

## REGIONALIZAÇÃO E FREQUÊNCIA DE PRECIPITAÇÕES NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE

Márcio Francisco D. e Campos<sup>(1)</sup>; Fernando Antônio C. Gomide<sup>(2)</sup>; Gabriel Luiz L. de Sousa<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, [marciocampos@pucminas.br](mailto:marciocampos@pucminas.br)

<sup>(2)</sup> Universidade Estadual de Campinas, [gomide@dca.fee.unicamp.br](mailto:gomide@dca.fee.unicamp.br)

<sup>(3)</sup> Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, [gllisboad@gmail.com](mailto:gllisboad@gmail.com)

### RESUMO

O objetivo deste trabalho foi caracterizar o regime de chuvas da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), com foco em seus eventos extremos (inundações e secas severas) utilizando a regionalização baseada nos momentos-L e o Índice Padronizado de Precipitação (IPP). Foram avaliados os dados históricos de 23 postos pluviométricos, que cobrem quase toda a RMBH. Os postos foram agregados em regiões homogêneas e os resultados apontaram para a ausência de chuvas extremas e para a tendência de secas nos últimos anos.

**Palavras-chave:** Análise de Frequências; Regiões Homogêneas; Índice de Precipitação.

### INTRODUÇÃO

A análise regional de frequências é utilizada para determinar, de forma mais robusta e precisa, a ocorrência de eventos hidrológicos, a partir dos dados históricos observados em diversos postos de medição dentro de uma região definida (Hosking e Wallis, 2005). A regionalização consiste na definição desta região, denominada região homogênea, em que a variável de interesse possui características estatísticas comuns permitindo, assim, lidar com situações comuns em hidrologia, como a ausência, inconsistência ou insuficiência de dados em determinados postos de medição (Dodangeh et al., 2014)

As tendências na precipitação podem ser descritas como alterações na intensidade ou na frequência de eventos de seca e inundação que podem ou não modificar a precipitação total anual ou a média diária e, para identificar tais alterações, são utilizados índices que se baseiam nos seguintes dados: precipitação total, precipitação média diária, porcentagem de dias chuvosos, frequência e intensidade de eventos extremos, entre outros (Zilli et al., 2016).

Para caracterizar e monitorar eventos de secas e chuvas pode-se utilizar vários índices meteorológicos, como o Índice Padronizado de Precipitação (IPP), Índice de Severidade de Secas de Palmer (ISSP), Índice de Seca Agregado (ISA), entre outros citados na literatura.

Entretanto, o IPP foi escolhido pela Organização Mundial de Meteorologia como índice padrão para caracterizar secas meteorológicas (Souza et al., 2016).

O IPP pode ser calculado em diversas escalas temporais, que irão refletir as tendências a curto, médio e longo prazo, utilizando o método de média móvel. O IPP de um mês (IPP-1) indica o total de chuva do mês em estudo, o IPP-3 reflete as condições de umidade do solo em curto e médio prazo, além de estimar a precipitação sazonal, o IPP-6 está associado com as anomalias de reserva de água e as vazões dos rios, o IPP-12 e IPP-24 estão associados com a falta de água, com as vazões e os níveis de água nos lençóis subterrâneos (Souza et al., 2016).

Diversos estudos têm utilizado a técnica de regionalização e o IPP, isoladamente, para caracterizar eventos hidrológicos de precipitação, tais como: Pinheiro e Naghettini (1998); Zilli et al. (2016); Fernandes et al. (2011); Uliana et al. (2015); Souza et al. (2016); Shahzadi et al. (2013); Weschenfelder et al. (2011).

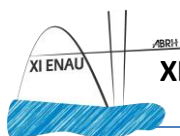
O objetivo deste trabalho foi caracterizar o regime de chuvas da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), com foco em seus eventos extremos (chuvas e secas severas) utilizando a regionalização baseada nos momentos-L e o Índice Padronizado de Precipitação.

