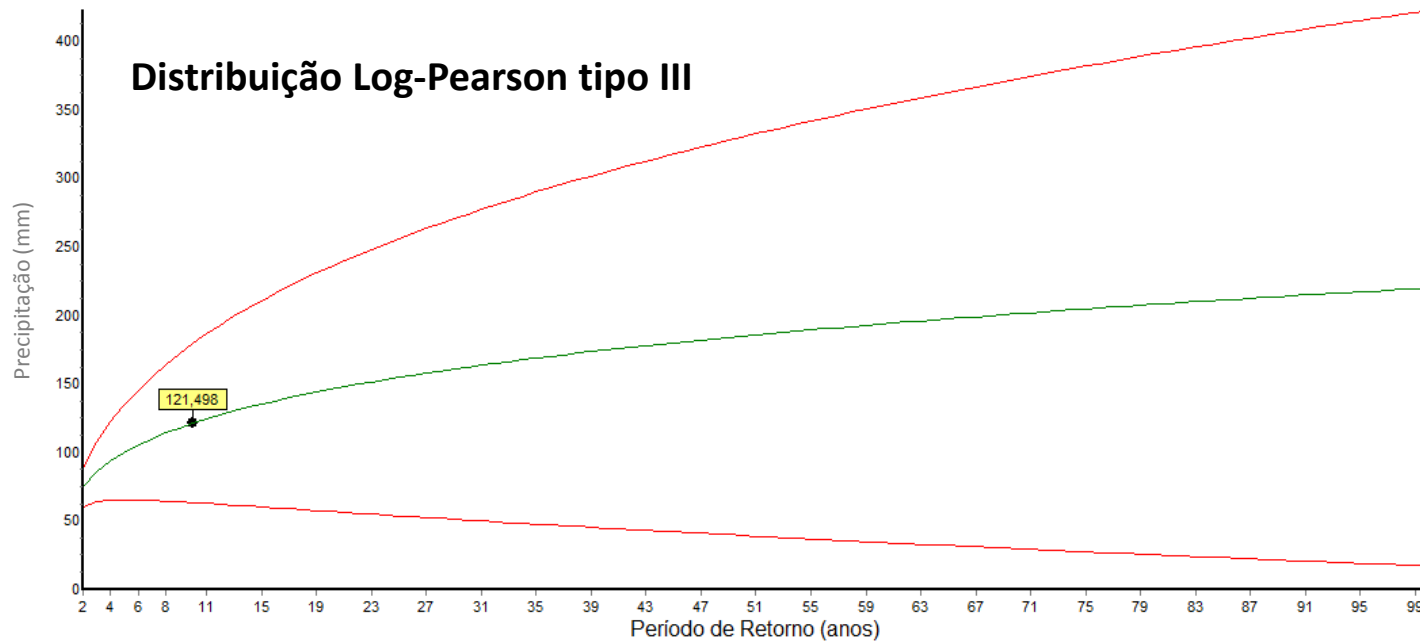
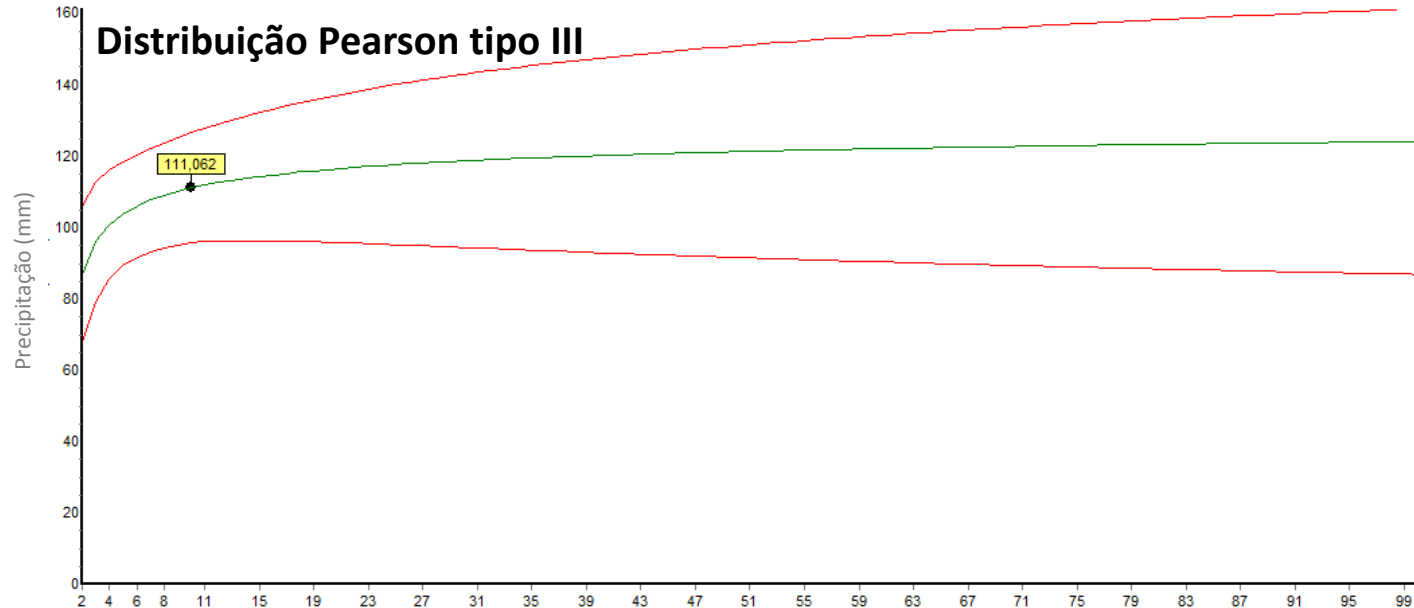


