

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO

ISABOR VIANA SANT'ANA MENDES

TENDÊNCIA E PERÍODO DE RETORNO DAS CHUVAS INTENSAS EM MACAÉ-RJ:  
DETECÇÃO E IMPACTOS

Macaé, dezembro de 2019

ISABOR VIANA SANT'ANA MENDES

TENDÊNCIA E PERÍODO DE RETORNO DAS CHUVAS INTENSAS EM MACAÉ-RJ:  
DETECÇÃO E IMPACTOS

Monografia apresentada ao Laboratório de Meteorologia do Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para a conclusão do Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Clima, Água e Energia: uma Abordagem Técnica e Integrada.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> D.Sc. Eliane Barbosa Santos

Macaé, dezembro de 2019

ISABOR VIANA SANT'ANA MENDES

TENDÊNCIA E PERÍODO DE RETORNO DAS CHUVAS INTENSAS EM MACAÉ-RJ:  
DETECÇÃO E IMPACTOS

Monografia apresentada ao Laboratório de Meteorologia do Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para a conclusão do Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Clima, Água e Energia: uma Abordagem Técnica e Integrada.

Aprovado em 18 de dezembro de 2019

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. José Ricardo Siqueira, D.Sc., UENF

---

Prof.<sup>a</sup> Beatriz Rohden Becker, M.Sc., UFRJ

---

Prof.<sup>a</sup> Eliane Santos Barbosa, D.Sc., UENF  
(Orientadora)

Aos meus pais e mestres,  
com carinho dedico.

## AGRADECIMENTOS

À minha família, meus pais, Laudete Viana Sant'Ana e Alexandre Mendes da Silva, e minha madrasta, Maria Luiza Alves por sempre me apoiarem e acima de tudo pelos exemplos de vida. Aos meus irmãos, Savannah Viana Sant'Ana Mendes e Renzo Viana Sant'Ana Teixeira por entenderem as ausências, o menino não entendeu tanto assim, mas tudo bem. AMO DEMAIS VOCÊS.

Ao meu namorado Vitor, pela paciência incondicional, pelo carinho, amizade e amor, e aos seus pais, Maria e Valcenir, por me acolherem em sua residência com tanto afeto e a carinho, e apoio. TAMBÉM AMO VOCÊS.

À professora Eliane Santos por ter aceitado à me orientar neste trabalho e de forma tão paciente, prestativa e incentivadora.

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro e a Universidade Federal do Rio de Janeiro, pelo ensino gratuito e de qualidade.

A todos os professores dessa especialização, pelos ensinamentos.

A todos os funcionários da UENF Macaé, por terem tornado possíveis as aulas até as 22hs.

A todos os colegas feitos nesse período enriquecedor de conhecimentos, pela amizade, sem a qual não seria possível seguir todos os dias desses 6 meses intensos.

Enfim, agradeço a todas aquelas pessoas que torceram, incentivaram e que, diretamente ou indiretamente, contribuíram pela realização deste trabalho. MUITO OBRIGADA!

## RESUMO

O estudo de eventos extremos de precipitação vem se tornando cada vez mais relevante devido à crescente preocupação com os impactos das mudanças climáticas. Neste sentido, o objetivo principal deste trabalho é analisar o comportamento e a tendência das chuvas intensas no município de Macaé-RJ, bem como estimar o período de retorno desses eventos e apontar seus impactos. Para tanto, foram utilizados dados diários de precipitação de uma estação pluviométrica localizada em Macaé-RJ, da rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas, referente ao período de 1968 a 2018. Inicialmente, foi feita uma análise da climatologia da precipitação e das chuvas intensas. Foram considerados como eventos intensos os totais diários iguais ou superiores aos percentis 90, 95 e 99. Em seguida, foi aplicada a Teoria dos Valores Extremos para estimar o período de retorno das chuvas intensas, por intermédio da Distribuição Generalizada de Valores Extremos (*Generalized Extreme Value - GEV*) e da Distribuição Generalizada de Pareto (*Generalized Pareto Distribution - GPD*). A qualidade do ajuste dessas distribuições foi avaliada pelo QQ-plot. Para detectar a tendência dos eventos, foi utilizado o teste de Mann-Kendall. Por fim, foi feita uma pesquisa documental para coletar informações sobre os impactos causados pelas chuvas intensas. Os resultados mostraram que as chuvas mais intensas ocorrem nas estações de transição (outono e primavera). Para o percentil 95 (45,19 mm), a frequência dos eventos também foi maior nas estações de transição, no entanto, o número de dias com chuvas iguais ou superiores aos percentis 90 (31,38 mm) e 99 (88,22 mm) foi maior no verão, período mais chuvoso da região. Utilizando as distribuições GEV e GPD, os maiores valores de precipitação são esperados no outono, com totais diários de 134,84 mm (GEV), 281,24 mm (GPD utilizando como limiar o percentil 95) e 340,71 mm (GPD utilizando como limiar o percentil 90), ao menos uma vez em cada dez anos. No teste de tendência, a frequência dos eventos considerando o percentil 90, foi positiva e significativa a 5%, sugerindo aumento no número de eventos. Nos impactos, destacam-se os sociais e econômicos, com perdas materiais e centenas de desabrigados e desalojados.

Palavras-chave: Precipitação Extrema. Teoria dos Valores Extremos. Teste de Mann-Kendall.

## ABSTRACT

The study of extreme precipitation events has become increasingly relevant due to growing concern about the impacts of climate change. In this sense, the main objective of this work is to analyze the behavior and tendency of the intense rainfall in the city of Macaé-RJ, as well as to estimate the return period of these events and to point out their impacts. For this purpose, daily rainfall data were used from a rainfall station located in Macaé-RJ, from National Water Agency of Brazil hydrometeorological network, from 1968 to 2018. Initially, an analysis of the precipitation climatology and heavy rainfall was made. The daily total precipitation equal to or higher than the 90th, 95th and 99th percentiles were considered as intense events. Then, the Extreme Value Theory was applied to estimate the return period of the intense rainfall, through the Generalized Extreme Distribution. Value (GEV) and Generalized Pareto Distribution (GPD). The quality of the adjustment of these distributions was assessed by the QQ-plot. To detect the trend of events, the Mann-Kendall test was used. Finally, a documentary research was conducted to collect information about the impacts caused by the heavy rainfall. The results showed that the most intense rainfall occurs in the transition seasons (autumn and spring). For the percentil 95 (45.19 mm), the frequency of events was also higher in the transition seasons. However, the number of days with rainfall equal to or higher than the 90 (31.38 mm) and 99 (88.22 mm) percentiles was higher in summer, the region's rainy season. Using the GEV and GPD distributions, the highest precipitation values are expected in the fall, with daily totals of 134.84 mm (GEV), 281.24 mm (GPD using 95th percentile threshold) and 340.71 mm (GPD using 90th percentile threshold) at least once every ten years. In the trend test, the frequency of events considering the 90th percentile was positive and significant at 5%, suggesting an increase in the number of events. Impacts include social and economic, with material losses and hundreds of homeless people and displaced people.

Keywords: Extreme Precipitation. Extreme Value Theory. Mann-Kendall test.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Principais sistemas meteorológicos que atuam sobre a América do Sul. ASPs: Anticiclone Semipermanente do Pacífico Sul; ASAS: Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul; ZCIT: Zona de Convergência Intertropical; ZCAS: Zona de Convergência do Atlântico Sul; CCM: Complexos Convectivos de Mesoescala; JBN: Jatos de Baixos Níveis; FF: Frente Fria; LI: Linhas de Instabilidade; APA: Anticiclone Polar Atlântico.....	15
Figura 2 - Localização do município de Macaé e da estação pluviométrica utilizada neste estudo.....	19
Figura 3 - Acumulados mensais de precipitação (mm/mês) do município de Macaé para o período de 1968 a 2018.....	24
Figura 4 - Totais diários de precipitação (mm/dia) no município de Macaé: a) totais diários maiores que os percentis 90 (P90), 95 (P95) e 99 (P99); b) totais diários por estação do ano maiores que percentil 90 (P90); c) totais diários por estação do ano maiores que o percentil 95 (P95) e d) totais diários por estação do ano maiores que percentil 99 (P99).....	26
Figura 5 - Frequência (em dias) dos totais diários de precipitação acima dos percentis 90, 95 e 99 no município de Macaé.....	26
Figura 6 - Período de retorno (anos) das chuvas intensas através da GPD e seus respectivos parâmetros, escala ( $\sigma$ ) - E e forma ( $\xi$ ) - F, utilizando o percentil 90 como limiar (u) - L, para: a) DJF, b) MAM, c) JJA e d) SON.....	27
Figura 7 - Período de retorno (anos) das chuvas intensas através da GPD e seus respectivos parâmetros, escala ( $\sigma$ ) - E e forma ( $\xi$ ) - F, utilizando o percentil 95 como limiar (u) - L, para: a) DJF, b) MAM, c) JJA e d) SON.....	28
Figura 8 - Período de retorno (anos) das chuvas intensas através da GEV e seus respectivos parâmetros, escala ( $\sigma$ ) - E, forma ( $\xi$ ) - F e localização ( $\mu$ ) - L, para: a) DJF, b) MAM, c) JJA e d) SON.....	29
Figura 9 - QQ-plot para a distribuição GPD utilizando o percentil 90 como limiar, para: a) DJF, b) MAM, c) JJA e d) SON.....	31
Figura 10 - QQ-plot para a distribuição GPD utilizando o percentil 95 como limiar, para: a) DJF, b) MAM, c) JJA e d) SON.....	31
Figura 11 - QQ-plot para a distribuição GEV, para: a) DJF, b) MAM, c) JJA e d) SON.....	32
Figura 12 - Totais diários de precipitação (mm/dia) maiores que o percentil 90.....	32
Figura 13 - a) Série temporal da frequência (em dias) das chuvas intensas ( $P>90$ , $P>95$ e $P>99$ ) e b) Série temporal das médias das chuvas intensas ( $P>90$ , $P>95$ ).....	33
Figura 14 - Registro do jornal O Debate com os impactos das chuvas do dia 20 de abril de 1990.....	35

Figura 15 - Registro do jornal O Debate com os impactos das chuvas do dia 12 de fevereiro de 1998.....	36
Figura 16 - Registro do jornal O Debate com os impactos das chuvas do dia 15 de fevereiro de 1998.....	36
Figura 17 - Registro do jornal O Debate com os impactos das chuvas do dia 18 de novembro de 2008.....	37
Figura 18 - Registro do jornal O Debate com os impactos das chuvas do dia 18 de março de 2013.....	38
Figura 19 - Registro do jornal O Debate com os impactos das chuvas do dia 18 de março de 2013: aumento nos níveis dos rios.....	38
Figura 20 - Manchetes de jornais eletrônicos relatando os impactos das chuvas do dia 9 de março de 2018: a) Jornal O Globo e b) G1.....	39
Figura 21 - Manchetes do jornal eletrônico G1 relatando os impactos das chuvas do dia 08 de novembro de 2018.....	39
Figura 22 - Parte da ponte de Trapiche que desabou no dia 08 de novembro de 2018.....	40

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Nome, Código, coordenadas geográficas, período de análise e porcentagem de falha da estação pluviométrica utilizada neste estudo.....	19
Tabela 2 – Níveis de retorno (mm/dia) para diferentes períodos de retorno (em anos) obtidos através das distribuições GEV e GPD.....	30
Tabela 3 - Teste de Mann-Kendall para a média das chuvas intensas e o número de dias com chuvas intensas.....	344
Tabela 4 - Maiores totais diários de precipitação registrados no período de 1968 a 2018.....	34

## LISTA DE SIGLAS

ANA – Agencia Nacional de Águas

ASAS – Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul

CCM – Complexos convectivos de Mesoescala

CEPED UFSC – Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres da Universidade Federal de Santa Catarina

COBRADE – Classificação e Codificação Brasileira de Desastres

DJF – Dezembro, janeiro e fevereiro

EM-DAT – *Emergency Events Database*

GEV – *Generalized Extreme Value*

GPD – *Generalized Pareto Distribution*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

JJA – Junho, julho e agosto

LI – Linhas de Instabilidade

MAM – Março, abril e maio

SCM – Sistemas Convectivos de Mesoescala

SF – Sistemas Frontais

SON – Setembro, outubro e novembro

TVE – Teoria dos Valores Extremos

ZCAS – Zona de Convergências do Atlântico Sul

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
1.1 OBJETIVOS.....	13
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>14</b>
2.1 CLIMATOLOGIA DA PRECIPITAÇÃO NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO....	14
2.2 AS CHUVAS INTENSAS E SUAS CONSEQUÊNCIAS.....	17
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>19</b>
3.1. DADOS.....	19
3.2. TÉCNICA DOS QUANTIS.....	19
3.3. TEORIA DOS VALORES EXTREMOS.....	20
3.4 ANÁLISE DE TENDÊNCIA.....	22
3.5 PESQUISA DOCUMENTAL.....	23
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>24</b>
4.1. CLIMATOLOGIA DA PRECIPITAÇÃO EM MACAÉ.....	24
4.2. CLIMATOLOGIA DOS EVENTOS DE CHUVAS INTENSAS.....	25
4.3. PERÍODO DE RETORNO DAS CHUVAS INTENSAS.....	27
4.4. SÉRIE TEMPORAL E ANÁLISE DE TENDÊNCIA.....	32
4.5. IMPACTOS DAS CHUVAS INTENSAS EM MACAÉ.....	34
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>41</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>43</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Os eventos extremos e sua relação com as mudanças climáticas vêm despertando interesse de muitos segmentos da sociedade, particularmente os eventos extremos de precipitação, como secas e chuvas intensas. Uma das perguntas mais importantes relacionadas a esses eventos é se a sua ocorrência está aumentando ou diminuindo com o tempo.