## **METODOLOGIA**

Este trabalho utilizou, em parte, a técnica de análise regional de frequências, proposta por Hosking e Wallis (2005), que emprega os Momentos-L para obter estimativas não enviesadas dos eventos extremos de seca e chuva na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH). A análise é realizada em quatro etapas, como segue:

- a) análise exploratória dos dados, para eliminar erros grosseiros e inconsistências, bem como verificar se os dados são homogêneos (estacionários) ao longo do tempo;
- b) identificação de regiões homogêneas, que consiste na identificação de conjuntos de estações cujas distribuições de frequência são consideradas aproximadamente iguais;
- c) escolha de uma distribuição de frequências, a partir do ajuste, para região homogênea, de uma distribuição generalizada (e única) que melhor represente os seus dados.
- d) estimativa dos eventos de seca e chuvas extremas, a partir do cálculo, para região, do Índice Padronizado de Precipitação (IPP), para escalas de 3, 6 e 9 meses.

A análise exploratória dos dados foi realizada utilizando o índice de discordância proposto por Hosking e Wallis, a regionalização pelo método de Ward utilizando razões-L, as distribuições de frequência utilizando, também, razões-L, e, para detectar as tendências de precipitações extremas (secas e chuvas) foi utilizado o teste de Mann-Kendall.



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) contém 34 municípios e uma área de 9.460 km<sup>2</sup>. Foram selecionados, para este estudo, 23 postos pluviométricos ativos, de 17 municípios diferentes, que cobrem praticamente toda a RMBH, como mostra a Tabela 1. As séries históricas originais, obtidas pelo HidroWeb da Agência Nacional de Águas, variam de 01/01/1940 até 01/09/2016, com registros de precipitações mensais que variam de 456 (posto BT1-1944055) até 918 (posto NL2-2043004), totalizando 17.250 observações.

### Análise Exploratória dos Dados

As séries históricas foram recortadas para o período de 01/01/1976 até 01/12/2015, que corresponde a 40 anos de observações. Com este recorte, o percentual de falhas que era de 1,74%, com máximo de 9,28% (dados originais), caiu para 1.50%, com máximo de 7,29%.

Para os fins deste trabalho, não foi utilizada qualquer técnica de preenchimento de falhas pois, embora sejam necessários pelo menos 20 a 30 anos de observações mensais completas, conjuntos de dados com 90%, ou mesmo 85%, de registros completos já são suficientes para uma boa estimativa de chuvas ou secas extremas (Svoboda et al.,2012).

De acordo com Hosking e Wallis (2005), “os sites com erros grosseiros em seus dados se destacarão dos outros sites e serão sinalizados como discordantes”. Sendo assim, a partir dos momentos-L e razões-L, a medida de discordância proposta por estes autores foi calculada e utilizada como medida de consistência dos dados. Os resultados são mostrados nas últimas colunas da Tabela 1, onde se vê que todos os postos apresentaram medida de discordância bem inferior ao nível crítico ( $D_{crítico} = 3$ ).