# ANÁLISE ESTATÍSTICA



Distribuição	Interv. conf. sup. (95%)	Evento (m <sup>3</sup> /s)	Interv. conf. inf. (95%)	Erro padrão	Média	Variância	Assimetria	Nº de eventos	Desvio padrão	Período de retorno	Duração	Amplitude do Intervalo de confiança
Gumbel	175.77	130.33	84.89	23.18	83.33	579.32	-0.28	8	24.07	10	7	90.87
Pearson 3	126.50	111.06	95.62	7.88	83.33	579.32	-0.87	8	24.07	10	7	30.88
Logpearson 3	179.61	121.50	63.39	29.65	4.38	0.10	1.27	8	0.32	10	7	116.21
Lognormal 2	147.03	115.07	83.11	16.31	83.33	579.32	-0.28	8	24.07	10	7	63.92
Lognormal 3	0.00	0.00	0.00	0.00	83.33	579.32	-0.28	8	24.07	10	7	0.00

# ANÁLISE ESTATÍSTICA

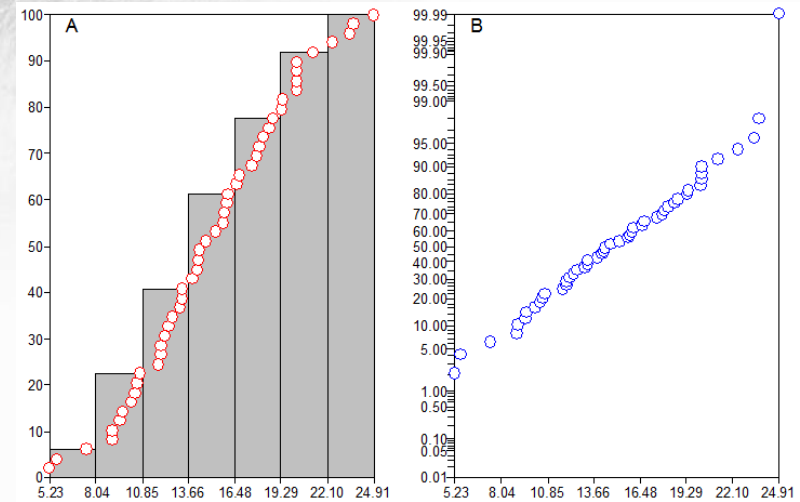
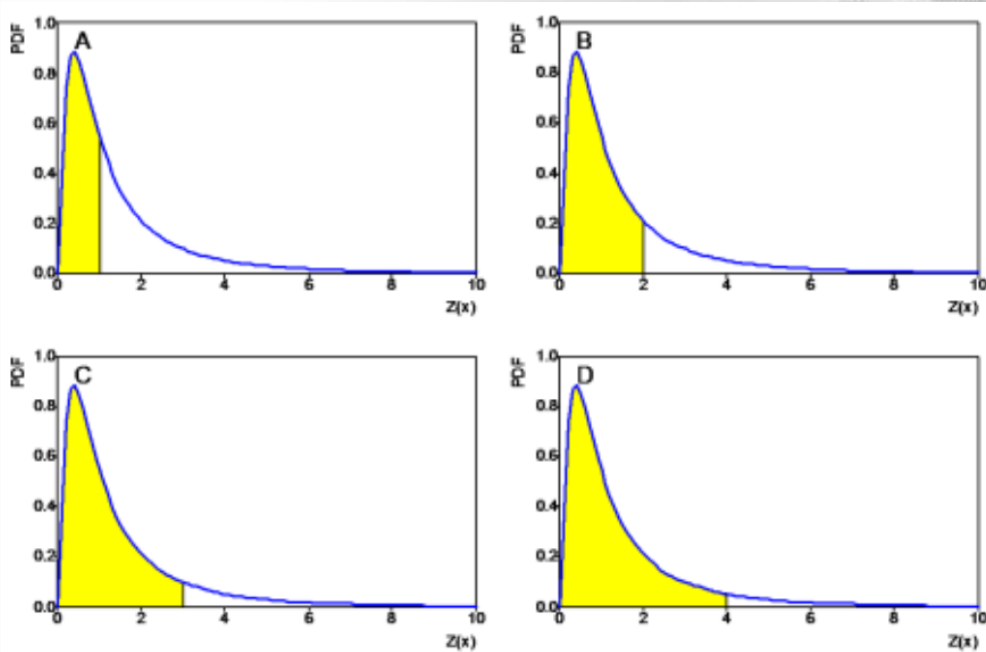