No estado do Rio de Janeiro, durante o verão, são rotineiros nos noticiários os destaques com relação aos prejuízos deixados pelas chuvas intensas, como interdições, queda de árvores, transbordamento de rios, alagamentos, deslizamentos de encostas, desmoronamentos de patrimônios públicos, e até óbitos. Macaé é um dos municípios que sofre com a ocorrência desses eventos adversos.

Alguns números desses impactos são descritos pelo Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (CEPED UFSC, 2013), onde refere-se à Macaé como o município que mais registrou ocorrência de alagamentos caracterizados como desastres, 8 de um total de 56 registros no estado do Rio de Janeiro, durante o período de 1991 a 2012. É importante ressaltar que a ocorrência de alagamentos é frequente, principalmente nas cidades mais urbanizadas e, embora geralmente não causem danos que caracterizem desastres, geram inúmeros transtornos às pessoas. Sua causa está relacionada à ocupação do espaço urbano pela população e à atual gestão da drenagem no nível local, pois o consequente aumento das áreas impermeabilizadas acaba por gerar um maior volume escoado superficialmente (CEPED UFSC, 2013).

Segundo Bitencourt e Rocha (2014), os impactos das adversidades atmosféricas podem ser intensificados quando há interferência do homem nas condições naturais do meio ambiente, como por exemplo, alterações provocadas pelo desmatamento, pela agricultura e pecuária, e pelos assentamentos humanos, tanto nas encostas do relevo quanto nas margens dos cursos d'água e planícies litorâneas. Ademais, pode-se citar a expansão da ocupação humana em áreas de risco como um dos fatores que podem estar contribuindo para o aumento da ocorrência de desastres.

O desastre é resultado de eventos adversos, que podem ser naturais ou provocados pelo homem em ecossistemas vulneráveis, e que venham a causar diversos danos humanos, materiais, ambientais e prejuízos econômicos e sociais (CASTRO, 1998). Através de medidas preventivas, é possível minimizar tais danos, com planejamento, estudos prévios e avaliação de riscos. Portanto, o estudo dos eventos extremos é de grande relevância, uma vez que suas estimativas probabilísticas são essenciais para o planejamento e desenvolvimento de atividades sujeitas a seus efeitos adversos (BAUTISTA; ZOCCHI; ANGELOCCI, 2004).

Diante do exposto, analisar o comportamento das chuvas intensas é de fundamental importância, pois pode contribuir nas tomadas de decisões do planejamento urbano e subsidiar no planejamento de atividades que são influenciadas pela magnitude e frequência desses eventos, como construção civil e turismo.

### 1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é analisar o comportamento e a tendência das chuvas intensas no município de Macaé-RJ, bem como estimar o período de retorno destes eventos e apontar seus impactos.

Os objetivos específicos são:

- ✓ Analisar a intensidade e a frequência dos eventos de chuvas intensas em Macaé;
- ✓ Avaliar se existe tendência no número de dias com chuvas intensas;
- ✓ Estimar o período e o nível de retorno dos eventos;
- ✓ Apresentar os principais impactos causados pelas chuvas intensas, principalmente na área urbana.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 CLIMATOLOGIA DA PRECIPITAÇÃO NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

A forma como se comporta a precipitação em um local específico é o resultado de inúmeras interações entre diversos sistemas meteorológicos, de diferentes escalas espaciais e temporais (SILVA DIAS; JUSTI DA SILVA, 2009). A interação dos sistemas meteorológicos com a topografia da região também influencia as irregularidades espaciais no campo de precipitação. Isto se mostra tão importante quanto a dinâmica da atmosfera, onde as maiores médias pluviométricas se encontram em altas altitudes e as menores em áreas de baixada (BOUHID ANDRÉ *et al.*, 2008; NUNES; VICENTE; CANDIDO 2009; SILVA; DEREZYNSKI, 2014).

No estado do Rio de Janeiro, o clima é bastante diversificado devido a topografia acidentada, com morros, serras, vales, vegetação pluralizada, regiões de baixada e baías, além da proximidade com o Oceano Atlântico. Os maiores valores pluviométricos médios anuais encontram-se na divisa da região Metropolitana e das Baixadas Litorâneas com a região Serrana, onde a pluviosidade média anual varia entre 2.500 mm e 2.800 mm (SILVA; DEREZYNSKI, 2014).

Bouhid André *et al.* (2008) dividiram o estado do Rio de Janeiro em seis regiões pluviométricamente homogêneas e identificaram que cerca de 70% a 80% das precipitações ocorrem no verão austral e 20% a 30% no inverno austral. Os autores também identificaram que a região Norte do estado é a mais seca, com totais anuais em torno de 870 mm, e a região da encosta sul da Serra do Mar é a mais chuvosa, com precipitações anuais de 2020 mm. Néto (2018) também determinou regiões pluviométricamente homogêneas no estado do Rio de Janeiro, porém dividiu o estado apenas em duas regiões. Nesse estudo o autor identificou que os maiores valores de precipitação em todas as estações do ano ocorrem na fronteira da região Metropolitana e das Baixadas Litorâneas com a região Serrana.

Segundo Silva e Dereczynski (2014), no estado do Rio de Janeiro, os totais pluviométricos são mais elevados no verão austral principalmente devido à ocorrência da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e da convecção local. A ZCAS ocorre principalmente nos meses de novembro a abril (NOBRE, 1988; REBOITA *et al.*, 2010), quando a convecção tropical mais acentuada contribui para a geração e manutenção do fenômeno (KODAMA, 1992).

A ZCAS é caracterizada pela persistência de uma banda de nebulosidade orientada no sentido noroeste-sudeste associada a uma acentuada região de convergência, em baixos níveis (QUADRO; PEZZI; ROSA, 2016). Na Figura 1 são ilustrados os principais sistemas meteorológicos que agem sobre a América do Sul. Observa-se que a banda de nebulosidade associada à ZCAS se estende desde o centro sul da Amazônia, passando pelo Centro-Oeste e Sudeste e prologando-se até o oceano Atlântico (CARVALHO; JONES, 2009; QUADRO; PEZZI; ROSA, 2016).



**Figura 1** - Principais sistemas meteorológicos que atuam sobre a América do Sul. ASPS: Anticiclone Semipermanente do Pacífico Sul; ASAS: Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul; ZCIT: Zona de Convergência Intertropical; ZCAS: Zona de Convergência do Atlântico Sul; CCM: Complexos Convectivos de Mesoescala; JBN: Jatos de Baixos Níveis; FF: Frente Fria; LI: Linhas de Instabilidade; APA: Anticiclone Polar Atlântico. Fonte: Fetter; Oliveira; Steinke (2018).

A posição média do eixo da ZCAS pode variar de 10 a 15 graus ao longo da costa do Brasil (NOBRE, 1988). Sua atuação é responsável por intensos e persistentes períodos de chuva, assim como redução das chuvas nas adjacências (NOBRE, 1988; NOGUÉS-PAEGLE; MO, 1997; CARVALHO; JONES; LIEBMANN, 2004; QUADRO *et al.*, 2012). Segundo Lima, Satyamurty e Fernández (2010), nos meses de verão, a ZCAS é responsável por 47% da precipitação na região sudeste.

Os sistemas frontais (SFs) também são sistemas meteorológicos responsáveis pela precipitação na região Sudeste do Brasil (LIMA; SATYAMURTY; FERNÁNDEZ, 2010). São sistemas transientes preponderantes nas latitudes médias, porém conseguem atingir latitudes mais baixas (VIANELLO; MAIA, 1986). Sobre o estado do Rio de Janeiro, no inverno e na primavera austral, ocorre em média a passagem de quatro SFs por mês; já no verão e outono austral, verifica-se em média a passagem de três SFs por mês (OLIVEIRA, 1986; LEMOS; CALBETE, 1996; JUSTI DA SILVA, 2003). Apesar da maior frequência no inverno, dos quatro SFs apenas um organiza a convecção, enquanto no verão todos os SFs que atingem a banda latitudinal entre 25 e 20°S conseguem organizar a convecção no interior do continente (OLIVEIRA, 1986). Dados do estudo de Dereczynski, Oliveira e Machado (2009) mostraram que 77% das chuvas intensas, no município do Rio de Janeiro, foram provocadas por sistemas frontais, ao longo dos 10 anos observados (1977-2006).

No estado do Rio de Janeiro, os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) também são responsáveis por eventos intensos de precipitação (SIQUEIRA; MARQUES, 2016). Os SCM podem ser classificados como: Linhas de Instabilidade (LI) e Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM). As LI são um conjunto de cumulonimbus alinhados, ou seja, possuem forma de linha, deslocando-se de maneira uniforme, que varia de horas até um dia (SILVA DIAS, 1987). Os CCM são um conjunto de cumulonimbus cobertos por uma densa camada de cirrus, com formato aproximadamente circular e crescimento acelerado entre 6 a 12 horas são facilmente identificados em imagens de satélite (MADDOX, 1980; MADDOX, 1983; SILVA DIAS, 1987).

Segundo Houze (2004) os CCM representam as maiores tempestades convectivas e seu deslocamento lento causam, por exemplo, enchentes e inundações. Esses sistemas são caracterizados pela presença de ventos fortes e algumas vezes associados a granizo (CALHEIROS, 2008).

Outro sistema importante para o estado do Rio de Janeiro é o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), responsável pelas condições de céu claro ou com pouca nebulosidade da região (VIANELLO; MAIA, 1986). No inverno, quando se desloca longitudinalmente em direção ao continente, provoca baixos totais pluviométricos por causa da subsidência do ar. Isto intensifica as condições de poluição atmosférica (REBOITA *et al.*, 2010; MOLION; BERNARDO; OLIVEIRA, 2014). A posição média do ASAS pode ser observada na Figura 1.

## 2.2 AS CHUVAS INTENSAS E SUAS CONSEQUÊNCIAS

As chuvas intensas são responsáveis por inúmeros desastres naturais que assolam muitas cidades, causando diversos transtornos às suas populações, desde a ameaça à saúde pública a prejuízos financeiros. Esses eventos são considerados desastres naturais quando ocorrem em uma região que ocasione danos (materiais e humanos) e prejuízos (socioeconômicos) (KOBAYAMA, 2006).

No estado do Rio de Janeiro, a maioria dos desastres naturais está relacionada a eventos de precipitação intensa, resultando em enxurradas, inundações e alagamentos. Segundo o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (CEPED UFSC, 2013), no período de 1991 a 2012, as enxurradas e as inundações foram responsáveis por 35% e 26% dos desastres no estado, respectivamente. É importante destacar que as enxurradas ocorrem quando há chuvas intensas e concentradas, enquanto as inundações relacionam-se mais com períodos demorados de chuvas contínuas.

A nova Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE) definem enxurradas e inundações como (BRASIL, 2012, p. 73):

Enxurradas: escoamento superficial de alta velocidade e energia, provocado por chuvas intensas e concentradas, normalmente em pequenas bacias de relevo acidentado. Caracterizada pela elevação súbita das vazões de determinada drenagem e transbordamento brusco da calha fluvial. Apresenta grande poder destrutivo.

Inundações: Submersão de áreas fora dos limites normais de um curso de água em zonas que normalmente não se encontram submersas. O transbordamento ocorre de modo gradual, geralmente ocasionado por chuvas prolongadas em áreas de planície.

Devido à sua natureza gradual, as inundações possuem os menores números de registros de mortes relacionados a esse desastre natural. Contudo, grandes danos são causados em virtude da magnitude relacionada a sua área de abrangência, muito influenciado pelas variáveis climatológicas de médio a longo prazo (TAVARES; SILVA, 2008).

Ainda segundo o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (CEPED UFSC, 2013), os desastres relativos a movimentos de massas são o terceiro mais recorrente, correspondendo a 21% dos desastres ocorridos no período de 1991 a 2012; fenômenos que também estão associados, entre outros fatores, ao volume pluviométrico.