**Tabela 1 – Dados dos postos pluviométricos e momentos-L**

Site	Código da Estação	Nome da Estação	Operadora	Município	DADOS ORIGINAIS - 1940 A 2016					DADOS ANALISADOS - 1976 A 2105 (40 ANOS)					
					Início	Fim	N.Obs	Latitude	Longitude	N.OBS.	L_1	T	T_3	T_4	D
1	BA1-1943042	FAZENDA CARAÍBAS	CPRM	BALDIM	01/10/1974	01/08/2016	503	-19,12	-43,84	473	98,78	0,6014	0,3527	0,0989	1,704
2	BH1-1943022	BELO HORIZONTE (HORTO)	INIMET	BELO HORIZONTE	01/12/1940	01/04/2016	846	-19,90	-43,92	454	144,32	0,5862	0,3694	0,1425	1,305
3	BH2-1943055	CAIXA DE AREIA	CPRM	BELO HORIZONTE	01/08/1961	01/07/2016	660	-19,95	-43,91	480	132,56	0,5796	0,3481	0,1124	0,326
4	BT1-1944055	BETIM - COPASA	CPRM	BETIM	01/02/1976	01/09/2016	456	-19,97	-44,19	445	117,96	0,5785	0,3454	0,1092	0,339
5	BU1-2044008	MELO FRANCO	CPRM	BRUMADINHO	01/07/1941	01/07/2016	900	-20,20	-44,12	476	110,45	0,5586	0,3130	0,0935	0,456
6	CA1-1943010	CAETÉ	CPRM	CAETÉ	01/06/1941	01/09/2016	905	-19,90	-43,67	480	121,16	0,5783	0,3533	0,1293	0,725
7	FL1-1944007	FAZENDA ESCOLA FLORESTAL	CPRM	FLORESTAL	01/03/1941	01/09/2016	887	-19,88	-44,42	477	119,37	0,5919	0,3629	0,1227	0,721
8	IB1-2044012	IBIRITÉ	CPRM	IBIRITÉ	01/01/1945	01/05/2015	845	-20,04	-44,04	473	146,32	0,5632	0,3303	0,1055	0,827
9	IT1-2044016	FAZENDA BENEDITO CHAVES	ANA	ITATIAIUÇU	01/05/1970	01/07/2016	555	-20,17	-44,52	480	124,50	0,5522	0,3106	0,0935	1,166
10	JA1-1943004	JABOTICATUBAS	CPRM	JABOTICATUBAS	01/09/1941	01/08/2016	899	-19,52	-43,74	467	104,34	0,5969	0,3674	0,1229	0,937
11	JU1-1943024	JOSÉ DE MELO	CPRM	JUATUBA	01/02/1944	01/07/2016	853	-19,69	-43,59	478	123,16	0,5772	0,3511	0,1160	0,493
12	JU2-1944004	PONTE NOVA DO PARAQUEBA	CPRM	JUATUBA	01/03/1941	01/08/2016	906	-19,95	-44,47	480	119,49	0,5708	0,3233	0,0845	0,909
13	LS1-1943049	PONTE RAUL SOARES	CPRM	LAGOA SANTA	01/06/1972	01/09/2016	498	-19,56	-43,92	450	176,82	0,4514	0,0765	-0,0441	2,115
14	ML1-1944026	BARRIO PRETO	CPRM	MATEUS LEME	01/05/1970	01/09/2016	557	-19,96	-44,45	480	212,41	0,3910	0,0192	-0,0160	0,790
15	ML2-1944027	FAZENDA VISTA ALEGRE	CPRM	MATEUS LEME	01/06/1970	01/08/2016	526	-20,05	-44,45	447	199,95	0,3972	0,0219	-0,0207	0,507
16	ML3-2044019	JUATUBA	CPRM	MATEUS LEME	01/05/1970	01/09/2016	557	-19,96	-44,33	480	222,15	0,3871	0,0084	-0,0136	1,111
17	NL1-2043002	REPRESA DAS CODORNAS (MMV)	CPRM	NOVA LIMA	01/01/1941	01/05/2016	905	-20,16	-43,89	480	370,51	0,3651	-0,0274	-0,0203	2,058
18	NL2-2043004	RIO DO PEIXE (MMV)	CPRM	NOVA LIMA	01/01/1940	01/07/2016	918	-20,14	-43,89	480	335,11	0,4046	0,0245	-0,0327	0,464
19	NL3-2043042	LAGOA GRANDE (MMV)	CPRM	NOVA LIMA	01/09/1976	01/09/2016	481	-20,18	-43,94	480	198,50	0,3790	0,0124	-0,0161	1,936
20	PL1-1944009	PEDRO LEOPOLDO	CPRM	PEDRO LEOPOLDO	01/05/1941	01/09/2016	905	-19,63	-44,05	477	286,50	0,4228	0,0375	-0,0458	1,013
21	SA1-1943006	SABARÁ	CPRM	SABARÁ	01/06/1941	01/08/2016	893	-19,89	-43,82	480	308,89	0,4190	0,0279	-0,0353	1,040
22	TA1-1943023	TAQUARAÇU	CPRM	TAQUARAÇU DE MINAS	01/02/1942	01/09/2016	896	-19,66	-43,69	480	289,92	0,4242	0,0281	-0,0481	1,271
23	VE1-1943009	VESPASIANO	CPRM	VESPASIANO	01/04/1941	01/05/2016	899	-19,69	-43,92	477	296,38	0,4215	0,0341	-0,0349	0,787

### Identificação de Regiões Homogêneas

As regiões homogêneas foram identificadas pelo método hierárquico de Ward, com a similaridade definida a partir da distância euclidiana das razões-L, e não dos dados originais de precipitação. Isto porque, de acordo com Hosking e Wallis (2005), é possível identificar regiões homogêneas a partir dos gráficos de Assimetria x Curtose e Assimetria x L-CV.