— Limite Superior de Confiança (95%)    ● Evento ( Período de retorno = 10anos )    — Eventos Estimados    — Limite Inferior de Confiança (95%)

# KRIGEAGEM INDICADORA

Dada uma variável aleatória, pode-se definir um teor de corte  $z_c$ , de tal modo que esteja no intervalo de amostragem da variável.

A Figura abaixo ilustra esquematicamente uma distribuição lognormal sendo discretizada em quatro teores de corte ( $z_c=1,2,3,4$ ).

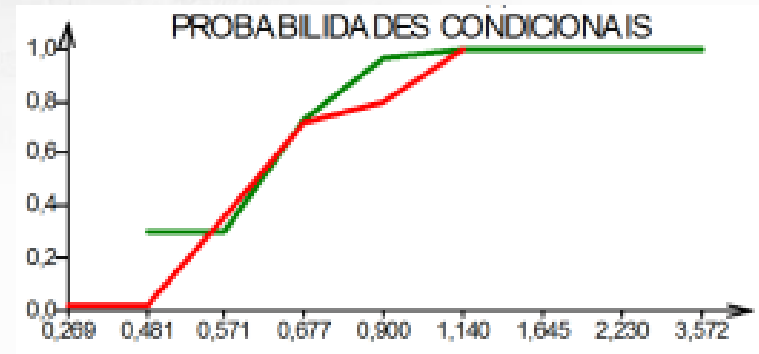
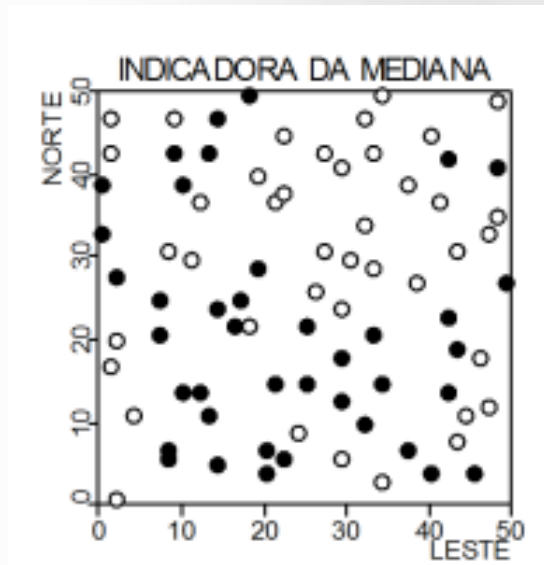


# KRIGEAGEM INDICADORA

Trabalha com a variável indicadora:

$$I(x, zc) = \begin{cases} 0, & \text{se } Z(x) > zc \\ 1, & \text{se } Z(x) \leq zc \end{cases}$$

Discretiza uma V.A. contínua;  
Teor de corte/*cutoff* dentro do escopo da amostra;  
Divisão da distribuição em percentis



- $P(Z(x_0) \leq zc_1), P(Z(x_0) \leq zc_2), \dots, P(Z(x_0) \leq zc_k)$  associadas a  $zc_1, zc_2, \dots, zc_k$  constituem a fdp de  $Z(x)$
- $P(Z(x_0) \leq zc_1) < P(Z(x_0) \leq zc_2) < \dots < P(Z(x_0) \leq zc_k)$ , para  $zc_1 < zc_2 < \dots < zc_k$ ,

Deutsch e Journel (1992) sugerem utilizar o variograma da indicadora da mediana para estimativa de todas as demais probabilidades que irão compor a fdpa condicional.

