

**Variação espacial da precipitação máxima diária na bacia hidrográfica do Rio Piquiri****Spatial analysis of maximum precipitations in the hydrographic basin of the Piquiri River**

DOI:10.34117/bjdv6n2-159

Recebimento dos originais: 30/12/2019

Aceitação para publicação: 14/02/2020

**Renato dos Santos Sanches**

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Instituição: Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Endereço: Rua: Universitária, 1619 - Bairro Universitário, Cascavel - PR

E-mail: renatosanches@outlook.com.br

**Fernanda Cristina Araujo**

Doutora em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Instituição: Universidade Federal do Paraná

Endereço: Rua Pioneiro, 2153 - Bairro Dallas, Palotina - PR

E-mail: fer.crisaraujo@yahoo.com.br

**Luciana Espíndula de Quadros**

Doutora em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Instituição: Instituto Federal do Paraná

Endereço: Av. Araucária, 780 - Vila A, Foz do Iguaçu - PR

E-mail: luciana.quadros@ifpr.edu.br

**Gisele Maria Gollin**

Mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Instituição: Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Endereço: Rua: Universitária, 1619 - Bairro Universitário, Cascavel - PR

E-mail: giselemgollin@hotmail.com

**Eloy Lemos de Mello**

Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa

Instituição: Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Endereço: Rua Universitária, 1619 - Bairro Universitário, Cascavel - PR

E-mail: eloy.mello@unioeste.br

**Benedito Martins Gomes**

Doutor em Agronomia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Instituição: Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Endereço: Rua: Universitária, 1619 - Bairro Universitário, Cascavel - PR

E-mail: benedito.gomes@unioeste.br

**RESUMO**

Entende-se que o conhecimento da distribuição de eventos máximos sobre a bacia hidrográfica do rio Piquiri e as influências exercidas pelas possíveis mudanças climáticas são de importância fundamental para o planejamento de uso e ocupação da região. Este trabalho objetivou, a partir das previsões de precipitação pluviométrica do modelo regional ETA e de dados históricos, analisar a distribuição espacial de eventos máximos de precipitação sobre a área da bacia hidrográfica do rio Piquiri. Para tanto, foram elaborados mapas temáticos, utilizando o método de krigagem ordinária, da distribuição das alturas máximas precipitadas anuais, com duração de 24 horas, considerando períodos de retorno de 2, 5 e 25 anos, para os membros 2 e 4 do modelo ETA no período de 2010 a 2100 e para dados registrados por estações pluviométricas, no período de 1980 a 2010. Desta maneira, pôde-se observar que a tendência de distribuição espacial de eventos máximos de precipitação para o futuro é de manter um comportamento semelhante ao atual, predominando precipitações máximas mais intensas na parte sul da bacia e precipitações máximas relativamente menos intensas na parte norte.

**Palavras-Chave** – modelo ETA, eventos máximos, krigagem.

**ABSTRACT**

It is understood that the knowledge of the distribution of maximum events on a watershed of the Piquiri river and the influences exerted by climatic changes are of fundamental importance for the planning of use and occupation of the region. This paper aims to analyze the spatial distribution of maximum precipitation events over an area of the Piquiri river basin, based on the rainfall forecasts of the regional ETA model and historical data. For this purpose, thematic maps were prepared using the ordinary management method, the distribution of the pre-established maximum heights, with duration of 24 hours, reflection periods of 2, 5 and 25 years, for members 2 and 4 of the model ETA In the period from 2010 to 2100 and for data recorded by rainfall stations from 1980 to 2010. In this way, it was observed that a tendency of spatial distribution of maximum precipitation events for the future to maintain a current behavior, Predominating maximum and more intense precipitations in the part of the precipitation and less intense maximum precipitations in the north part.

**Keywords** – ETA Model, maximum events, kriging

**1 INTRODUÇÃO**

Mudança nos padrões de precipitação, considerando eventos extremos, tem forte impacto, tanto no meio ambiente como na sociedade que o ocupa. A sociedade mundial apresenta sensibilidade às variações de clima e se espera que futuramente, com a mudança do cenário climático, eventos extremos possam apresentar variações de intensidade e frequência, afetando a população e os ecossistemas (Marengo et al., 2007).