No que se refere aos alagamentos, apesar de terem sido menos expressivos no estado do Rio de Janeiro, no período de 1991 a 2012 (CEPED UFSC, 2013), sua ocorrência é frequente, principalmente nas cidades mais urbanizadas, causando inúmeros transtornos à população. O COBRADE define alagamentos como (BRASIL, 2012, p. 73):

Extrapolação da capacidade de escoamento de sistemas de drenagem urbana e consequente acúmulo de água em ruas, calçadas ou outras infraestruturas urbanas, em decorrência de precipitações intensas [...].

É importante destacar que não só o sistema de drenagem urbana mal planejado em si contribui para o aumento da ocorrência de alagamentos, como também o entupimento desse sistema, ocasionado pelo carregamento de lixo e sedimentos para as sarjetas e bocas de lobo, bem como ligações clandestinas de esgotamento sanitário às redes pluviais (BOTELHO, 1998; NEVES; TUCCI, 2008).

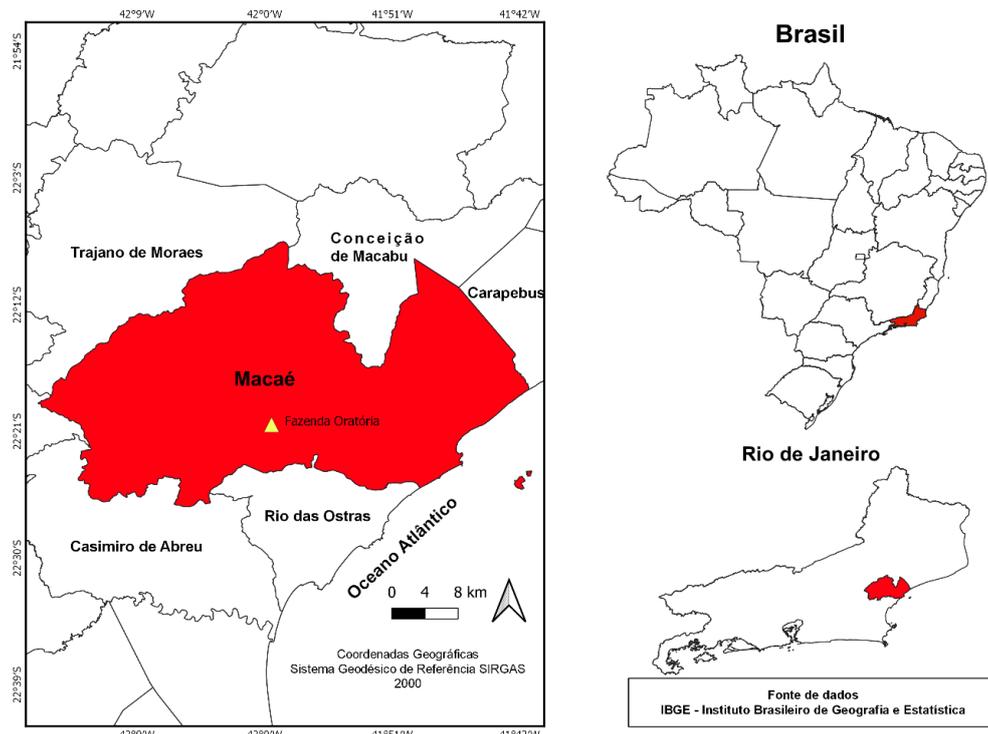
Segundo Cristo (2002), muitas cidades desenvolveram suas malhas urbanas ao longo dos leitos dos rios colocando em risco populações que, devido a chuvas intensas e concentradas, sofrem problemas com inundações e/ou alagamentos. O processo de concentração da população em áreas urbanas, bem como o aumento da área impermeabilizada, diminui o tempo de concentração, aumentando a velocidade de escoamento das águas superficiais em direção às calhas de drenagem principal (BRASIL, 2007), o que contribui para o aumento dos problemas relacionados às chuvas intensas.

Utilizando os dados de desastres do banco global *Emergency Events Database* (EM-DAT), período 1900 a 2000, Marcelino (2008) observou aumento na frequência e na intensidade dos desastres naturais em todo o mundo, principalmente a partir da década de 50. O autor apontou que este aumento ocorreu em função do crescimento populacional, da segregação socioespacial, da acumulação de capital em zonas perigosas, do avanço das comunicações e das mudanças globais. No Brasil, a taxa de urbanização passou de 82,5%, em 2005, para 84,7% em 2015, sendo que o estado do Rio de Janeiro apresenta taxa maior, com 97,4% (2015), concentrando quase a totalidade de sua população em áreas urbanas (IBGE, 2016).

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. DADOS

Foram utilizados neste estudo dados diários de precipitação obtidos de uma estação pluviométrica da rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas (ANA), localizada no município de Macaé, Rio de Janeiro, conforme mostra a Figura 2. As coordenadas, período de análise e porcentagem de falhas são apresentadas na Tabela 1.



**Figura 2** – Localização do município de Macaé e da estação pluviométrica utilizada neste estudo.  
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

**Tabela 1** - Nome, Código, coordenadas geográficas, período de análise e porcentagem de falha da estação pluviométrica utilizada neste estudo.

Nome Estação	Código Estação	Latitude	Longitude	Período de Análise	Falhas (%)
Fazenda Oratória	2241004	22°15'33,12"S	41°59'3,12"W	1968 - 2018	1,48

#### 3.2. TÉCNICA DOS QUANTIS

A técnica dos quantis foi utilizada neste estudo para determinar os eventos de chuvas intensas. Tal técnica é muito utilizada em Meteorologia para analisar a frequência de eventos extremos, bem como sua frequência (GEMMER *et al.*, 2011; OLIVEIRA; LIMA; SILVA, 2013; SANTOS; LUCIO; SILVA, 2015(a); GOUVEA *et al.*, 2018).

Essa técnica consiste na distribuição em ordenamento crescente de uma série amostral contínua. Neste estudo, ao conjunto de dados diários de precipitação foi atribuído uma probabilidade  $p$  univocamente a cada valor amostral (XAVIER; XAVIER, 1999). Para Gouvea *et al.* (2018), quantis de ordem  $p$  é:

um valor numérico que divide a distribuição em duas partes separando uma amostra em duas massas de observações numéricas, com  $100xp\%$  dos elementos localizados à esquerda do quantil “amostral” e os demais  $100x(1-p)\%$ , à direita.

A série temporal pode ser distribuída da seguinte forma:  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ , onde  $x_1$  representa o menor valor e  $x_n$  o maior valor da série. O índice  $n$ , portanto, constitui o tamanho da amostra. Define-se o quantil  $Q_p$ , para cada número real  $p$  entre 0 (zero) e 1 (um), que satisfaça a condição (XAVIER; XAVIER, 1999):

$$Prob(X \leq Q_p) = p \quad (1)$$

em que  $p$  é uma proporção qualquer, dentro de um intervalo de 0 a 1.

Neste trabalho, para determinar os eventos de chuvas intensas foram utilizadas as seguintes ordens quantílicas:  $p = 0,90$ ,  $p = 0,95$ ,  $p = 0,99$ , correspondentes aos percentis 90%, 95% e 99%, respectivamente. A estimativa dos percentis foi baseada apenas nos registros em que a precipitação foi diferente de 0 mm, ou seja, foi excluído os dias sem chuvas.

### 3.3. TEORIA DOS VALORES EXTREMOS

A Teoria dos Valores Extremos (TVE) objetiva utilizar as observações extremas para estudar o comportamento assintótico da cauda (inferior ou superior) da distribuição, quando a distribuição populacional é desconhecida, ou seja, estudar eventos raros (KOTZ; NADARAJAH, 2000). Tais observações podem ser coletadas do banco de dados de duas maneiras diferentes: selecionando os máximos (ou mínimos) de cada período de uma série de dados, que é denotado como máximos (ou mínimos) em blocos; ou pontos que ultrapassam um limite pré-fixado (alto ou baixo), que é chamado de excessos sobre um limiar (COLES, 2001).

Coles (2001) inicialmente formula o modelo da TVE da seguinte forma:

$$M_n = \max\{X_1, X_2, \dots, X_n\} \quad (2)$$

onde  $M_n$  é o máximo dos  $n$  blocos, e  $X_1, X_2, \dots, X_n$ , é uma sequência de variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídas em uma função acumulada  $F_{M_n}$ , exemplificada a seguir:

$$F_{M_n}(z) = P(M_n \leq z) = P(X_1 \leq z, \dots, X_n \leq z) = \{F(z)\}^n \quad (3)$$

Todavia, a função  $F$  é desconhecida, sendo necessário buscar famílias de distribuições semelhantes a  $F^n$ , podendo ser estimadas apenas pelos valores extremos. A ideia é similar ao procedimento de aproximação dada pela Teoria do Limite Central (SANTOS; 2015).

O teorema de Fisher-Tippett-Gnedenko (FISHER; TIPPETT, 1928), também designado por TVE, estabelece que a função de distribuição do máximo de uma amostra de variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídas, converge para uma de três distribuições possíveis, a Gumbel, a Fréchet e a Weibull, que são conhecidas como distribuição Generalizada de Valor Extremo (GEV, sigla em inglês).

Essas três formas de distribuição possíveis podem ser dadas por (ENDER; MA, 2014):

$$F(x) = \exp\left\{-\exp\left(-\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right\}, \text{ para } \xi = 0 \quad (4)$$

$$F(x) = \exp\left\{-\left[1 + \xi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right]^{-\frac{1}{\xi}}\right\}, \text{ para } \xi \neq 0 \quad (5)$$

sendo  $\xi$  parâmetro de forma,  $\sigma$  de escala e  $\mu$  de posição. Será uma distribuição Gumbel quando  $\xi$  tender a zero, distribuição de Fréchet quando  $\xi > 0$  e distribuição de Weibull quando  $\xi < 0$ .

Na distribuição GEV, a amostra é dividida em subperíodos (blocos) que podem ser mensais, anuais, etc. De cada bloco, é extraído o valor máximo ou mínimo para formar o conjunto de eventos extremos. Esse procedimento possui a desvantagem da possibilidade de perder extremos dentro do mesmo subperíodo (bloco) (SANTOS; LUCIO; SILVA, 2015a), o que gera um desperdício de dados.

Para melhor aproveitar os dados, não deixando passar nenhum extremo em potencial, existe a Distribuição Generalizada de Pareto (GPD, sigla em inglês), cujo objetivo é a aproximação da distribuição assintótica dos excessos de uma variável aleatória acima de um valor limite pré-determinado (PICKANDS, 1975).

A GPD também pode ser definida como uma família de distribuições que, dependendo do valor do parâmetro de forma, menor, maior ou tendendo a zero, inclui casos particulares de distribuição (SANTOS; LUCIO; SILVA, 2015a):

$$F(x) = 1 - \exp\left(-\frac{(x-u)}{\sigma}\right), \text{ para } \xi = 0 \quad (6)$$

$$F(x) = 1 - \left(1 - \frac{\xi}{\sigma}(x-u)\right)^{-\frac{1}{\xi}}, \text{ para } \xi \neq 0 \quad (7)$$

em que  $u$  é o limiar utilizado e  $x - u$  são os excedentes. Para  $\xi = 0$ , a GPD representa uma distribuição exponencial; para  $\xi > 0$ , a GPD é uma distribuição Pareto, e para  $\xi < 0$ , a GPD é uma distribuição Beta.

Neste trabalho, a TVE foi aplicada na série temporal de precipitação diária de Macaé-RJ, visando estimar o período de retorno dos eventos de chuvas intensas. O período de retorno, ou tempo de recorrência é definido como sendo o intervalo médio de anos dentro do qual ocorre ou é superada um determinado evento. Conforme Santos, Lucio e Silva (2015b), os parâmetros das distribuições GEV ( $\xi$ ,  $\sigma$  e  $\mu$ ) e GPD ( $\xi$  e  $\sigma$ ) foram calculados utilizando o método de máxima verossimilhança (SMITH, 1985). Para verificar a qualidade do ajuste dos modelos foi utilizado o gráfico quantil-quantil (QQ-plot), que é um dos métodos gráficos mais utilizados para verificar o ajustamento de uma determinada distribuição aos dados observados (RAMOS; MOALA, 2014).

### 3.4. ANÁLISE DE TENDÊNCIA

Com o objetivo de constatar a existência de tendências (positiva ou negativa) na ocorrência dos eventos de chuvas intensas, foi aplicado o teste não paramétrico de Mann-Kendall (MANN, 1945; KENDALL, 1975). Este é um teste muito utilizado para detectar tendências em variáveis climatológicas, sobretudo de precipitação (YUE; PILON; CAVADIAS, 2002; BOCHEVA *et al.*, 2009; GEMMER *et al.*, 2011; BACK; BRUNA; VIEIRA, 2012; OLIVEIRA; BORROZZINO, 2018).

Essencialmente, o teste de Mann-Kendall faz a comparação de cada valor da série temporal com os valores restantes da série, em sequência, contando o número de vezes que os termos restantes são maiores, em relação ao valor analisado (SANTOS; LUCIO; SILVA, 2015b).