Assim, foram encontradas três regiões homogêneas, como mostra a Figura 01.

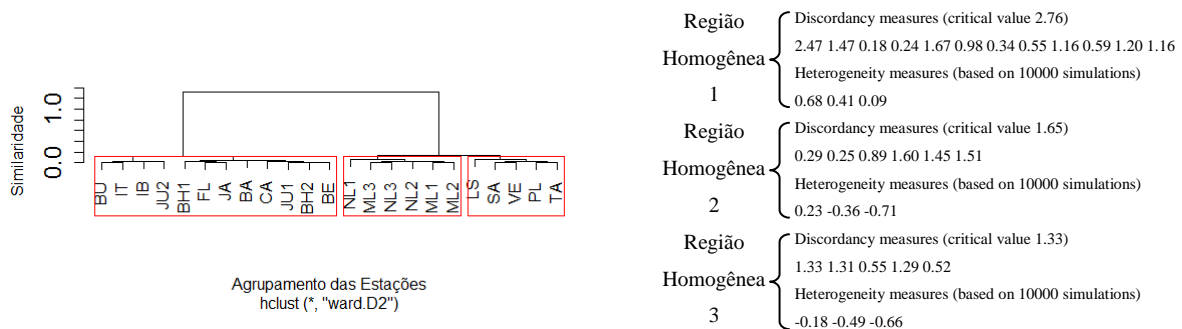


Figura 01 – Regiões Homogêneas

É possível verificar, ainda, a partir da Figura 02, que os gráficos de dispersão das razões-L delimitam, de fato, estas 3 regiões homogêneas.

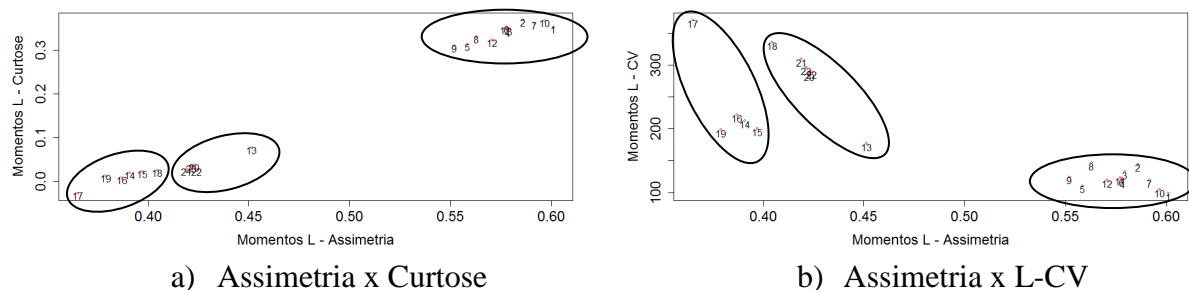


Figura 02 – Dispersão dos Razões-L

### Distribuição de Frequências das Regiões Homogêneas

Os momentos-L foram utilizados para ajustar a melhor distribuição de probabilidades para cada região homogênea, uma vez que fornecem estimativas de posição, escala e forma mais confiáveis para as características das distribuições de probabilidades do que os momentos convencionais (Valverde et al., 2004). Os resultados são mostrados na Tabela 02:

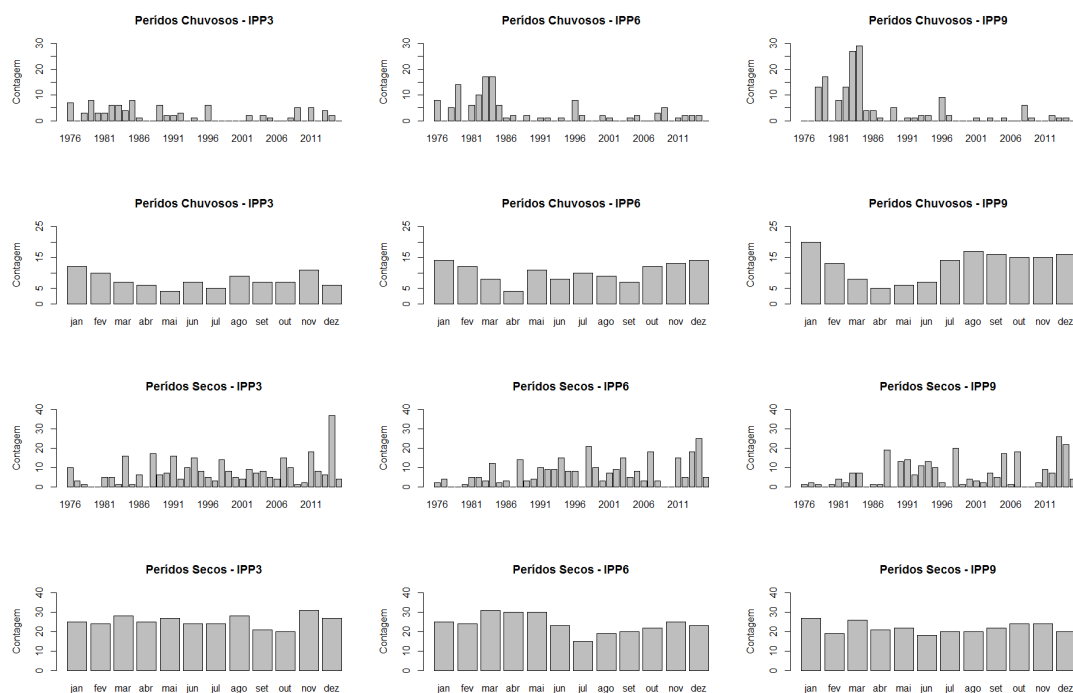
Tabela 02 – Distribuições de Probabilidades ajustadas (em 10000 simulações)

REGIÃO HOMOGÊNEA 1					REGIÃO HOMOGÊNEA 2					REGIÃO HOMOGÊNEA 3				
Goodness-of-fit measures					Goodness-of-fit measures					Goodness-of-fit measures				
glo	gev	gno	pe3	<b>gpa</b>	glo	gev	gno	pe3	<b>gpa</b>	glo	gev	gno	pe3	<b>gpa</b>
30.96	26.46	21.15	<b>11.95</b>	<b>12.89</b>	41.36	28.44	31.60	31.59	<b>04.89</b>	43.11	31.83	34.04	33.88	<b>10.56</b>

O resultados mostram que Pareto (gpa) supera as demais distribuições generalizadas (Logística/glo, Valores Extremos/gev, Normal/gno e Pearson 3/pe3) em todas as regiões.

### **Estimativa dos Eventos de Seca e Chuvas Extremas**

O IPP de 3, 6 e 9 meses foi calculado para todos os postos pluviométricos e, a partir daí, foi determinada a frequência de eventos extremos de chuva (IPP>2) e seca (IPP<-2). Os resultados estão apresentados Figura 03.

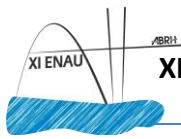


**Figura 03 – Contagem de eventos extremos (chuvas e secas)**

O teste de Mann-Kendall sobre estes dados não indicou qualquer tendência de chuvas extremas, mensais ou anuais, para nenhuma das três regiões. Indicou, entretanto, tendências de secas extremas nos últimos anos para a região 1, e tendências de secas mensais em praticamente todas as regiões, com maior concentração nos meses de julho e agosto. Os dados são apresentados na Tabela 03.