# KRIGEAGEM INDICADORA

## Média condicional

$$\hat{Z}_E(x) = \sum_{k=1}^{K+1} z_{k,k-1} [\hat{F}(x; z_k | (n)) - \hat{F}(x; z_{k-1} | (n))]$$

em que:

$$z_{k,k-1} = \frac{z_k + z_{k-1}}{2}$$

## Variância condicional

$$\sigma_E^2(x) = \sum_{k=1}^{K+1} [z_k - \bar{z}_{z_k}(x)]^2 [\hat{F}(x; z_k | (n)) - \hat{F}(x; z_{k-1} | (n))]$$

## Medida de Incerteza


- Incertezas derivada das propriedades da distribuição normal.
- Percentis 84% e 16% mostrada.

$$\mu - 1\sigma_\phi = \phi_{16} \quad \mu + 1\sigma_\phi = \phi_{84}$$

# KRIGEAGEM

Tanto para krigagem ordinária quanto para a indicadora foram testadas os seguintes modelos experimentais de semivariograma:

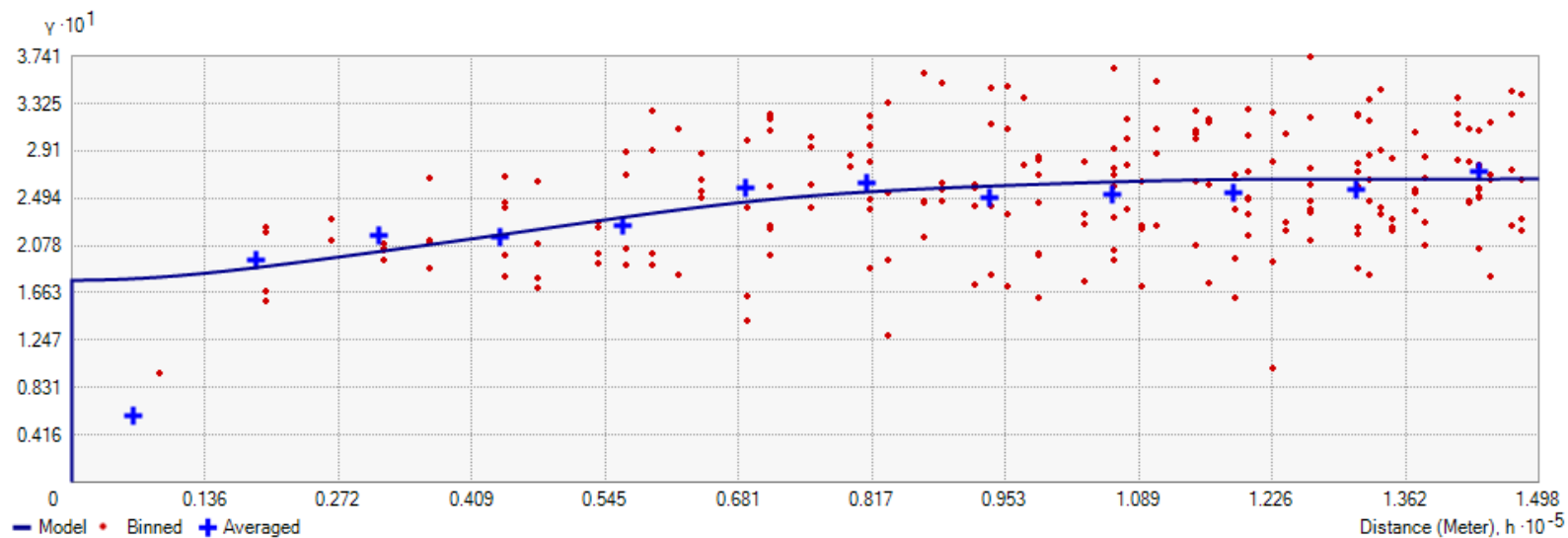
- Circular,
- Esférico,
- Tetraesférico,
- Pentaesférico,
- Exponencial,
- Gaussiano,
- Quadrático racional,
- Efeito furo (*hole effect*),
- K-bessel,
- J-bessel; e
- Estável.