Piazza et al. (2016) descrevem que os eventos extremos de precipitação geram as enchentes, inundações e deslizamentos, causando impactos negativos em cidades e zonas agrícolas, além de perdas de vidas. Para Ganguly e Steinhäuser (2008) existe a necessidade por estudos que apresentem percepção antecipada a respeito de eventos meteorológicos extremos.

No Brasil, desde 1996, o modelo Eta vem sendo usado, pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), vinculado ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), para fornecer previsões de tempo sobre a América do Sul a partir de cenários climáticos (CHOU et al., 2011).

O cenário futuro de emissão A1 refere-se ao futuro com crescimento econômico rápido, pico de população em meados do século seguido por declínio, com rápido desenvolvimento de tecnologias mais eficientes. Caracterizam-se convergência econômica e cultural, com redução de diferenças regionais de renda. O cenário A1 ainda se desdobra em três outros em função da evolução do sistema energético, sendo o cenário A1B correspondente à equilíbrio de uso de fontes energéticas (Swart e Nakicenovic, 2000).

A precipitação pluviométrica é um fenômeno descontínuo, ou seja, variável tanto no tempo quanto no espaço, assim torna-se necessária a compreensão de sua distribuição espacial, portanto é imprescindível analisar os dados históricos, como também possíveis alterações futuras.

Assim, o objetivo desse trabalho foi analisar a distribuição espacial de eventos máximos de precipitação sobre a área da bacia hidrográfica do rio Piquiri, baseado em registros históricos, de 1980 a 2010 e para cenário futuro, de 2010 a 2100, estimado através do modelo regional Eta.

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 LOCAL DE ESTUDO**

A bacia hidrográfica do rio Piquiri localiza-se na região oeste do estado do Paraná, com área total de 24171,7km<sup>2</sup>, correspondendo a 12% da área do estado. O rio Piquiri, principal da bacia, possui extensão de 485 km, com nascente na região centro-sul do estado e foz no rio Paraná (SEMA, 2015) (Figura 1).

**2.2 DADOS HISTÓRICOS DE PRECIPITAÇÃO**

Foram selecionadas 48 estações com 31 anos de dados, compreendidos entre 1980 e 2010. A figura 1 apresenta a disposição das estações sobre a região da bacia. As séries históricas de precipitação máximas diárias anuais utilizadas são as disponíveis no Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb), da Agência Nacional de Águas (ANA).

As falhas (dados faltantes) existentes foram ignoradas, visto o erro embutido na correção de dados diários e que não houve concentração representativa de falhas para um mesmo período.