**Tabela 03 – Tendências de Chuvas (Teste de Mann-Kendall)**

<b>MÊS</b>	<b>JAN</b>	<b>FEV</b>	<b>MAR</b>	<b>MAI</b>	<b>MAI</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>JUL</b>	<b>JUL</b>	<b>JUL</b>	<b>JUL</b>	<b>JUL</b>	<b>JUL</b>	
<b>SITE</b>	18	13	13	11	13	4	2	4	7	8	10	13	15	17
<b>Z</b>	-2.15	-1.92	-1.79	-1.81	-2.13	-2.02	-2.00	-2.42	-1.77	-1.71	-2.57	-2.57	-1.65	-1.72
<b>MÊS</b>	<b>AGO</b>	<b>AGO</b>	<b>AGO</b>	<b>AGO</b>	<b>AGO</b>	<b>AGO</b>	<b>AGO</b>	<b>AGO</b>	<b>AGO</b>	<b>SET</b>	<b>OUT</b>	<b>OUT</b>	<b>NOV</b>	<b>DEZ</b>
<b>SITE</b>	2	5	7	10	11	12	13	17	20	13	4	10	13	4
<b>Z</b>	-1.75	-2.24	-1.74	-2.10	-1.93	-2.17	-1.74	-1.92	-2.36	-2.06	-1.82	-1.67	-2.05	-1.77
<b>ANO</b>	<b>1984</b>	<b>1987</b>	<b>1990</b>	<b>1993</b>	<b>1998</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2009</b>	<b>2011</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	
<b>SITE</b>	19	19	20	19	2	4	19	19	10	5	13	4	8	
<b>Z</b>	-1.71	-1.85	-1.98	-1.71	-1.85	-2.53	-1.71	-2.67	-2.05	-1.71	-2.26	-2.05	-2.60	



## CONCLUSÕES

Neste trabalho foram analisados os registros dos últimos 40 anos de precipitação de 23 postos pluviométricos de 17 cidades da Região Metropolitana de Belo Horizonte. Foram identificadas 3 regiões homogêneas, sendo que a distribuição de Pareto foi a que melhor se ajustou a estas regiões. A análise de frequências não apontou tendência de chuvas extremas, mas identificou tendência de secas nos últimos anos em praticamente todas as regiões.

## AGRADECIMENTOS

Ao Fundo Incentivo à Pesquisa e ao Programa Permanente de Capacitação Docente, da PUC MINAS pelo apoio dado através dos projetos FIP-2016/11052-2S e PPCD-Nº099/2015.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Dodangeh, E., Soltani, S., Sarhadi, A., & Shiau, J. T. (2014). Application of L-moments and Bayesian inference for low-flow regionalization in Sefidroud basin, Iran. *Hydrological Processes*, 28(4), 1663-1676.
- Fernandes, D. S., Heinemann, A. B., Paz, R. L. F., & de Oliveira Amorim, A. (2011). Desempenho de índices quantitativos de seca na estimativa da produtividade de arroz de terras altas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 45(8), 771-779.
- Hosking, J. R. M., & Wallis, J. R. (2005). *Regional frequency analysis: an approach based on L-moments*. Cambridge University Press.
- Pinheiro, M. M. G., & Naghettini, M. (1998). Análise regional de frequência e distribuição temporal das tempestades na Região Metropolitana de Belo Horizonte–RMBH. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 3(4), 73-88.
- Shahzadi, A., Akhter, A. S., & Saf, B. (2013). Regional frequency analysis of annual maximum rainfall in monsoon region of Pakistan using L-moments. *Pakistan Journal of Statistics and Operation Research*, 9(1).
- Sousa, F. D. A. S., Macedo, M. J. H., de Souza Guedes, R. V., & da Silva, V. D. P. R. (2016). O Índice de Precipitação Padronizada (IPP) na identificação de extremos de chuvas e secas na bacia do rio Paraguaçu (BA). *AMBIÊNCIA*, 12(2), 707-719.
- Svoboda, M., Hayes, M., & Wood, D. (2012). *Standardized precipitation index user guide*. World Meteorological Organization Geneva, Switzerland.
- Uliana, E. M., dos Reis, E. F., de Souza, A. P., da Silva, J. G. F., & Xavier, A. C. (2015). Utilização do índice de precipitação padronizado para a região norte do estado do espírito santo. *IRRIGA*, 20(3), 414.
- Valverde, A. L., Leite, H. G., Silva, D. D., & Pruski, F. F. (2004). Momentos-l: teoria e aplicação em hidrologia. *R. Árvore*, Viçosa-MG, 28(6), 927-933.
- Weschenfelder, A. B., Pickbrenner, K., & Pinto, E. J. D. A. (2011). Análise da frequência de ocorrência e a classificação das precipitações diárias máximas anuais na região da laguna dos patos (sub-bacia 87) In: *Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos*, 19, 2011. Maceió, AL. Anais. Maceio:.
- Zilli, M. T., Carvalho, L., Liebmann, B., & Silva Dias, M. A. (2016). A comprehensive analysis of trends in extreme precipitation over southeastern coast of Brazil. *International Journal of Climatology*.