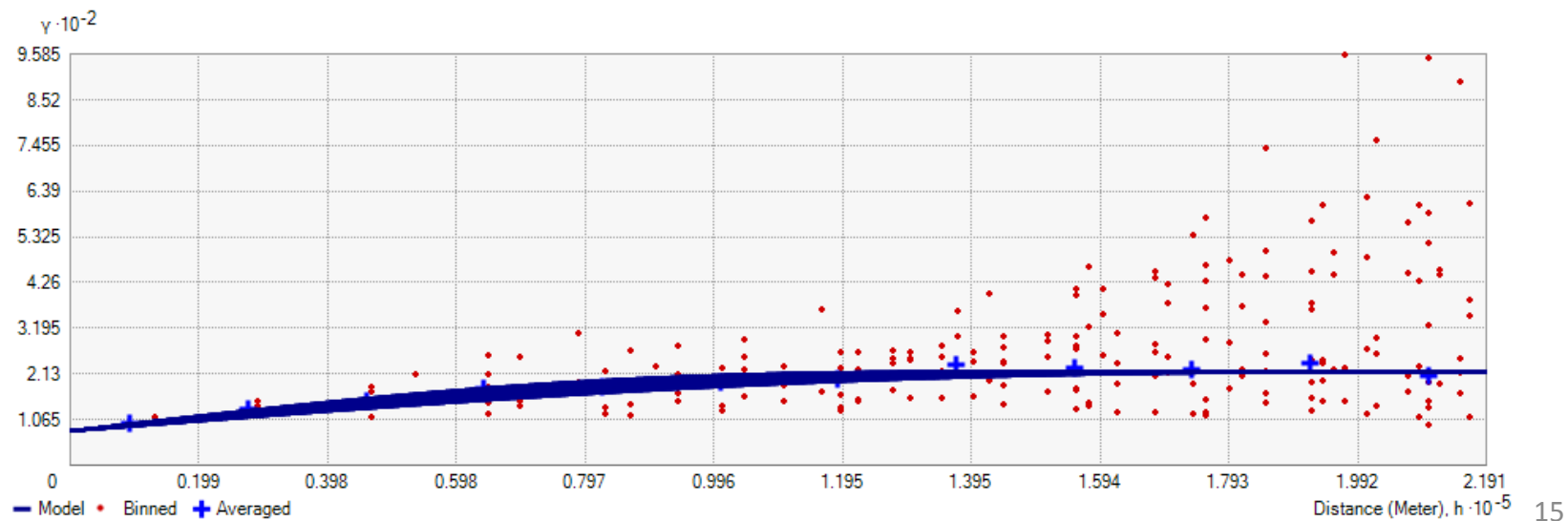
Erro Médio Padrão;  
Raiz do Quadrado Médio do Erro; e  
Raiz do Quadrado Médio do Erro Padronizado.

- Otimizações dos parâmetros do semivariograma (efeito pepita, alcance e patamar) conjuntamente com base na validação cruzada.
- Efeito de anisotropia,
- Vizinhança (padrão ou suavizado);
- Setores de vizinhança
- 1, 4, 4 setores com *offset* de 45° e 8 setores).