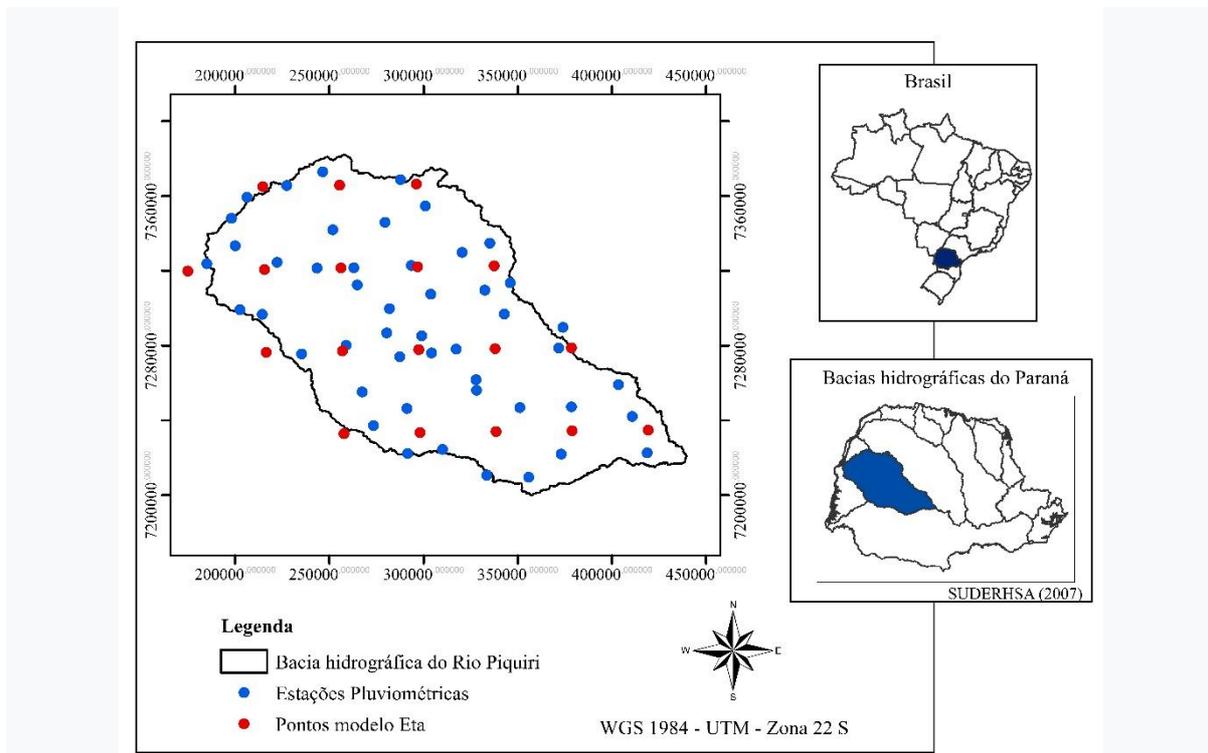


Figura 1 – Localização da bacia hidrográfica do rio Piquiri, com as estações pluviométricas e pontos do grid do modelo Eta.

**3 DADOS FUTUROS DE PRECIPITAÇÃO**

Os dados futuros de precipitação, de 2010 a 2100, foram estimados pelo modelo regional Eta, considerando o cenário A1B (Swart and Nakicenovic, 2000), aninhado nas condições de contorno do modelo de circulação global HadCM3, e foram fornecidos pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) vinculado ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), em 4 membros de dados (cada membro abrangendo o período de 2010 a 2100, em escala diária), dos quais foram utilizados para este trabalho apenas o membro

2 e 4, correspondentes respectivamente a baixa e alta sensibilidade climática do modelo. Para a leitura destes dados foi utilizado o software Panoply 3.2.1.

Os dados são distribuídos espacialmente em uma grade de 40 km de distância entre pontos, abrangendo quase que totalmente a região da América do Sul. Foram extraídos os dados apenas dos pontos situados sobre a bacia ou bem próximos aos seus limites, totalizando 18 pontos (Figura 1).

A partir dos dados do modelo Eta foi extraída, para cada ano, de cada membro, a precipitação máxima diária estimada, formando uma nova série para cada ponto de cada membro, em escala anual.

### 3.1 ALTURAS MÁXIMAS PRECIPITADAS COM DURAÇÃO DE 24 HORAS

Para a obtenção das precipitações máximas com duração de 24 horas e período de retorno de 2, 5 e 25 anos, foi realizada análise de frequência, empregando a distribuição de probabilidades de Gumbel para a estimativa dos valores.

A função de probabilidades acumuladas da distribuição de Gumbel é dada pela Equação 1:

$$F_y(y) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{y-\beta}{\alpha}\right)\right] \quad (1)$$

$$\text{para } -\infty < y < \infty, -\infty < \beta < \infty, \alpha > 0$$

Em que  $\alpha$  representa o parâmetro de escala e  $\beta$  o parâmetro de posição. A função densidade da distribuição de Gumbel é dada pela Equação 2 (NAGHETTINI e PINTO, 2007).

$$f_Y(y) = \frac{1}{\alpha} \exp\left[-\frac{y-\beta}{\alpha} - \exp\left(-\frac{y-\beta}{\alpha}\right)\right] \quad (2)$$

O valor esperado e a variância são dados pelas Equações 3 e 4:

$$E[Y] = \beta + 0,5772\alpha \quad (3)$$

$$\text{Var}[Y] = \sigma_Y^2 = \frac{\pi^2\alpha^2}{6} \quad (4)$$

A função inversa da função de probabilidades acumuladas da distribuição de Gumbel é dada pela Equação 5:

$$y(T) = \beta - \alpha \ln\left[-\ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right] \quad (5)$$

Em que T denota o período de retorno, em anos (NAGHETTINI e PINTO, 2007).

Para obtenção dos valores dos parâmetros, supõe-se “E(Y)” igual a média aritmética da série, sendo ainda “ $\sigma_Y^2$ ” o desvio padrão ao quadrado, correspondente à variância.