No teste de Mann-Kendall, deseja-se testar a hipótese nula ( $H_0$ ), que não há tendência nos dados, contra a hipótese alternativa ( $H_1$ ), em que há uma tendência de redução ou aumento. A estatística do teste é calculada da seguinte forma:

$$Z = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sigma}, & \text{se } S > 0 \\ 0, & \text{se } S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sigma}, & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (8)$$

em que:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{ sinal}(x_j - x_k) \quad (9)$$

o sinal é obtido da seguinte forma:

$$\text{sinal}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1, \text{ se } (x_j - x_k) > 0 \\ 0, \text{ se } (x_j - x_k) = 0 \\ -1, \text{ se } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (10)$$

sendo  $x_j$  e  $x_k$  valores sequenciais.

Em um teste bilateral, não rejeitamos a hipótese nula ( $H_0$ ), para um certo nível de significância  $\alpha$ , se para o quantil  $Z_{\alpha/2}$  de uma distribuição normal padrão temos  $|Z| \leq Z_{\alpha/2}$ .

### 3.5 PESQUISA DOCUMENTAL

Neste trabalho, a pesquisa documental foi utilizada para coletar informações sobre os impactos causados pelas chuvas intensas. Segundo Matos e Vieira (2001), a diferença entre pesquisa documental e a pesquisa bibliográfica, é que a primeira pode recorrer a diferentes fontes, sem nenhum tipo de tratamento analítico prévio, como jornais, revistas, fotografias, filmes, etc. Já a segunda, necessariamente faz uso de fontes já elaboradas, como artigos científicos e livros. Garcia *et al.* (2016) ainda destaca que a pesquisa documental proporciona colher informações que não poderiam ser encontradas de outra forma. Podem servir para provar e esclarecer situações de acordo com o interesse do pesquisador (FIGUEIREDO, 2017).

Inicialmente, foram selecionados os eventos mais intensos registrados em Macaé, por meio dos dados diários de precipitação (1968 – 2018). Foram selecionados os eventos com os totais diários maiores ou iguais a 150 mm, totalizando 8 ocorrências. Em seguida, foi iniciada a busca por informações sobre os possíveis impactos causados nos eventos selecionados. Tais buscas foram primeiramente feitas em meios eletrônicos e, posteriormente, na Biblioteca Municipal de Macaé - Dr. Télió Barreto, a qual possui o acervo do jornal O Debate, um jornal de circulação local.

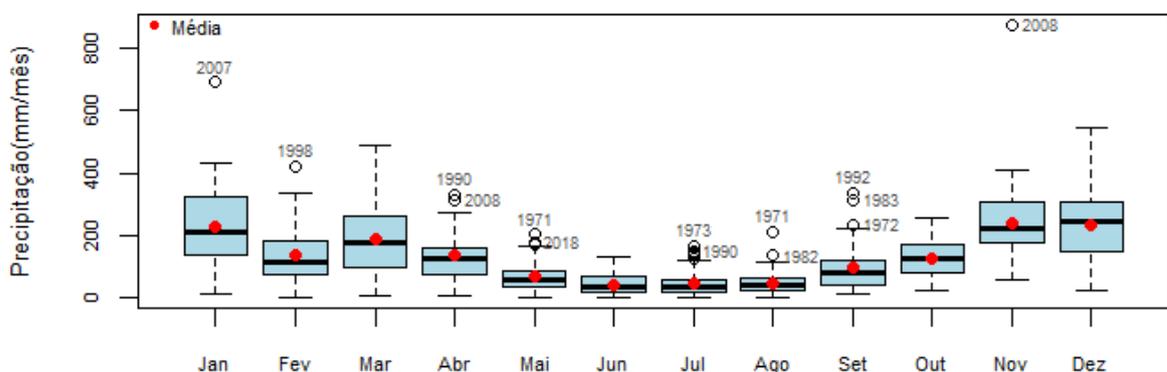
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. CLIMATOLOGIA DA PRECIPITAÇÃO EM MACAÉ

Na Figura 3, que mostra os acumulados mensais de precipitação no município de Macaé, são observados maiores valores nos meses de novembro, dezembro, janeiro e março, com médias mensais entre 188,20 (março) e 239,96 mm (novembro), indicando assim o período chuvoso da região. Os valores pluviométricos são mais elevados nesses meses por causa do estabelecimento de sistemas atmosféricos típicos que avançam na América do Sul, como ZCAS, e pela convecção local (NOBRE, 1988; REBOITA *et al.*, 2010, SILVA; DERECHYNSKI, 2014).

Os menores acumulados mensais são observados nos meses de junho a agosto, com médias mensais entre 41,46 mm (junho) e 47,09 mm (agosto), caracterizando o período seco da região. Os baixos valores pluviométricos no inverno estão relacionados ao estabelecimento das ASAS mais próximas ao continente nessa época do ano (VIANELLO; MAIA, 1986; REBOITA *et al.*, 2010; MOLION; BERNARDO; OLIVEIRA, 2014). Tal comportamento, está condizente com o que é visto na literatura, no que tange à climatologia do estado do Rio de Janeiro, como nos estudos de Silva e Dereczynski (2014) e Néto (2018).

Na Figura 3, também é possível observar os eventos extremos. Dentro da série de dados estudada, destaca-se o evento de novembro de 2008, com acumulado mensal ultrapassando 800 mm, maior que três vezes o valor esperado para o mês (239,96 mm). O segundo evento mais intenso ocorreu no mês de janeiro de 2007, com acumulado mensal muito acima do esperado, um total de 690,7 mm, sendo que a média mensal para janeiro é de 226,4 mm.



**Figura 3** - Acumulados mensais de precipitação (mm/mês) do município de Macaé para o período de 1968 a 2018.

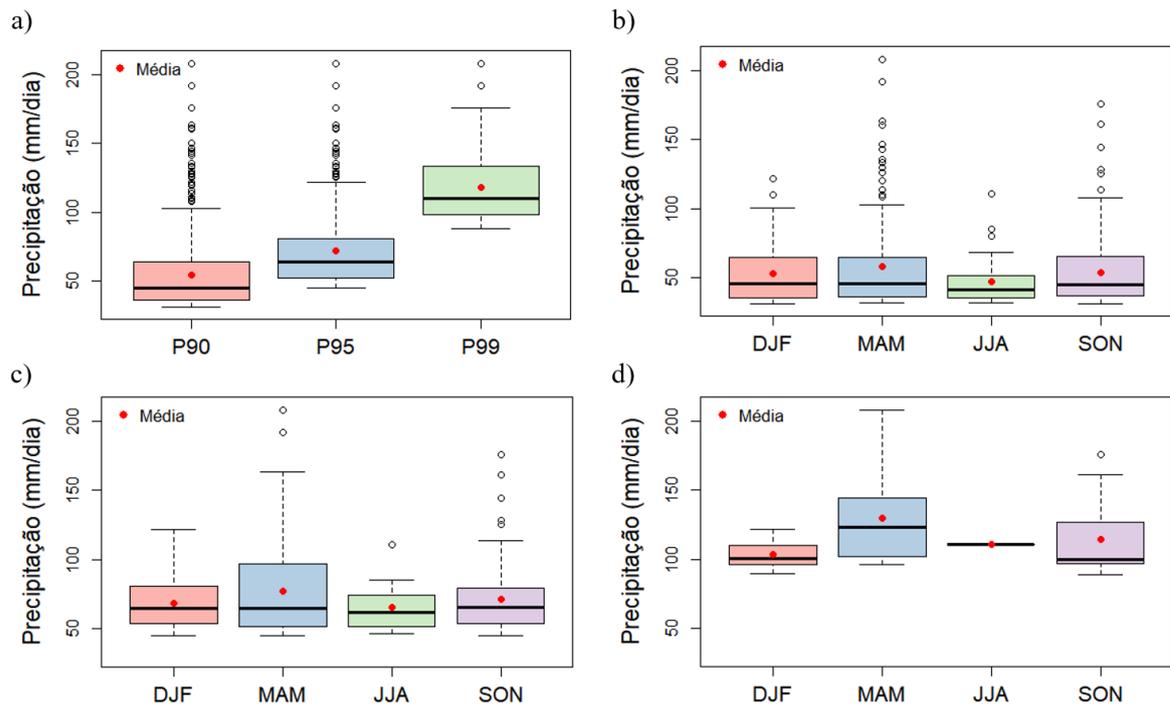
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

## 4.2. CLIMATOLOGIA DOS EVENTOS DE CHUVAS INTENSAS

Para determinar os eventos de chuvas intensas foram utilizados os percentis 90 (P90), 95 (P95) e 99 (P99), que correspondem a 31,38 mm, 45,19 mm e 88,22 mm, respectivamente. Isso equivale a dizer que para o P90, por exemplo, 90% dos dados observados estão abaixo de 31,38 mm e 10% estão acima desse valor, e o mesmo raciocínio segue para os outros percentis.

Na Figura 4, observa-se os totais diários acima dos valores dos percentis selecionados, para a série temporal completa (Figura 4a) e por estações do ano (Figura 4b a d). Considerando os percentis 90, 95 e 99, as chuvas intensas, em média, foram de 54,67 mm, 72,30 mm e 118,45 mm, respectivamente. Por estação do ano, nota-se que os eventos mais intensos foram registrados no outono (março, abril e maio – MAM), com médias de 57,97 mm (P90), 77,34 mm (P95) e 129,46 mm (P99). A segunda estação do ano com totais pluviométricos mais intensos foi a primavera (setembro, outubro e novembro - SON) e os ventos menos intensos foram registradas no inverno (junho, julho, agosto – JJA).

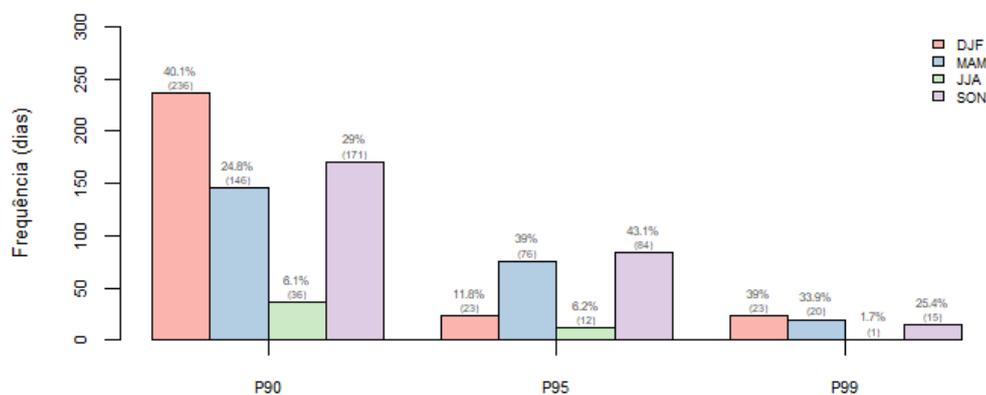
No período analisado (1968 – 2018), os dois eventos mais intensos foram registrados no outono (MAM), com totais diários de 208 mm (22 de março de 1981) e 191,5 mm (09 de março de 2018); em seguida, o evento mais intenso (175,9 mm) ocorreu em 18 de novembro de 2008, no mês mais chuvoso de toda a série temporal, com acumulado mensal de 873,6 mm. Vale ressaltar que esse evento de 175,9 mm representou 20% do acumulado mensal (873,6 mm). Esses totais de precipitação elevados possivelmente foram causados por passagem de frente fria, ZCAS ou SCM, que são os grandes responsáveis por grandes volumes de precipitação no estado do Rio de Janeiro (DERECZYNSKI; OLIVEIRA; MACHADO, 2009, SELUCHHI; BEU; ANDRADE, 2016).



**Figura 4** – Totais diários de precipitação (mm/dia) no município de Macaé: a) totais diários maiores que os percentis 90 (P90), 95 (P95) e 99 (P99); b) totais diários por estação do ano maiores que percentil 90 (P90); c) totais diários por estação do ano maiores que o percentil 95 (P95) e d) totais diários por estação do ano maiores que percentil 99 (P99).

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Na Figura 5 estão apresentadas as frequências dos totais diários acima de cada percentil, por estação do ano. Destaca-se que para o P90 e P99, a frequência dos eventos foi maior no verão (dezembro, janeiro e fevereiro – DJF), período chuvoso da região, com 236 registros de precipitações maiores que 31,38 mm (P90) e 23 registros de precipitações maiores que 88,22 mm (P99). Todavia, para o P95 (45,19 mm), a frequência dos eventos foi maior nas estações de transição (outono e primavera), com 84 (primavera) e 76 (outono) eventos.



**Figura 5** - Frequência (em dias) dos totais diários de precipitação acima dos percentis 90, 95 e 99 no município de Macaé.