# KI



# KO



# RESULTADOS



1º percentil



2º percentil



3º percentil



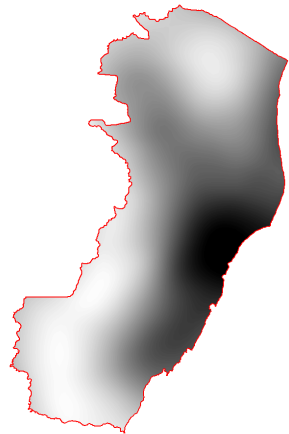
4º percentil



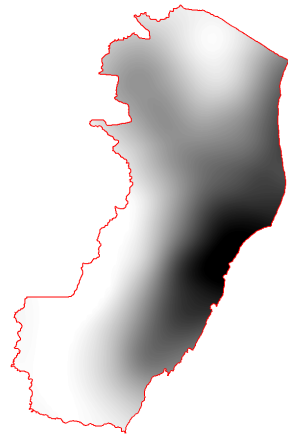
5º percentil



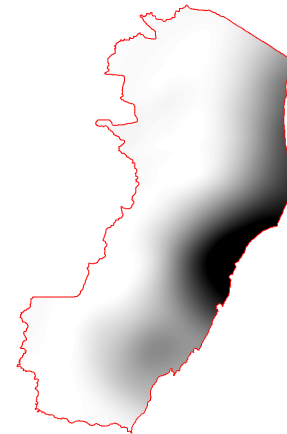
6º percentil



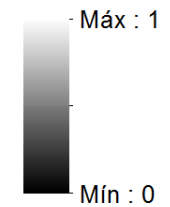
7º percentil



8º percentil



9º percentil





# RESULTADOS

Estatísticas descritivas do erro padrão das fdp de eventos extremos máximos

	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Coef. Variação (%)</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>
<b>Gumbel</b>	27,64	10,76	38,94	64,05	9,87
<b>Pearson3</b>	26,91	27,30	101,45	176,09	3,99
<b>LogPearson3</b>	29,88	17,89	59,88	92,78	7,96
<b>LogNormal2</b>	22,28	11,86	53,23	70,14	5,88
<b>LogNormal3</b>	19,73	8,77	44,45	51,45	7,39

# RESULTADOS

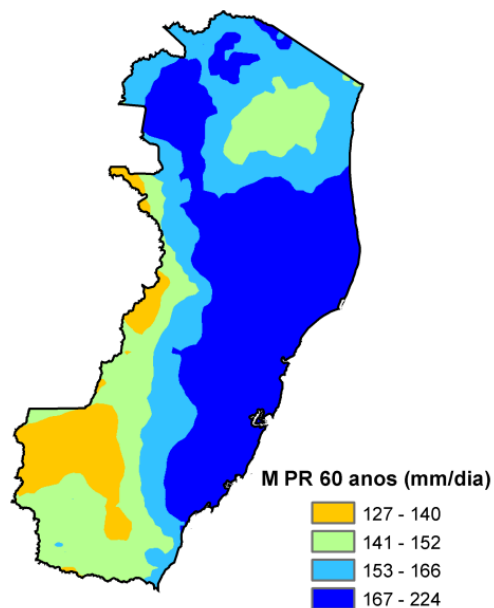
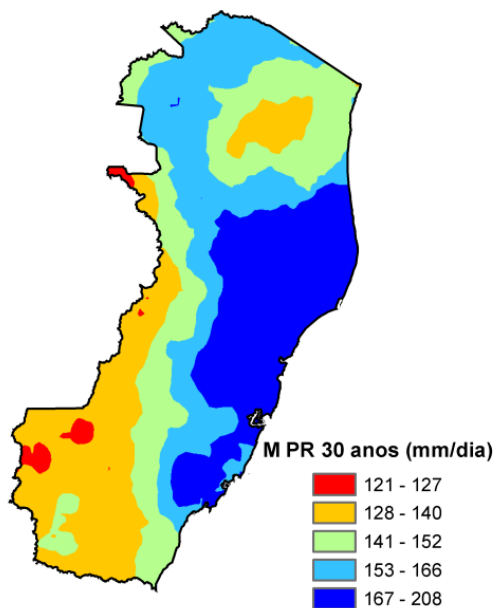
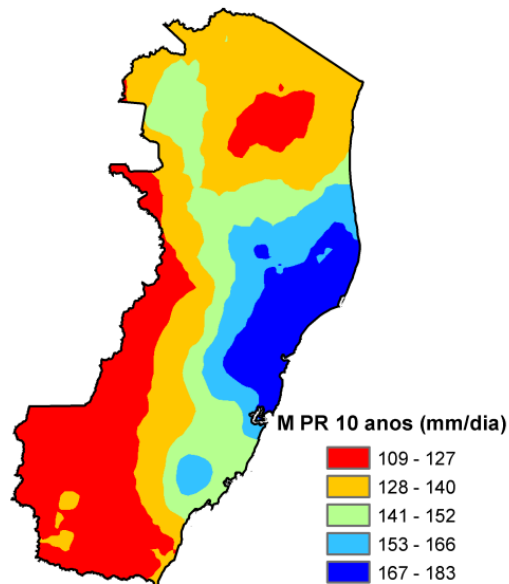
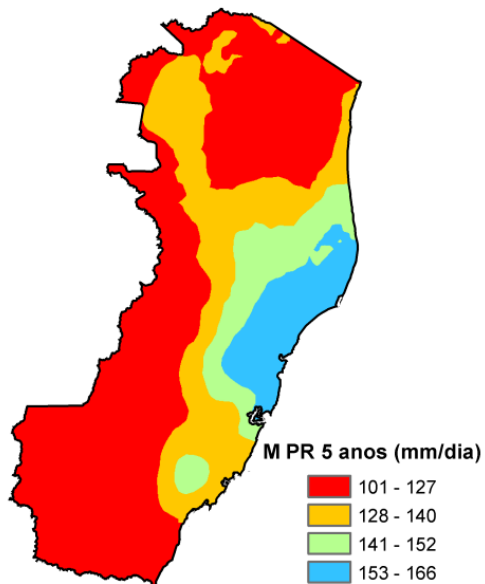
Priorizou-se a representatividade espacial do fenômeno