## 3.2 ELABORAÇÃO DE MAPAS DE DISTRIBUIÇÃO

Logo, para cada membro do modelo e para as séries históricas, têm-se três conjuntos de pontos, correspondentes às precipitações máximas com período de duração de 24 horas para os períodos de retorno de 2, 5 e 25 anos. Estes nove conjuntos de dados foram analisados separadamente e a cada um corresponde um mapa de distribuição.

Para analisar e modelar o comportamento de dependência espacial utilizou-se a função de semivariância experimental de Matheron (Matheron, 1962), para os conjuntos com distribuição normal de probabilidades, dada pela equação 6.

$$2\gamma(u) = \frac{1}{N(u)} \sum_{N(u)} (y(x_i) - y(x_j))^2 \quad (6)$$

Sendo  $N(u)$  o número de pares cuja distância é “ $u$ ” e  $y(x_i)$  e  $y(x_j)$  observações feitas respectivamente nas posições  $x_i$  e  $x_j$ .

Para os conjuntos que apresentaram distribuição não gaussiana, utilizou-se a função (Equação 7) de semivariância experimental de Cressie e Hawkins (Cressie & Hawkins, 1980).

$$2\gamma(u) = \frac{\left( \frac{1}{N(u)} \sum_{N(u)} |y(x_i) - y(x_j)|^2 \right)^2}{0,457 + \frac{0,494}{|N(u)|}} \quad (7)$$

Para verificar a normalidade da distribuição de probabilidades, utilizou-se o teste de Shapiro-Wilk.

Os valores de semivariância experimental foram então ajustados a uma função de semivariância teórica, utilizando função (Equação 8) de correlação da família esférica (Diggle and Ribeiro Jr, 2007).

$$\gamma(u) = \tau^2 + \sigma^2 (1 - \rho(u, \varphi)) \quad (8)$$

$$\rho(u, \varphi) = \begin{cases} 1 - \frac{3}{2} \left( \frac{u}{\varphi} \right) + \frac{1}{2} \left( \frac{u}{\varphi} \right)^3, & \varphi \geq 0 \\ 0, & u > \varphi \end{cases}$$

Em que  $\varphi$  é o alcance prático,  $u$  é a distância entre duas observações,  $\sigma^2$  e  $\tau^2$  são, respectivamente, a variância e o efeito pepita. O ajuste de parâmetros foi realizado a partir do método de ajuste de mínimos quadrados ponderados.

Tendo identificado os parâmetros que ajustam a semivariância teórica à semivariância experimental, pode-se realizar o processo de krigagem ordinária em que o valor do fenômeno, para um dado ponto  $x_0$  não observado, é estimado pela soma ponderada de observações vizinhas, dado pela Equação 9.

$$y(x_0) = \sum_{i=1}^n \omega_i y(x_i) \quad (9)$$

Os pesos  $\omega_i$  são obtidos a partir dos valores de correlação das distâncias dos pontos conhecidos entre si, incluindo o ponto de interesse de estimação. Por isso é necessário buscar uma função de correlação que melhor ajusta um semivariograma teórico ao semivariograma empírico.

Desta forma, foi traçada uma malha sobre a área do polígono que limita a bacia do rio Piquiri e, para cada ponto da malha, é estimado o valor de precipitação.

Para a análise geoestatística foi utilizado o ambiente computacional R (R Development Core Team, 2014), utilizando o pacote “geoR”, que implementa ao ambiente ferramentas de análise geoestatística.

#### **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Na análise de distribuição por meio do teste Shapiro-Wilk, constatou-se que os conjuntos de dados formados pelas series históricas, não seguem distribuição normal de probabilidade. Após aplicar a transformação de Box e Cox, não obteve valores satisfatórios no teste de normalidade, portanto optou-se em utilizar o estimador de semivariância empírica de Cressie e Hawkins para os três conjuntos.

Enquanto que para os conjuntos de dados, obtidos do modelo (membros 2 e 4), constatou-se distribuição normal de probabilidade. Desta maneira, utilizou-se o estimador de semivariância empírica de Matheron para os três conjuntos.

A partir da modelagem foi realizado o processo de krigagem ordinária para os conjuntos de dados, históricos e futuros estimados pelo modelo Eta, a figura 2 indica a precipitação

máxima diária para período de retorno de dois anos (i), cinco (ii) e vinte e cinco anos (iii), referentes aos dados históricos (a), modelo Eta membro 2 (b) e modelo Eta membro 4 (c).