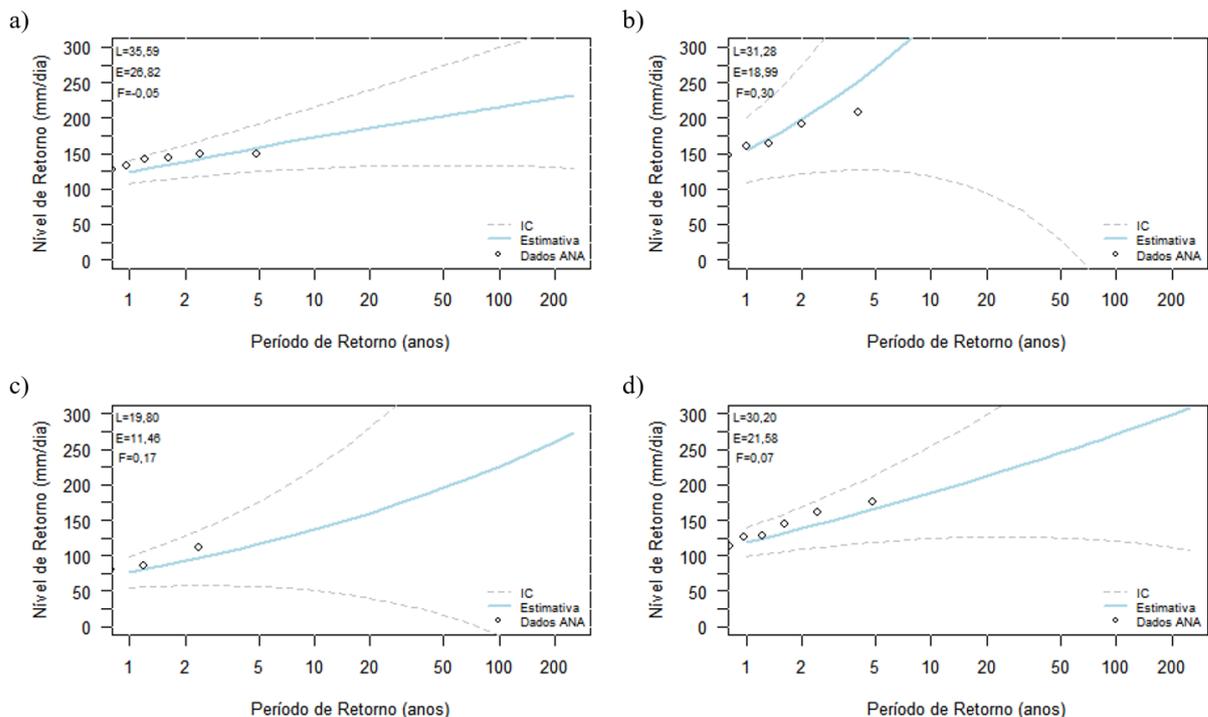
Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

É importante destacar que o P90 considera valores menos intensos e, portanto, não representa necessariamente eventos intensos, pois as chuvas podem ser de franca intensidade, mas distribuídas ao longo do dia.

#### 4.3. PERÍODO DE RETORNO DAS CHUVAS INTENSAS

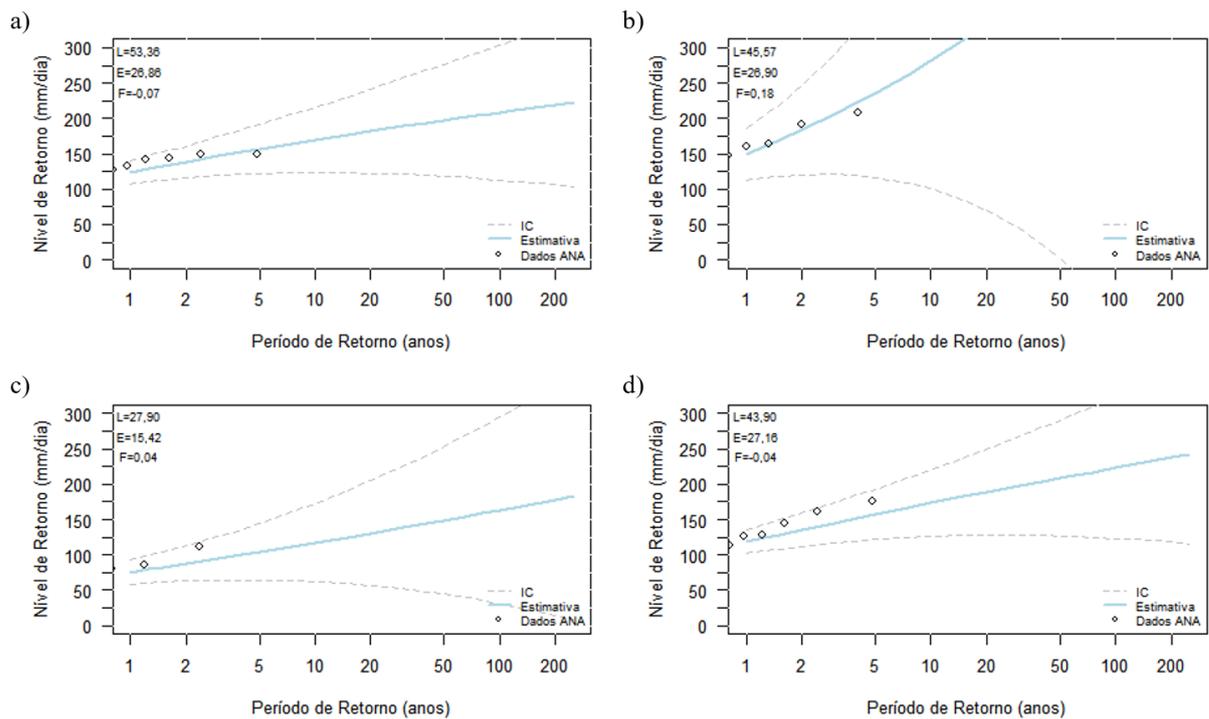
Nas Figuras 6 e 7, são apresentadas os níveis e períodos de retorno da GPD, utilizando os percentis 90 (P90) e 95 (P95) como limiares, respectivamente. Como o parâmetro de forma define o tipo de distribuição, observa-se nessas figuras que a distribuição sugerida para modelar os extremos é a Pareto ( $\xi > 0$ ) ou Beta ( $\xi < 0$ ). O P99 não foi utilizado devido a pequena quantidade de amostras.

A partir dos resultados obtidos na GPD (Figuras 6 e 7), verifica-se que os maiores níveis de retorno foram observados no outono (MAM). No entanto, nessa estação do ano (MAM), as curvas do nível de retorno estão mais distantes dos intervalos de confiança (Figura 6b e 7b), indicando que a GPD estimada se ajusta melhor à amostra de excessos do limiar ( $u$ ) nas outras estações do ano. Utilizando o limiar P95, no verão (DJF) por exemplo, espera-se que ocorra uma vez a cada dez anos um dia em que a precipitação seja de 169,58 mm, com intervalo de confiança de 123,30 mm à 215,86 mm; enquanto no outono (MAM), é esperado uma vez a cada dez anos 281,24 mm, com intervalo de confiança de 100,92 mm à 461,56 mm.



**Figura 6** - Período de retorno (anos) das chuvas intensas através da GPD e seus respectivos parâmetros, escala ( $\sigma$ ) - E e forma ( $\xi$ ) - F, utilizando o percentil 90 como limiar ( $u$ ) - L, para: a) DJF, b) MAM, c) JJA e d) SON.

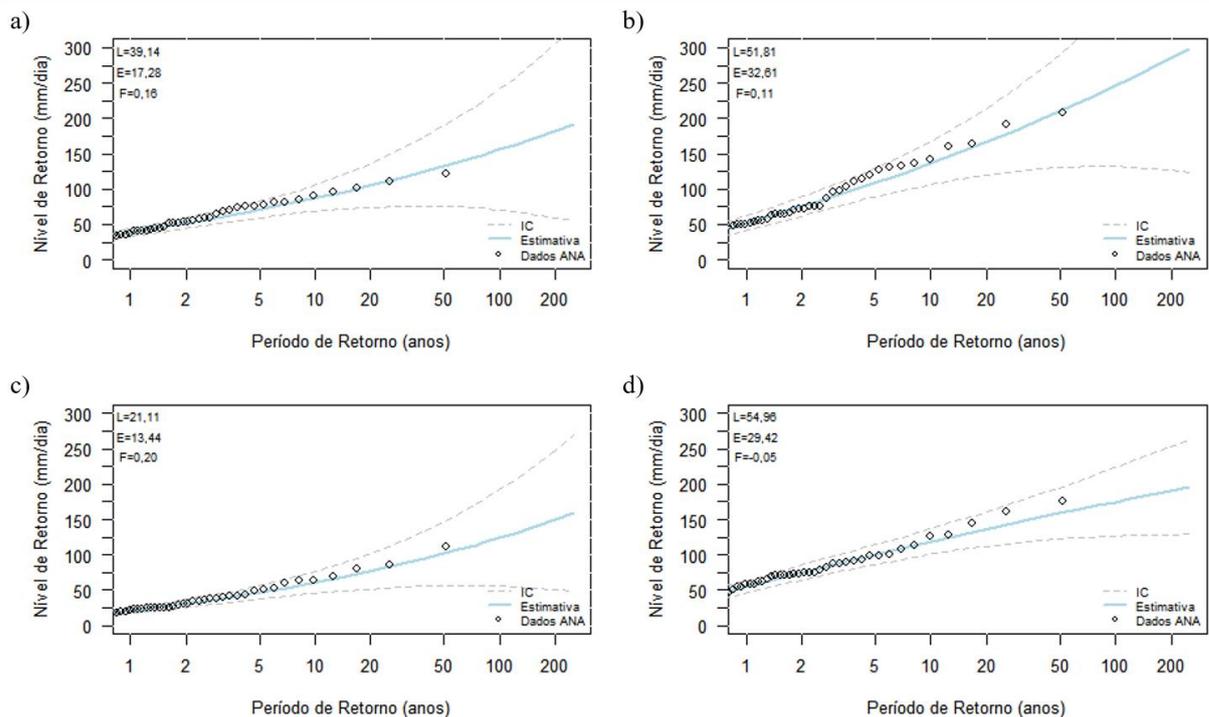
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).



**Figura 7** - Período de retorno (anos) das chuvas intensas através da GPD e seus respectivos parâmetros, escala ( $\sigma$ ) - E e forma ( $\xi$ ) - F, utilizando o percentil 95 como limar (u) - L, para: a) DJF, b) MAM, c) JJA e d) SON. Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

De forma geral, observa-se que as estimativas do parâmetro de forma ( $\xi$ ), de ambas distribuições (GPD e GEV), estão entre -0,5 e 0,5 e, portanto, pode ser aplicado ao método conforme sugere Smith (1985). Na GPD (Figuras 6 e 7), os parâmetros de forma ( $\xi$ ) estão entre -0,07 e 0,03 e, na GEV (Figura 8), entre -0,05 e 0,20. Observa-se na Figura 8 que o parâmetro de forma foi menor que zero na primavera (SON), representando uma distribuição de Fréchet e, maior que zero nas demais estações do ano, o que sugere uma distribuição de Weibull.

Para a modelagem pela distribuição GEV (Figura 8), foram selecionados os máximos anuais da precipitação diária de 1968 a 2018, resultando em uma amostra de 51 máximos anuais. De forma geral, nota-se que as curvas do nível de retorno estão mais próximas dos intervalos de confiança, quando comparadas com a GDP, sugerindo que a GEV apresenta um melhor ajuste.



**Figura 8** - Período de retorno (anos) das chuvas intensas através da GEV e seus respectivos parâmetros, escala  $(\sigma) - E$ , forma  $(\xi) - F$  e localização  $(\mu) - L$ , para: a) DJF, b) MAM, c) JJA e d) SON.

