



## PRECIPITAÇÃO EM RIO GRANDE – RS, BRASIL (1913 – 2016): ANÁLISE DESCRITIVA E DA VARIABILIDADE

Tamires da Rosa Silva<sup>1</sup> & Éder Leandro Bayer Maier<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande – FURG, CEP 96203-900, Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brasil. ([tamires\\_rosa@outlook.com.br](mailto:tamires_rosa@outlook.com.br)).

<sup>2</sup>Instituto de Ciências Humanas e da Informação. Av. Itália s/n, Campus Carreiros, Pavilhão 6, sala 25E, CEP 96203-900, Rio Grande – RS, Rio Grande do Sul, Brasil. ([edermaier@gmail.com](mailto:edermaier@gmail.com)).

### RESUMO

A precipitação é um importante fator que contribui nos fluxos de energia e massa, visto que influencia no balanço hídrico, térmico e conseqüentemente na dispersão da biosfera no planeta. Portanto, a investigação da variabilidade das precipitações em diferentes escalas espaço-temporal irá auxiliar no planejamento ambiental. Nesse contexto, o trabalho tem por objetivo analisar a variabilidade temporal (1913 a 2016) da precipitação na cidade do Rio Grande, localizado no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil e compreender os fatores remotos que controlam a ocorrência de secas ou chuvas a cima da média. Nas análises da variabilidade temporal das precipitações foram utilizadas estatística descritiva e inferencial para mensurar as medidas de tendência central, dispersão e identificar os ciclos temporais da variabilidade da precipitação associada a fatores remotos. Os dados são totais mensais da precipitação observada entre 1913 e 2016 na estação Rio Grande. Na análise descritiva foi mensurado os totais anuais, média mensal, desvio padrão e distribuição de frequência. Além disso, foi subtraído as médias mensais das amostras, obtendo as anomalias da precipitação, as quais foram comparadas com os índices climáticos (SOI, PDO e SAM), usando a análise de dependência por regressão linear, com a TSM (grade global) e Pressão Atmosférica (grade global) a partir da mensuração dos índices de correlação. A análise espectral (*Wavetel*) foi usada para identificar os ciclos temporais da precipitação. Os resultados das análises descritivas demonstraram que a precipitação mensal em Rio Grande varia entre 0,3 mm

e 551,8 mm com uma média de 102,1 mm e desvio padrão de 66,1 mm; o total anual da precipitação indicou uma variação entre 625 mm (mínimo) e 2.261,9 mm (máximo), possuindo um acúmulo anual médio de 1.226 mm; a média mensal tem uma variação entre 71,2 mm e 126,7 mm, sendo referentes aos meses de dezembro e setembro, respectivamente; a mensuração do desvio padrão para os três períodos, entre 1920-1950, 1950-1980 e 1980-2010, identificou que o verão e outono foram as estações que apresentaram maior e menor desvio padrão, respectivamente. A variabilidade temporal da precipitação em Rio Grande ocorre nas escalas interanual e interdecenal e estão associadas ao fenômeno ENOS, PDO e SAM, sendo predominante a ocorrência de chuvas acima da média/secas concomitantes ao El Niño/La Niña, fase positiva/negativa da PDO e fase negativa/positiva do SAM. As anomalias superiores a 56,4 mm foram consideradas eventos extremos da precipitação, e foi identificado com a técnica dos quartis 219 meses de seca e 210 meses de chuvas excessivas no período entre 1913 e 2016. Entretanto, os impactos ambientais oriundos da variabilidade climática podem ser mitigados e compensados a partir de um planejamento ambiental proativo e eficiente, que integre as variações naturais da precipitação.