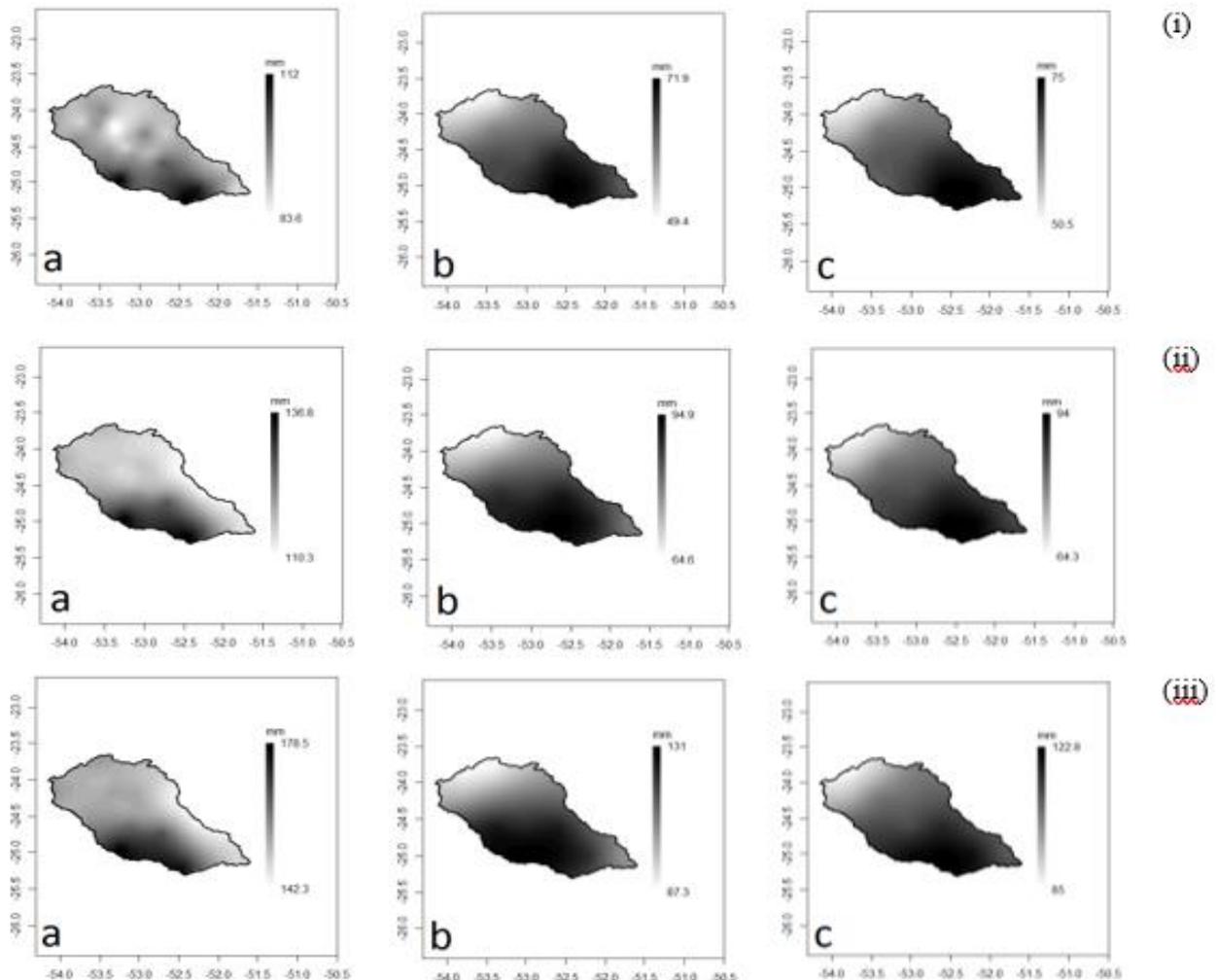


Figura 2 - Precipitação máxima com período de retorno de 2 anos (i), 5 anos (ii) e 25 anos (iii), para os dados históricos (a) e o previsto pelo modelo ETA, membros 2 (b) e 4 (c).

Comparando os dados observados, do período de 1980 a 2010, com os dados previstos pelo modelo Eta, do período de 2010 a 2100, observou-se que a tendência de distribuição espacial de eventos máximos de precipitação é de manter um comportamento semelhante ao atual, predominando precipitações máximas mais intensas na parte sul da bacia e precipitações máximas relativamente menos intensas na parte norte. Pode-se constatar que os dois membros do modelo Eta apresentaram resultados semelhantes, o que indica que a sensibilidade climática

adotada pelo modelo influencia muito pouco na distribuição espacial dos eventos máximos de precipitação para a região estudada.