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

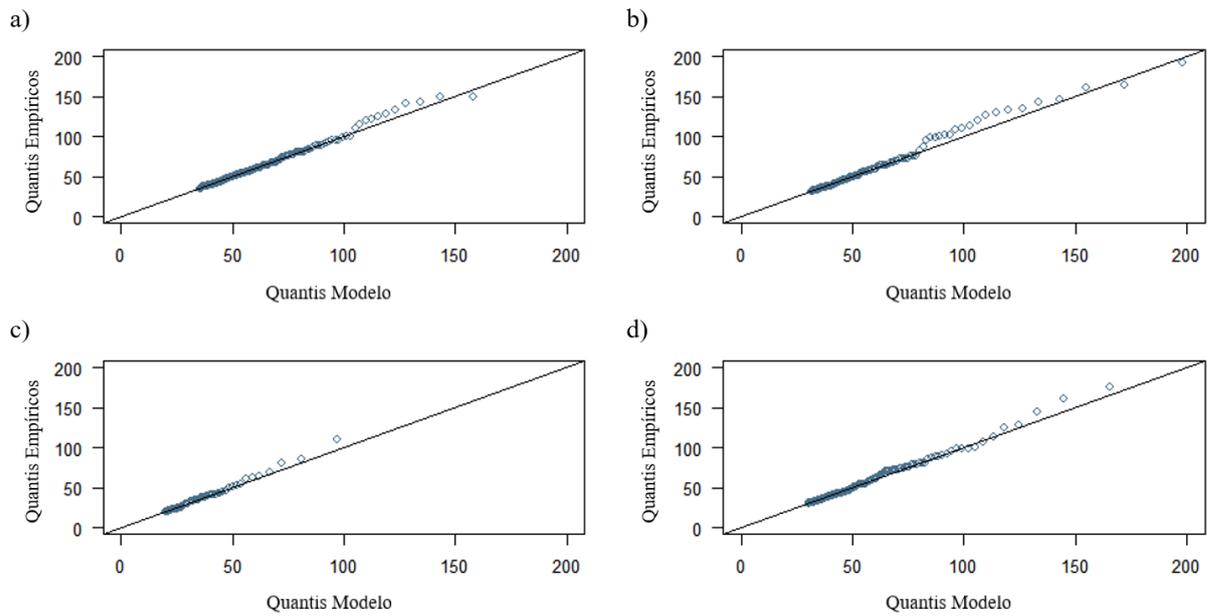
A Tabela 2 mostra as estimativas dos níveis de retorno para períodos de 2, 5, 10, 50 e 100 anos. As estimativas, em sua maioria, foram muito discrepantes quando comparados os resultados das distribuições GEV e GPD. Em geral, os menores valores de precipitação foram observados na estação de inverno (JJA), o que já era esperado, uma vez que é a estação do ano que apresentou menores frequências de eventos extremos. Destaca-se também que, de maneira geral, os maiores níveis de retornos foram observados no outono (MAM), em ambas distribuições, com exceção apenas do período de retorno de 2 anos na GEV. Vale ressaltar que o valor máximo da série temporal analisada (1968-2018) foi registrado nessa estação do ano (MAM), com total diário de 208 mm no dia 22 de março de 1981.

De acordo com os resultados obtidos na GEV em MAM, o registro de 208 mm teria um período de retorno de aproximadamente 50 anos, enquanto para GPD, teria um período de retorno menor que 5 anos. Todavia, ainda não foi observada outra chuva de tal magnitude desde então, o segundo evento mais intenso foi de 191,5 mm, registrado em 09 de março de 2018 e, o terceiro foi de 175,9 mm, registrado em 18 de novembro de 2008. Esses resultados indicam que a distribuição GEV apresenta um melhor ajuste.

**Tabela 2** – Níveis de retorno (mm/dia) para diferentes períodos de retorno (em anos) obtidos através das distribuições GEV e GPD.

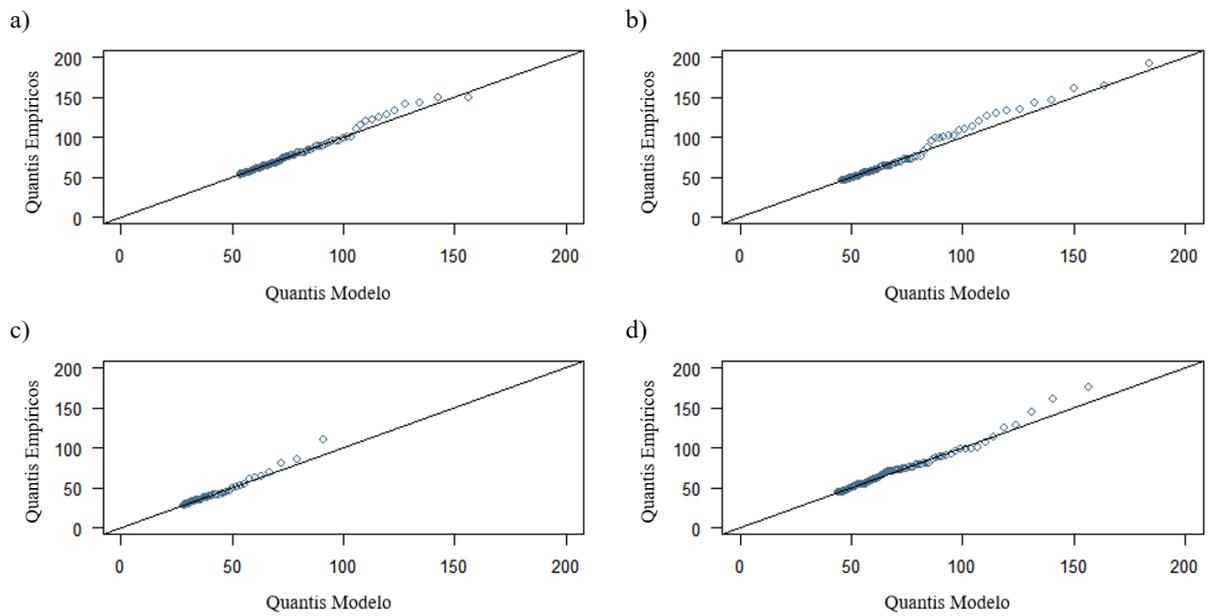
Estação	Método	Tempo de Retorno (anos)				
		2	5	10	50	100
DJF	GPD – P90	138,97	158,33	172,39	203,21	215,73
	GPD – P95	138,32	156,57	169,58	197,34	208,31
	GEV	45,66	68,39	85,83	132,33	155,94
MAM	GPD – P90	197,84	270,66	340,71	572,41	712,31
	GPD – P95	183,39	235,53	281,24	412,80	482,61
	GEV	64,00	104,89	134,84	209,92	245,90
JJA	GPD – P90	92,47	116,22	136,84	195,32	225,93
	GPD – P95	87,75	104,37	117,35	148,92	163,16
	GEV	26,22	44,70	53,53	101,42	123,86
SON	GPD – P90	138,64	166,50	188,82	245,18	271,54
	GPD – P95	135,72	157,28	173,14	208,49	223,10
	GEV	65,63	97,35	117,31	158,50	174,83

As Figuras 9, 10 e 11, apresentam os gráficos QQ-plot para a averiguação da qualidade do ajuste das distribuições GEV e GPD. Em geral, observa-se que os pontos no QQ-plot estão mais concentrados ao longo da reta, com maior distanciamento da reta nas caudas, principalmente na GPD (Figura 9 e 10). Para a GPD, utilizando o P90 (Figura 9) e P95 (Figura 10), os gráficos QQ-plot são similares e nota-se que em todas as estações do ano os pontos vão se distanciando da reta nas caudas; já na GEV, esse mesmo comportamento é observado apenas nas estações de outono (MAM) e primavera (SON). Destaca-se também que os piores ajustes, ou seja, os que apresentaram uma maior quantidade de pontos que se distanciaram da reta no QQ-plot, foram observados no outono (MAM), em ambas distribuições.



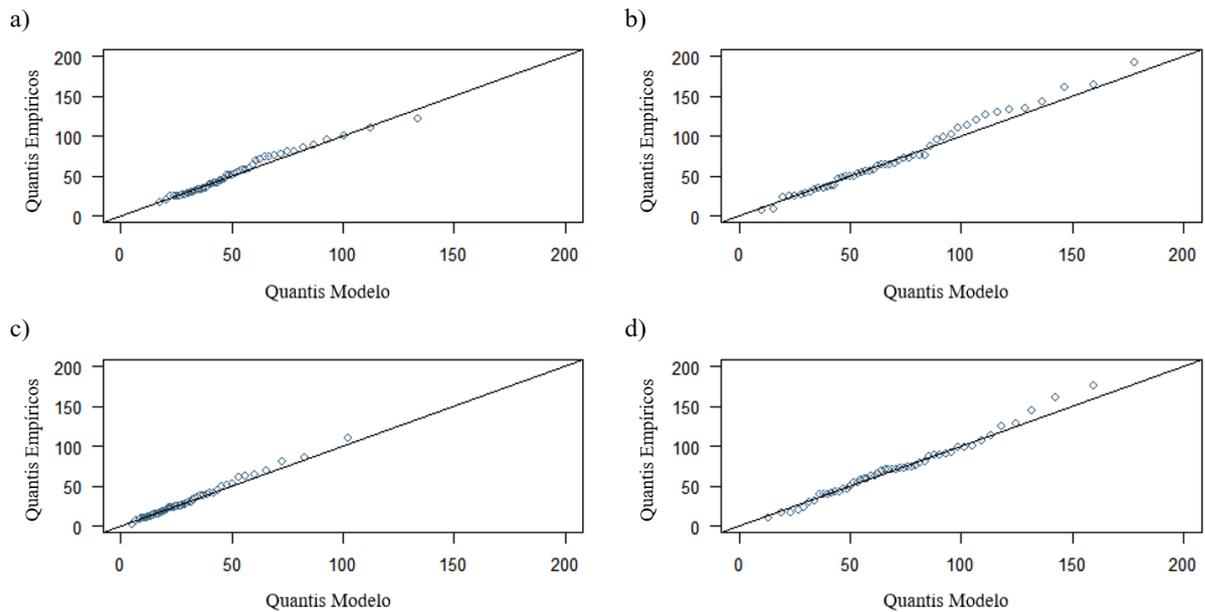
**Figura 9** - QQ-plot para a distribuição GPD utilizando o percentil 90 como limar, para: a) DJF, b) MAM, c) JJA e d) SON.

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).



**Figura 10** - QQ-plot para a distribuição GPD utilizando o percentil 95 como limar, para: a) DJF, b) MAM, c) JJA e d) SON.

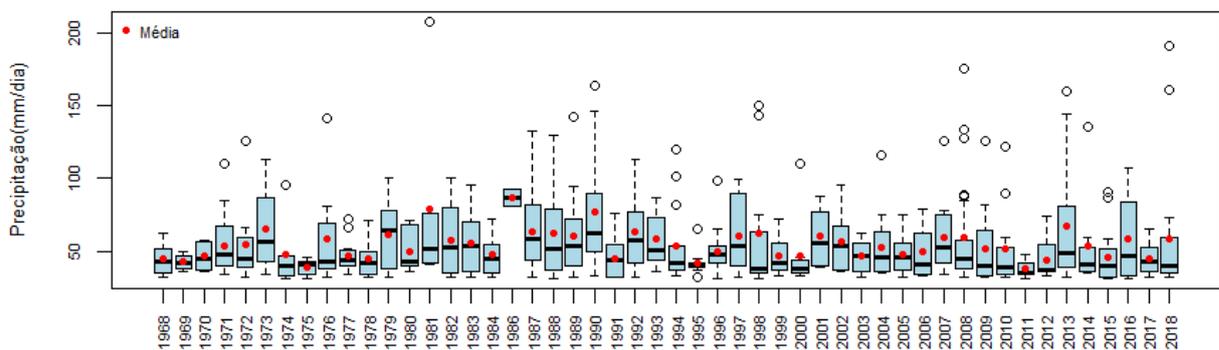
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).



**Figura 11** - QQ-plot para a distribuição GEV, para: a) DJF, b) MAM, c) JJA e d) SON.  
 Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

#### 4.4. SÉRIE TEMPORAL E ANÁLISE DE TENDÊNCIA

Na Figura 12, que mostra os totais diários de precipitação maiores que o percentil 90 ao longo da série temporal, é possível verificar que o maior extremo de precipitação ocorrido na série temporal analisada foi registrado em 1981, com total diário de 208 mm, seguidos dos eventos ocorridos em 2018 (191,5 mm), 2008 (175,9 mm), 1990 (163,6 mm), 2018 (161,2 mm), 2013 (160,4 mm) e 1998 (150,0 mm). Também é possível observar uma concentração maior dos eventos intensos nas três últimas décadas.