**Palavras-chave:** precipitação; variabilidade; wavelet; Rio Grande.



## PRECIPITATION IN THE CITY OF RIO GRANDE (1913 – 2016) (RS BRAZIL): DESCRIPTIVE AND VARIABILITY ANALYSIS

### ABSTRACT

Rainfall is an important factor that contributes to the energy and mass flows, since it influences the hydric and thermal balance, and consequently in the dispersion of the biosphere on the planet. Therefore, the investigation of rainfall variability at different space-time scales will aid in environmental planning. In this context, the goal of this study is to analyze the temporal variability (1913 to 2016) of the rainfall in the city of Rio Grande and to understand the remote factors that control the occurrence of droughts or rains above the average. The analyses of the temporal variability of rainfalls used descriptive and inferential statistics to measure the central tendency and dispersion and to identify temporal cycles of the rainfall variability associated with remote factors. The data are the monthly totals of rainfall observed between 1913 and 2016 at Rio Grande station. In the descriptive analysis were measured the annual totals, monthly average, standard deviation, and frequency distribution. In addition, monthly averages of the samples were subtracted, obtaining the rainfall anomalies, which were compared with the climatic indexes (SOI, PDO, and SAM), using the linear regression dependency analysis with the SST (global grid) and Atmospheric Pressure (global grid) from the measurement of correlation indexes. Spectral analysis (*Wavetel*) was used to identify the temporal cycles of rainfall. The results of the descriptive analysis show that the monthly rainfall in the city of Rio Grande varies between 0.3 mm and 551.8 mm with an average of 102.1 mm and a standard deviation of 66.1 mm; the annual total of rainfall indicated a variation between 625 mm (minimum) and 2,261.9 mm (maximum), with an annual buildup average of 1,226 mm; the monthly average has a variance between 71.2 mm and 126.7 mm, referring to the months of December and September, respectively; the measurement of the standard deviation for the three periods, between 1920-1950, 1950-1980, and 1980-2010, identified that summer and autumn were the seasons with the highest and lowest standard deviation, respectively. The

temporal variability of the rainfall in the city of Rio Grande occurs in the interannual and interdecadal scales and are associated to the ENSO, PDO and SAM phenomena, being predominant the occurrence of rains above the average/droughts concomitant to El Niño/La Niña, positive/negative phase of the PDO and negative/positive phase of SAM. Anomalies greater than 156,4 mm were considered extreme events of rainfall, and it was identified, with the use of the quartiles method, 219 months of drought and 210 months of excessive rains in the period between 1913 and 2016. However, the environmental effects from climate variability can be mitigated and compensated by a proactive and efficient environmental planning that integrates the natural variations of rainfall.

**Key-words:** precipitation; variability; wavelet; Rio Grande.

### INTRODUÇÃO

O estudo do clima terrestre abrange complexos processos dos sistemas oceano-atmosfera-litofera, nesse contexto, a chuva é um importante fator que contribui nos fluxos de energia e massa, no balanço hídrico, térmico e na dispersão da biosfera no planeta.

A variabilidade da precipitação ocorre em diferentes escalas espaço-temporal como, por exemplo, entre a escala global e a local ou entre as escalas geológica e a humana. Entretanto, são as mudanças climáticas dos últimos séculos que tem causado impactos nos recursos ambientais, na distribuição das chuvas e na variabilidade da temperatura. A associação entre o aquecimento global e a ineficiência do planejamento ambiental tem aumentado a vulnerabilidade ambiental frente à variabilidade da precipitação (IPCC, 2014).

As observações históricas do clima evidenciam um acréscimo na frequência de ocorrência de eventos extremos de precipitações elevadas no Sul e Sudeste do Brasil, nos últimos 30 anos, bem como neste período também aconteceram as grandes secas que atingiram a



região da Amazônia no ano de 2005 e 2010, predominando ciclos temporais nas escalas interanual e interdecal (MARENGO, 2014).

A variabilidade climática exerce influência sobre as populações ao longo do tempo, uma vez que suas variações podem comprometer o desenvolvimento da vida, através das alterações no regime de chuvas, que poderá impactar as populações com períodos de chuvas excessivas e secas intensas e prolongadas. Além disso, os eventos climáticos extremos de chuvas, marés meteorológicas, vendavais e ciclones aumentam a necessidade de estudos científicos sobre as mudanças climáticas devido à possibilidade de prever esses fenômenos e criar medidas mitigadoras e compensatórias (MARENGO, 2009).

Segundo o Relatório do IPCC (2014), eventos extremos abarca chuvas excessivas, secas, ondas de calor, inundações costeiras, entre outros. Com aquecimento global há projeções de aumento da frequência e intensidade dos eventos extremos, sendo um dos fatores que pode causar riscos ambientais nos sistemas ambientais costeiros, especialmente os eventos extremos de precipitação, porque há uma elevada densidade demográfica, relevo com baixa declividade.