- ✓ Maior estabilidade espacial
- ✓ Melhor ajuste para os pontos amostrados
- ✓ Menor erro

Estatísticas descritivas do erro padrão das fdp de eventos extremos máximos

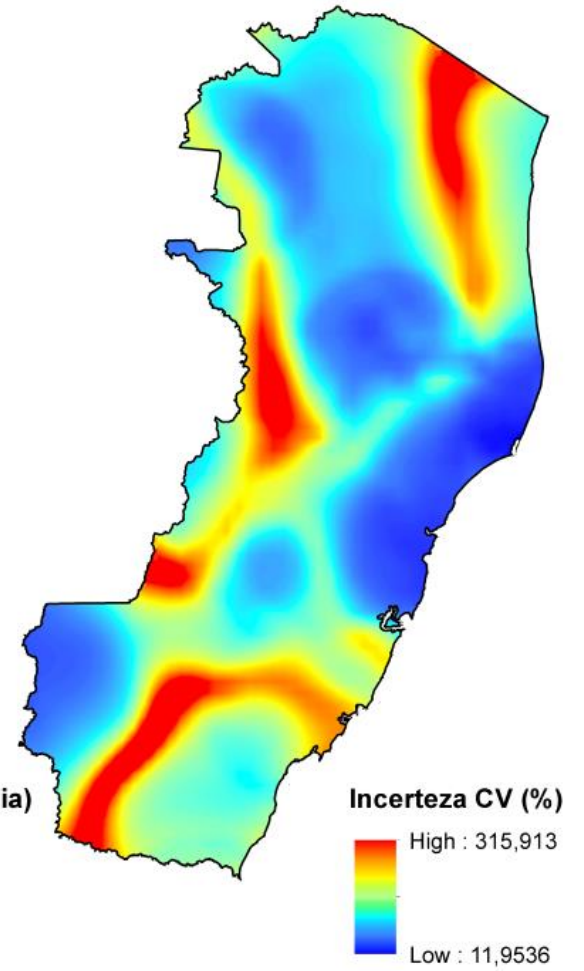
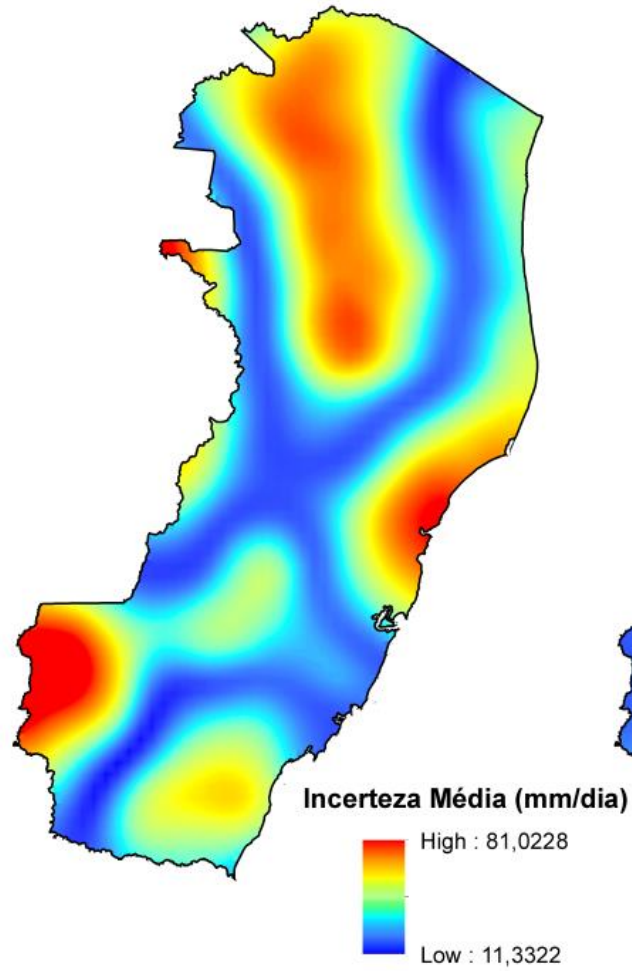
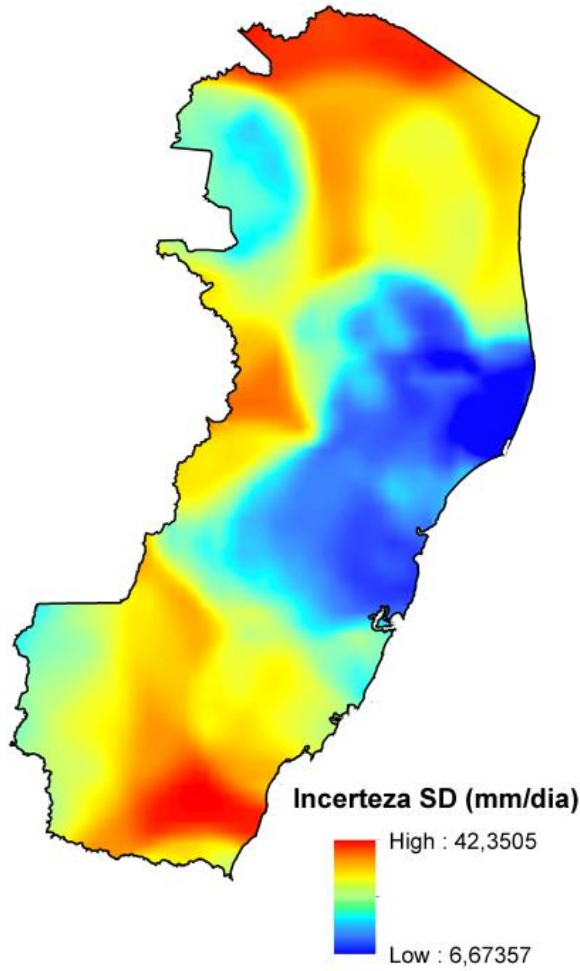
	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Coef. Variação (%)</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>
<b>Gumbel</b>	27,64	10,76	38,94	64,05	9,87
<b>Pearson3</b>	26,91	27,30	101,45	176,09	3,99
<b>LogPearson3</b>	29,88	17,89	59,88	92,78	7,96
<b>LogNormal2</b>	22,28	11,86	53,23	70,14	5,88
<b>LogNormal3</b>	19,73	8,77	44,45	51,45	7,39