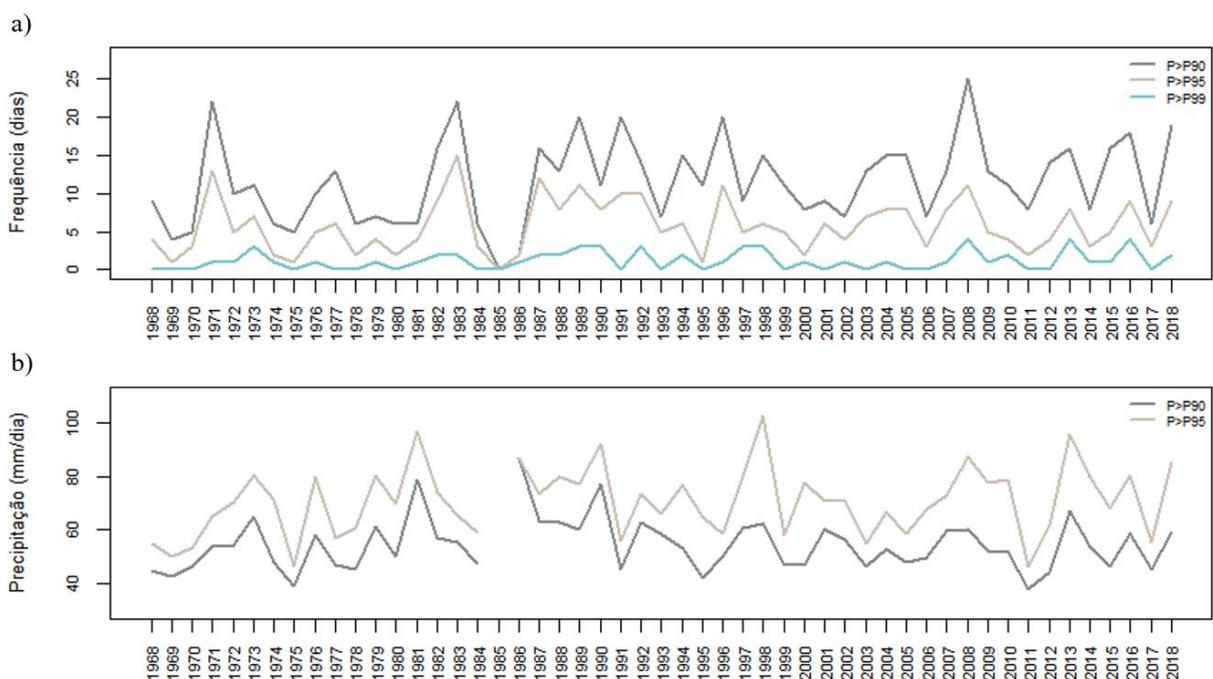
**Figura 12** - Totais diários de precipitação (mm/dia) maiores que o percentil 90.  
 Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Analisando a série temporal da frequência (em dias) das chuvas intensas, apresentado na Figura 13a, observa-se que não existe uma tendência clara na frequência dos eventos para os três casos analisados ( $P > 90$ ,  $P > 95$  e  $P > 99$ ). Também não há uma tendência clara na

intensidade dos eventos, conforme mostra a série temporal das médias das chuvas intensas ( $P>90$ ,  $P>95$ ) (Figura 13b).

No teste de Mann-Kendall (Tabela 3), ao nível de significância de 5%, foi verificado que as médias das  $P>90$  (MP90p), das  $P>95$  (MP90p) e das  $P>99$  não apresentam tendências significativas. Para a frequência dos eventos, foi encontrado tendência positiva significava apenas na frequência dos dias com chuvas maiores que o P90, sugerindo um aumento desses eventos. Essa tendência pode ser explicada pelo aumento dos eventos nas três últimas décadas, conforme mostra a Figura 12.

Para o período analisado (1968 a 2018) foram observados 589 dias com chuvas acima do P90 (31,38mm). Dividindo esses eventos por décadas teremos a seguinte distribuição: de 1968 a 1977, 95 dias; de 1978 a 1987, 87 dias; de 1988 a 1997, 140 dias; de 1998 a 2007, 113 dias; de 2008 a 2017, 135 dias; e em 2018, 19 dias com chuvas acima do P90. Na década em que foi observado o maior número de eventos (1988 a 1997), a média por ano seria de 14 dias com chuvas acima do P90, o que seria abaixo do observado no ano de 2018, com 19 registros. Destaca-se, ainda, que as três últimas décadas registraram maior ocorrência desses eventos, se comparado as duas primeiras, o que justificaria a tendência significativa encontrada no teste de Mann-Kendall (Tabela 3).



**Figura 13** - a) Série temporal da frequência (em dias) das chuvas intensas ( $P>90$ ,  $P>95$  e  $P>99$ ) e b) Série temporal das médias das chuvas intensas ( $P>90$ ,  $P>95$ ).

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

**Tabela 3** - Teste de Mann-Kendall para a média das chuvas intensas e o número de dias com chuvas intensas.

	<b>FP90p</b>	<b>FP95p</b>	<b>FP99p</b>	<b>MP90p</b>	<b>MP95p</b>	<b>MP99p</b>
<b>tau de Kendall</b>	0,23	0,09	0,14	-0,01	0,15	0,08
<b>valor-p</b>	0,02*	0,39	0,19	0,92	0,14	0,52

\*significativo a 5%

#### 4.5. IMPACTOS DAS CHUVAS INTENSAS EM MACAÉ

Para verificar os impactos das chuvas intensas no município de Macaé, foi feita uma pesquisa documental dos 8 maiores totais diários registrados no período de 1968 a 2018, que estão indicados na Tabela 4. Inicialmente, as buscas foram feitas em meios eletrônicos, sendo encontradas informações apenas dos eventos de 2018. Os impactos dos eventos mais antigos foram verificados no acervo do jornal O Debate. Todavia, o jornal não registrou impactos para o evento mais intenso (208 mm), que ocorreu em 22 de março de 1981. Essa falta de registro de impactos pode estar relacionada a urbanização do município, uma vez que o evento ocorreu em 1981.

**Tabela 4** – Maiores totais diários de precipitação registrados no período de 1968 a 2018.

<b>22/03/1981</b>	<b>20/04/1990</b>	<b>12/02/1998</b>	<b>15/02/1998</b>	<b>18/11/2008</b>	<b>18/03/2013</b>	<b>09/03/2018</b>	<b>08/11/2018</b>
208,0 mm	163,6 mm	150,0 mm	150,0 mm	175,9 mm	160,4 mm	191,5 mm	160,0 mm

Dos eventos mais intensos analisados (Tabela 4), o segundo mais antigo foi registrado em 20 de abril de 1990, com total diário de 163,6 mm, o quarto maior acumulado da série temporal. Segundo o jornal O Debate (Figura 14), este evento causou diversos transtornos, deixando o município em estado de calamidade. Em alguns bairros, o lixo acumulado nas valas acabou piorando a situação, não deixando a água escoar livremente e tendo como resultado casas invadidas pela água, além de ruas virarem verdadeiros rios.



Figura 14 – Registro do jornal O Debate com os impactos das chuvas do dia 20 de abril de 1990.

Nos eventos registrados em 12 e 15 de fevereiro de 1998, foram observados totais diários de 150 mm em cada dia, os menores valores dos 8 maiores acumulados diários. Na Figura 15, observa-se alguns impactos causados pela chuva do dia 12, onde os bairros mais atingidos foram o Novo Cavaleiros e o Centro, com ruas totalmente alagadas.



Figura 15 - Registro do jornal O Debate com os impactos das chuvas do dia 12 de fevereiro de 1998.

Na Figura 16, são reportadas algumas das consequências da chuva do dia 15 de fevereiro de 1998. O município ficou em estado de alerta máximo e foi decretado situação de emergência. Milhares de pessoas ficaram desalojadas e desabrigadas, bairros ficaram alagados e houve transbordamento de canal.



Figura 16 - Registro do jornal O Debate com os impactos das chuvas do dia 15 de fevereiro de 1998.

No dia 18 de novembro de 2008 foi registrado um total diário de 175,9 mm, sendo a terceira maior da série analisada. Na Figura 17, observa-se a notícia de alguns transtornos e prejuízos que esse evento causou, principalmente no comércio dos bairros alagados. Os estabelecimentos tiveram que abrir mais tarde ou até mesmo não abrir, contabilizando as perdas de equipamentos e outros materiais. Devido à dificuldade de deslocamento de funcionários, lojas em bairros não alagados também abriram mais tarde ou até mesmo não abriram. O bairro Sol e Mar foi um dos mais atingidos, com ruas próximas ao ginásio poliesportivo totalmente alagadas, isolando seus moradores.



**Figura 17** - Registro do jornal O Debate com os impactos das chuvas do dia 18 de novembro de 2008.

O registro dos impactos das chuvas do dia 18 de março de 2013, quando choveu 160,4 mm, estão apresentadas na Figura 18 e 19, onde causou transtornos no município e o aumento do nível da Lagoa de Imboassica.



Figura 18 - Registro do jornal O Debate com os impactos das chuvas do dia 18 de março de 2013.



Figura 19 - Registro do jornal O Debate com os impactos das chuvas do dia 18 de março de 2013: aumento nos níveis dos rios.

A Figura 20 reporta as principais consequências do evento do dia 9 de março de 2018, onde foi observado um acumulado diário de 191,5 mm. Diversos bairros ficaram alagados, como o Lagomar, Granja dos Cavaleiros, Lagoa e Parque de tubos. Na rede pública de ensino do município, 40 mil alunos de 116 escolas públicas ficaram sem aulas. Além disso, o transporte

público e o sistema de abastecimento de água da região serrana foram afetados. A região serrana, ainda, correu o risco de ficar isolada com a interdição para veículos pesados nas pontes do distrito de Trapiche e Córrego do Ouro.



**Figura 20** - Manchetes de jornais eletrônicos relatando os impactos das chuvas do dia 9 de março de 2018: a) Jornal O Globo e b) G1.

O evento mais recente, dos 8 mais intensos registrados no período de 1968 a 2018, foi observado no dia 08 de novembro de 2018, com total diário de 160 mm. Algumas consequências desse evento estão registradas nas manchetes mostradas na Figura 21, onde milhares de alunos ficaram sem aula e várias pessoas impossibilitadas de chegarem aos seus trabalhos, devido aos diversos pontos de alagamento na cidade. Além disso, algumas pessoas ficaram desabrigadas e desalojadas e parte da ponte do distrito de Trapiche desabou (Figura 22). O município decretou estado de calamidade.



**Figura 21** - Manchetes do jornal eletrônico G1 relatando os impactos das chuvas do dia 08 de novembro de 2018.



**Figura 22** - Parte da ponte de Trapiche que desabou no dia 08 de novembro de 2018.  
Fonte: G1 - Foto: Paulo Henrique Cardoso/InterTV RJ.

## 5. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi analisado o comportamento e a tendência das chuvas intensas no município de Macaé-RJ. Além disso, foi estimado o período de retorno desses eventos e foram relatados os principais impactos dos mesmos sobre o município. Foram considerados como eventos intensos os totais diários iguais ou superiores aos percentis 90, 95 e 99.

Analisando os dados por estação do ano, foi constatado que os eventos mais intensos ocorreram nas estações de transição (outono e primavera). Dos seis maiores eventos da série analisada (1968 a 2018), quatro foram registrados no outono, com totais diários de 208 mm (março de 1981), 191,5 mm (março de 2018), 163,6 mm (abril de 1990) e 160,4 mm (março de 2013); e dois ocorreram na primavera, com totais diários de 175,9 mm (novembro de 2008) e 160,0 mm (novembro de 2018).

As maiores frequências (número de dias) de eventos de chuvas intensas foram observadas no verão (236 e 23 ocorrências, respectivamente), para o percentil 90 e o percentil 99. Para o percentil 95, foi a primavera que obteve o maior número de registros, com 84 eventos, seguido do outono, com 76.

Utilizando a Teoria dos Valores Extremos, por intermédio das distribuições GEV e GPD, foi estimado o período de retorno das chuvas intensas. De acordo com as estimativas das duas distribuições, espera-se que os eventos mais intensos ocorram no outono. De forma geral, os resultados obtidos sugerem que a distribuição que melhor se ajusta aos dados é a GEV, que aponta que os dois maiores eventos já observados (208 mm e 191,5 mm) têm um período de retorno de aproximadamente 50 anos, no outono.

Na análise de tendência, utilizando o teste de Mann-Kendall, só foi observado tendência significativa (a 5%) na frequência dos dias com totais diários iguais ou superiores ao percentil 90. A tendência foi positiva, sugerindo aumento dos eventos, o que está de acordo com os dados observados, pois foi verificado que as três últimas décadas registraram maior número de ocorrências em comparação às duas primeiras.

Com relação aos impactos sobre o município de Macaé, foram observados vários transtornos sociais e econômicos, desde alunos impedidos de ir à escola até prejuízos ao comércio local, além de centenas de desabrigados e desalojados. Diante disso, espera-se que este estudo possa contribuir em um planejamento estratégico melhor das diversas atividades humanas que sofrem com os efeitos adversos das chuvas intensas.