Nesse contexto, Rio Grande - RS, Brasil é uma cidade costeira que sofre impactos dos ciclos temporais de chuvas excessivas ou secas. As inundações, alagamentos e enchentes causam impactos na área urbana e rural e geralmente estão associados ao evento El Niño. Já em períodos de seca ocorrem prejuízos na agricultura com a alteração dos ciclos de germinação, crescimento, floração e colheita, além dos impactos na fauna e flora e causa maior concentração de gases e sólidos contaminantes ou poluentes na atmosfera que contribuem para a proliferação de doenças respiratórias.

Cabe salientar, que a compreensão da variabilidade da precipitação pode ser uma valiosa

ferramenta para um planejamento ambiental eficiente dos sistemas ambientais costeiros da cidade do Rio Grande – RS, Brasil. Visto que parte dos impactos ambientais ocasionados pela variação da precipitação podem ser minimizados, pois um planejamento ambiental proativo e eficiente pode aumentar a resiliência ambiental, assim como novas ações podem mitigar e compensar os impactos ambientais deflagrados por eventos meteorológicos, especialmente os extremos.

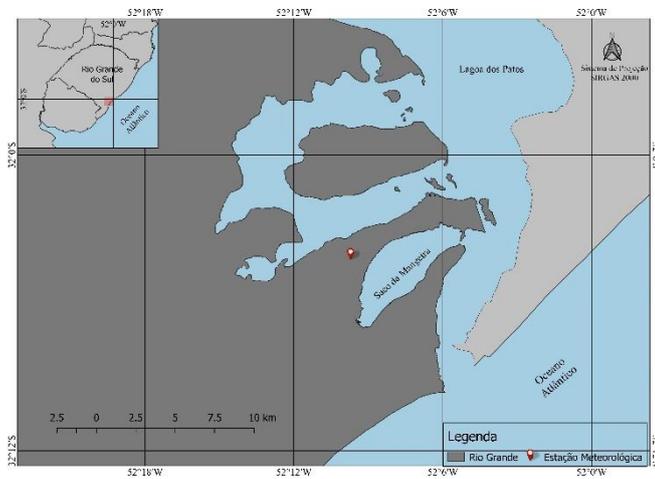
Este artigo tem como objetivo analisar a variabilidade temporal (1913 a 2016) da precipitação em Rio Grande – RS, Brasil e compreender os processos climáticos em escala sinótica, que ocasionam eventos extremos de precipitação, utilizando a estatística descritiva e inferencial para mensurar as medidas de tendência central, de dispersão e identificar os ciclos temporais da variabilidade da precipitação associada a fatores remotos.

A cidade do Rio Grande – RS está localizado na região Sul do estado do Rio Grande do Sul, Brasil sobre planície costeira (Figura 1). Tem a paisagem dominada pelo complexo lagunar Lagoa dos Patos, Mirim, e Mangueira e seus limítrofes são: Pelotas, Capão do Leão, Arroio Grande, Santa Vitória do Palmar e São José do Norte. O município possui uma área da unidade territorial entorno de 2.709,522 Km<sup>2</sup>, com população estimada no ano de 2016 é de 208.641 habitantes (IBGE, 2010).

O clima da região Sul do Brasil apresenta características de temperatura e precipitação que sofrem influência da localização geográfica, topografia e configuração da circulação atmosférica subtropical. A precipitação média ao sul varia entre 1.299 mm e 1500 mm, ao norte 1500 mm a 1800 mm com maior intensidade de chuvas ao nordeste do estado. Os



principais fatores associados às precipitações no Rio Grande do Sul são os sistemas frontais, ciclones e frentes frias, Complexos Convectivos de Mesoescala, sistemas ciclônicos em níveis médios, bloqueios atmosféricos e ainda dos sistemas de circulação local como brisas marítimas e terrestres (REBOITA et al., 2010). Segundo Grimm (2009), na maior parte do Rio Grande do Sul os regimes de precipitação são considerados bimodais ou trimodais, característicos da região de transição entre climas tropicais e subtropicais.



**Figura 1** – Mapa de localização da área de estudo, Rio Grande – RS, Brasil.. Fonte: Laboratório de Climatologia e Cartografia – FURG.

No sudeste do Rio Grande do Sul, as chuvas são mais intensas no inverno, configurando um regime de latitudes médias, onde as precipitações geralmente ocorrem pela passagem de sistemas frontais e associados a ciclones extratropicais migratórios. No Rio Grande do Sul a maior concentração de chuvas ocorre no trimestre de agosto, setembro e outubro, com exceção do Sudeste, que ocorre o maior índice de precipitação nos meses de julho, agosto e setembro. A precipitação média ao sul varia entre 1.299 mm e 1500 mm, ao norte 1500 mm a 1800 mm com maior intensidade de chuvas no nordeste do estado (GRIMM, 2009).