Analisando a região de maior intensidade de eventos máximos de precipitação, conforme aumenta o período de retorno, a mancha mais escura dos mapas desloca-se para oeste. Visto o aumento da intensidade de precipitação conforme o aumento do período de retorno, este fenômeno indica que a região sudoeste da bacia apresenta maior variação dos valores de precipitação máxima em relação às demais regiões da bacia, isto é, a precipitação máxima aumenta com maior intensidade nesta região quanto maior o período de retorno considerado.

Por fim, podem-se constatar diferenças entre as intensidades registradas no período passado e estimadas para o período futuro, com indicação de diminuição dessas intensidades, o que não indica necessariamente que irão diminuir os volumes de precipitação, podendo estes ser mais distribuídos temporalmente.

## 5 CONCLUSÃO

O modelo Eta indica manutenção do comportamento espacial de eventos máximos de precipitação sobre a região da bacia hidrográfica do rio Piquiri, com precipitações mais intensas na região sul da bacia e relativamente menos intensas na região norte, tanto para o membro 2 quanto para o membro 4.

Apesar da manutenção do comportamento de distribuição espacial, o modelo indica uma tendência de variação de intensidade das precipitações máximas previstas para o futuro, com diminuição de 30 a 40%, aproximadamente, dos volumes de precipitação máxima.

## REFERÊNCIAS

- ANA – Agência Nacional de Águas. Sistema de informações hidrológicas HIDROWEB. Disponível em <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 01 ago. 2013.
- Box, G., and Cox, D. (1964). An analysis of transformation. *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, n. 26, p. 211-252.
- Chou, S. C.; Marengo, J. A.; Lyra, A. A.; Sueiro, G.; Pesquero, J. F.; Alves, L. M.; Kay, G.; Betts, R.; Chagas, D. J.; Gomes, J. L.; Bustamante, J. F. and Tavares, P. (2011). Downscaling of South America present climate driven by 4-member HadCM3 runs. *Journal Climate Dynamics*, v.38, p. 635-653. doi:10.1007/s00382-011-1002-8

- Cressie, N. A. C., and Hawkins, D. M. (1980). Robust estimation of the variogram. I. *Journal of the International Association for Mathematical Geology*, v.12, p.115-125.
- Diggle, P. J. and Ribeiro Jr, P. J. (2007) *Model-based Geostatistics*. USA: Springer Series in Statistics.
- Dourado, C. S., Oliveira, S. R. M. and Avila, A. M. H. (2013). Análise de zonas homogêneas em séries temporais de precipitação no estado da Bahia. *Bragantia, Campinas*, v. 72, n. 2, p.192-198.
- Ganguly, A. R. and Steinhäuser, K. (2008). Data Mining for Climate Change and Impacts. *ICDMW '08 Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Data Mining Workshops*. p.385-394. Isbn: 978-0-7695-3503-6. doi: 10.1109/ICDMW.2008.30.
- Marengo, J. A., Alves, L. M., Valverde, M. C., Rocha, R. P., and Laborde, R. (2007). Eventos extremos em cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o século XXI: Projeções de clima futuro usando três modelos regionais. *Relatório 5. MMA/SBF/DCBio, Brasília*.
- Matheron, G. (1962). *Traité de géostatistique appliquée*. Bureau de Recherches Geologiques et Minières, v. 14, p. 1246–1266.
- R Core Team (2013). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <<http://www.R-project.org/>>.
- Romani, L. A. S., Ávila, A. M. H., Zullo Jr, J., Traina Jr, C. and Traina, A. J. M. (2010). Mining Relevant and Extreme Patterns on Climate Time Series with CLIPSMiner. *Journal of Information and Data Management*, v. 1, n. 2, p.245-260.
- SEMA - Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. (2015). *Bacias Hidrográficas do Paraná – Série Histórica, 2ªed*. Governo do Estado do Paraná. p.118.
- Swart, R. and Nakicenovic, N. (2000). Emissions Scenarios. *IPCC Special Reports*. p.247-249. Disponível em: <[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_and\\_data\\_reports.shtml](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml)>.