Os resultados obtidos neste trabalho levam a sugerir as seguintes propostas para trabalhos futuros: i) Analisar os sistemas meteorológicos associados às chuvas intensas no

município de Macaé-RJ; ii) Fazer um estudo de caso das chuvas de novembro de 2008 e iii) Analisar as curvas de intensidade-duração-frequência de precipitação em Macaé-RJ.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BACK, A. J.; BRUNA, E. D.; VIEIRA, H. J. Tendências climáticas na produção de uva na região dos Vales da Uva Goethe. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, p.497-504, 2012.
- BAUTISTA, E. A. L.; ZOCCHI, S. S.; ANGELOCCI, L. R. A distribuição generalizada de valores extremos aplicada ao ajuste dos dados de velocidade máxima do evento em Piracicaba, São Paulo, Brasil. **Rev. Mat. Estat.**, São Paulo, v.22, n.1, p.95-111, 2004.
- BITENCOURT, N. L. R.; ROCHA, I. O. Percepção das Populações Costeiras sobre os Efeitos dos Eventos Adversos no Extremo Sul de Santa Catarina – Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 14, n. 1, p. 15-25, 2014.
- BOCHEVA, L.; MARINOVA, T.; SIMEONOV, P.; GOSPODINOV, I. Variability and trends of extreme precipitation events over Bulgaria (1961–2005). **Atmospheric Research**, v. 93, p. 490–497, 2009.
- BOTELHO, M. H. C. **Águas de chuva: engenharia das águas pluviais nas cidades**. São Paulo: Editora Edgard Blucher LTDA., 1998.
- BOUHID ANDRÉ, R. G.; MARQUES, V. S.; PINHEIRO F. M. A.; FERRAUDO, A. S. Identificação de Regiões Pluviometricamente Homogêneas no Estado do Rio De Janeiro, Utilizando-se Valores Mensais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n.4, 501 - 509, 2008.
- BRASIL. Ministério das Cidades. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margens de Rios**. Brasília, DF, 2007.
- BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. **Anuário brasileiro de desastres naturais: 2011**. Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. Brasília, DF: CENAD, 2012.
- CALHEIROS, A. J. P. **Sistema de previsão imediata da precipitação: o hydrotrack**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2008. 129p.
- CARVALHO, L. M. V.; JONES, C. Zona de Convergência do Atlântico Sul. In: CAVALCANTI, I.F.A., FERREIRA, N.J.; JUSTI DA SILVA, M.G.A.; SILVA DIAS, M.A.F. (eds.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo, Oficina de Textos, p. 95-109, 2009.
- CARVALHO, L. M. V., JONES, C., LIEBMANN, B. The South Atlantic Convergence Zone: Intensity, Form, Persistence, and Relationships with Intraseasonal and Interannual Activity and Extreme Rainfall. **Journal of Climate**, v. 17, p. 88-108, 2004.
- CASTRO, A. L. C. SECRETARIA NACIONAL DE DEFESA CIVIL. GLOSSÁRIO DE DEFESA CIVIL ESTUDOS DE RISCOS E MEDICINA DE DESASTRES, 2ª Edição (1998).

CEPED UFSC – CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2012**: volume Rio de Janeiro, 2ª ed, Florianópolis, 2013.

COLES, S. **An introduction to statistical modelling of extreme values**. London: Springer, p.208, 2001.

CRISTO, S. S. V. **Análise e Susceptibilidade a Riscos Naturais Relacionados às Enchentes e Deslizamentos do Setor Leste da Bacia Hidrográfica do Rio Itacorubi, Florianópolis -Sc**. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestrado). Departamento de Geociências do Centro de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

DERECZYNSKI, C. P.; OLIVEIRA, J. S.; MACHADO, C. O. Climatologia da Precipitação no Município Do Rio De Janeiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, n.1, p. 24-38, 2009.

ENDER, M; MA, T. Extreme Value Modeling of Precipitation in Case Studies for China. **International Journal of Scientific and Innovative Mathematical Research (IJSIMR)**, v. 2, n.1, p. 23-36, 2014.

FETTER, R.; OLIVEIRA, C. H.; STEINKE, E. T. Um Índice para Avaliação da Variabilidade Espaço-Temporal das Chuvas no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 2, p. 225-237, 2018.

FIGUEIREDO, N. M. A. **Método e metodologia na pesquisa científica**. 2a ed. São Caetano do Sul, São Paulo, Yendis Editora, 2007.

FISHER, R. A.; TIPPETT, L. H. C. Limiting forms of the frequency distribution of the largest or smallest member of a sample. **Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society**, Cambridge, v. 24, n. 2, p. 180-190, 1928.

GARCIA, M. O. *et al.* Usos da Pesquisa Documental em Estudos sobre Administração Pública no Brasil. **Teoria e Prática em Administração**, v. 6, n. 1, p. 40-68, 2016.

GEMMER, M. *et al.* Trends in Precipitation Extremes in the Zhujiang River Basin, South China. **Journal of Climate**, American Meteorological Society, v. 24, p. 750-761, 2011.

GOUVEA, R. L.; CAMPOS, C. C.; MENEZES, J. T.; MOREIRA, G. F. Análise de Frequência de Precipitação e Caracterização de Anos Secos e Chuvosos para a Bacia do Rio Itajaí. **Revista Brasileira de Climatologia**, Ano 14, v. 22, 2018.

HOUZE Jr, R. A. Mesoscale convective systems. **Reviews of Geophysics**, v. 42, n. 4, p. 1-43. 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Coordenação de População e Indicadores Sociais. **Síntese de indicadores sociais: uma análise das condições de vida da população brasileira**. Rio de Janeiro, 2016.

JUSTI DA SILVA, M. G. A. **A Frequência de Fenômenos Meteorológicos na América do Sul: Climatologia e Previsibilidade**. Tese (Doutorado em engenharia mecânica) – Coordenação dos Programas de Pós Graduação em Engenharia. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003.

KENDALL, M. G. **Rank Correlation Methods**. 4 ed. London: Charles Griffin, 1975.

MANN, H. B. Non-parametric tests against trend. **Econometrica**, 13p, 1945.

KOBIYAMA, M. *et al.* **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. Curitiba: Ed. Organic Trading, 2006.

KODAMA, Y. Large-Scale Common Features of Subtropical Precipitation Zones (the Baiu Frontal Zones, the SPCZ, and the SACZ) Part I: Characteristics of Subtropical Frontal Zones. **Journal of Meteorological Society of Japan**, v. 70, n.4, p. 813-835, 1992.

KOTZ, S; NADARAJAH, S. **Extreme Value Distributions: Theory and Applications**. London; Imperial College Press, 2000.

LEMOS C. F.; CALBETE, N. O. Sistemas Frontais que atuaram no litoral de 1987 a 1995. **Climanálise Especial**, Edição Comemorativa de 10 anos. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliEsp10a/14.html>>. Acesso em: 11 out. 2019.

LIMA, K. C.; SATYAMURTY, P.; FERNÁNDEZ, J. P. R. Large-scale atmospheric conditions associated with heavy rainfall episodes in southeast Brasil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 101, n. 1- 2, p. 121-135, 2010.

MADDOX, R. A. Mesoscale Convective Complexes. **Bul Amer Meteorol Soc.**, v.61, n.11, p.1374 – 1387, 1980.

MADDOX, R. A. Large-Scale Meteorological Conditions Associated with Midlatitude, Mesoscale Convective Complexes. **Mon Weather Rev.**, v.111, p.1475 – 1493, 1983.

MANN, H. B. Nonparametric test against trend. **Econometrika**, v.13, p.245-259, 1945.

MARCELINO, E. V.; NUNES, L. H.; KOBIYAMA, M. Banco de dados de desastres naturais: análise de dados globais e regionais. **Caminhos de Geografia**, v.6, n.19, p. 130-149, 2006.

MARCELINO, E. V. **Desastres Naturais e Geotecnias**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). São José dos Campos, INPE-15208-PUD/193., 2008.

MATOS, K. S. L.; VIEIRA, S.V. Pesquisa educacional: o prazer de conhecer. Fortaleza: Demócrito Rocha, 2001.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O.; OLIVEIRA, C. P. Variabilidade da Circulação da Grande Escala Sobre o Atlântico Subtropical. In: XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2004, Fortaleza. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2004.

NÉTO, N. C. **Análise Espaço-Temporal dos Eventos de Precipitação Intensa no Estado do Rio De Janeiro**. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestrado). Laboratório de Meteorologia do Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Macaé, 2018.

NEVES, M. G. F. P.; TUCCI, C. E. M. Sólidos na Drenagem Urbana: Aspectos Conceituais. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, vol. 13, n. 3, p. 125-135, 2008.

NOBRE, C. A. Ainda sobre a Zona de Convergência do Atlântico Sul: a importância do oceano Atlântico. *Revista Climanalise*, v. 3, n. 4, p. 30-33, abr. 1988.

NOGUÉS-PAEGLE, J., MO, K. C. Alternating Wet and Dry Conditions over South America During Summer. *Monthly Weather Review*, v. 125, p. 279-291, 1997.

NUNES, L. H.; VICENTE, A. K.; CANDIDO, D. H. Clima da Região Sudeste do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A., FERREIRA, N. J.; JUSTI DA SILVA, M. G. A.; SILVA DIAS, M. A. F. (eds.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo, Oficina de Textos, p. 243-258, 2009.

OLIVEIRA, A. **Interações entre sistemas frontais na América do Sul e a convecção da Amazônia**. INPE-4008-TDL/239. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, p. 115, 1986.

OLIVEIRA, P. T.; LIMA, K. C.; SILVA, C. M. S. Synoptic environment associated with heavy rainfall events on the coastland of Northeast Brazil. *Advances in Geosciences*, v. 35, p. 73, 2013.

OLIVEIRA, D.; BORROZZINO, E. Sazonalidade das tendências de temperatura do ar e precipitação pluvial no estado do Paraná. *Agrometeoros*, Passo Fundo, v.26, n.1, p.139-144, 2018.

PICKANDS, J. Statistical inference using extreme order statistics. *Annals of Statistics*, v. 3, n. 1, p. 119–131, 1975.

QUADRO, M. F. L. *et al.* Análise climatológica da precipitação e do transporte de umidade na região da ZCAS através da nova geração de reanálises. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.27, n.2, 152 - 162, 2012.

QUADRO, M. F. L., PEZZI, L. P., ROSA, E. B. O. Climanálise e o monitoramento da ZCAS nos últimos 30 anos. *Climanalise – Edição Especial de 30 Anos*. Ano 04 – Número 01 – ISSN 1679-9747, p. 19-25, 2016.

RAMOS, P. L.; MOALA, F. A. A aplicação da distribuição exponencial geométrica estendida para modelagem de dados pluviométricos. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.29, n.4, 613 - 620, 2014

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes De Precipitação Na América Do Sul: Uma Revisão Bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.25, n.2, 185 - 204, 2010.

SANTOS, E. B. **Modelagem Estatística e Atribuições dos Eventos de Precipitação Extrema na Amazônia Brasileira**. Tese (Doutorado em Ciências Climáticas). Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

SANTOS, E. B.; LUCIO, P. S.; SILVA, C. M. S. Analysis of return periods for maximum daily precipitation in the Brazilian Amazon. **Journal of Hydrometeorology**, v. 16, p. 973–984, 2015(a).

SANTOS, E. B.; LUCIO, P. S.; SILVA, C. M. S. Análise de tendência da precipitação diária na Amazônia Brasileira. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 8, n. 4, p. 1041-1052, 2015(b).

SELUCHHI, M. E.; BEU, C. M. L.; ANDRADE, K. M. Características das Frentes Frias com Potencial para Provocar Chuvas Intensas na Região Serrana de Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, p. 361-376, 2016.

SIQUEIRA, J. R.; MARQUES, V. S. Estudo de Caso de Sistemas Convectivos de Mesoescala Intensos Ocorridos entre os Dias 02 e 03 de Janeiro de 2013 no Estado do Rio de Janeiro: Características Estruturais e Termodinâmicas. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, Vol. 39, n. 2, p. 57-76, 2016.

SILVA DIAS, M. A. F. Sistemas de Mesoescala e Previsão de Tempo a Curto Prazo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 2, p. 133-150, 1987.

SILVA DIAS, M. A. F.; JUSTI DA SILVA, M. G. A. Para Entender Tempo e Clima. In: CAVALCANTI, I. F. A., FERREIRA, N.J.; JUSTI DA SILVA, M. G. A.; SILVA DIAS, M. A. F. (eds.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo, Oficina de Textos, p. 15-21, 2009.

SILVA DIAS, M. A. F.; ROZANTE, J. R.; MACHADO, L. A. T. Complexos Convectivos de Mesoescala na América do Sul. In: CAVALCANTI, I. F. A., FERREIRA, N. J.; JUSTI DA SILVA, M. G. A.; SILVA DIAS, M. A. F. (eds.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo, Oficina de Textos, p. 181-194, 2009.

SILVA, W. L.; DEREZYNSKI, C. P. Caracterização Climatológica e Tendências Observadas em Extremos Climáticos no Estado do Rio de Janeiro. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, v. 37, n.2, p. 123-138, 2014.

SMITH, R. L. **Maximum likelihood estimation in a class of nonregular cases**. *Biometrika*, London, v. 72, p. 67-90, 1985.

TAVARES, A. C; SILVA, A. C. F. Urbanização, chuvas de verão e inundações: uma análise episódica. **Climatologia e Estudos da Paisagem**, Rio Claro, v. 3, n.1, p. 4-15, 2008.

VIANELLO, R. L.; MAIA, L. F. P. G, Estudo Preliminar da Climatologia Dinâmica do Estado de Minas Gerais. In: I CONGRESSO INTERAMERICANO DE METEOROLOGIA, Brasília. **Anais...** p. 185-194, 1986.

XAVIER, T. M. B. S.; XAVIER, A.F. S. Caracterização de períodos secos ou excessivamente chuvosos no estado do Ceará através da técnica dos Quantis: 1964-1998. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São Paulo, v.14, n.2, p. 63-78, 1999.

YUE, S.; PILON, P.; CAVADIAS, G. Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. **Journal of Hydrology** 259:254-271. 2002.