# RESULTADOS



Precipitação máxima nos  
t de 5, 10, 30 e 60 anos

# RESULTADOS



# CONCLUSÕES

---

- A **especialização dos parâmetros** de uma **fdp mostrou-se mais adequada** para obtenção da estimativa da magnitude da precipitação máxima, **quando comparada à especialização do fenômeno para cada período de retorno** individualmente, já que adotando-se álgebra de mapas a única variável de variação temporal da fdp passou a ser o próprio período de retorno, mantendo-se fixo no espaço e tempo os demais parâmetros.
- A **metodologia apresentada nesse trabalho pode ser considerada mais apropriada** quando se deseja realizar a análise da magnitude do fenômeno no tempo com **suporte da análise da incerteza**, quando comparada com o método convencional, ao qual se obteria um mapa de incerteza para cada período de retorno adotado, tornando complexa a tomada de decisões.
- O CV mostrou-se como uma medida de incerteza eficaz para a redução do número de mapas de incerteza dos parâmetros da fdp de eventos extremos.

A topographic map of a mountain range, likely the Andes, showing elevation contours and terrain features. The map is rendered in shades of green, brown, and tan, with a dark blue area representing a body of water on the left side. The terrain is rugged and mountainous, with a prominent range running diagonally across the upper right portion of the image.

*Obrigado*

Kenny D. Oliveira  
kenny.oliveira@inpe.br