## METODOLOGIA

Foram utilizados dados da Estação Meteorológica do Rio Grande/INMET para a análise da variabilidade temporal da Precipitação na cidade do Rio Grande - RS, Brasil os dados são observações do período de 1913 a 2016, totalizando 103 anos. Eles foram disponibilizados gratuitamente pelo Instituto de Oceanografia da Universidade Federal do Rio Grande - FURG.

Destaca-se que a Estação Meteorológica Rio Grande/INMET já esteve instalada em três locais na cidade do Rio Grande – RS, Brasil. Atualmente, a Estação Meteorológica Rio Grande/INMET está localizada na Universidade Federal do Rio Grande – FURG, seguindo as coordenadas  $32^{\circ}04'43''S$  e  $52^{\circ}10'03''O$ , a 2 m de altitude.

A Estação Meteorológica Automática n° A802, está operante desde o ano de 2010, sob responsabilidade do Instituto de Oceanografia/FURG em convênio com o oitavo Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia. Para a coleta dos dados, são realizadas medidas horárias da taxa de precipitação, através do pluviômetro marca ARG100, com a unidade de medida em milímetros. São coletados dados de variáveis atmosféricas como: radiação solar direta, temperatura, umidade relativa, precipitação, pressão atmosférica, intensidade da velocidade do vento e direção da velocidade do vento.

No período entre 1989 – 2010 estava em operação uma Estação Convencional n° 83995, operada pelo Laboratório de Meteorologia da FURG em convênio com o Oitavo Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia. Os dados neste período eram disponibilizados através de três coletas diárias da taxa de precipitação, com a utilização de um pluviômetro galvanizado com a unidade de medida em milímetros. Além da precipitação era observado variáveis como: pressão atmosférica, temperatura de



bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, temperatura máxima, temperatura mínima, evaporação, precipitação, número de horas de insolação, velocidade e direção do vento, visibilidade e nebulosidade (REBOITA; KRUSCHE, 2018).

No período entre 1961–1989 a Estação Convencional n° 83995 encontrava-se instalada nas coordenadas 32°02' S 52°06 O, que corresponde ao centro histórico da cidade do Rio Grande, adjacente a Praça Tamandaré (REBOITA; KRUSCHE, 2018). A mesma foi transferida em uma distância de 8.2 km.

No período 1913-1961, a estação meteorológica convencional localizava-se na Barra do Rio Grande, mas não há informações exatas das coordenadas geográficas.

### **Estatística Descritiva**

Foi utilizado análises da estatística descritiva para a caracterização da série temporal da precipitação, usando medidas de tendência central e variação. As análises compreendem primeiramente a mensuração dos totais mensais da precipitação, esses valores foram agrupados em total anual da precipitação. Desta maneira, foi possível identificar o total da precipitação na série analisada a partir do somatório da precipitação para cada ano.

A média aritmética ( $\bar{x}$ ) é compreendida como a medida de centro, encontrada pela adição dos valores e divisão do total pelo número de valores (TRIOLA, 2005). A média mensal da precipitação foi mensurada a partir da média de todos os janeiros, fevereiro até dezembro.

A variabilidade da série proposta foi calculada a partir da anomalia e desvio padrão. Para calcular a anomalia da precipitação foi subtraída a média mensal de cada amostra, a fim de eliminar o ciclo anual. Estes dados de anomalia foram utilizados nas análises descritivas.

Distribuição de frequência em quartis foi utilizada para indicar eventos de seca ou chuvas excessivas, com a frequência do 1° quartil e 4° quartil, respectivamente. Os quartis fazem a divisão do conjunto dos dados em quatro subconjuntos, de modo que 25% dos elementos localizem-se abaixo do limiar do Q1 e 25% acima do limiar do Q4 (ASSIS, 1996). O primeiro quartil, por exemplo, seleciona todos os registros de meses mais secos e o quarto quartil seleciona os meses com maior volume de chuvas, e o segundo e terceiro quartil não são utilizados por representar pequena variação em torno da média.

### **Estatística Inferencial**

Análise de dependência por regressão linear consiste em determinar uma função matemática que busca descrever o comportamento de determinada variável chamada dependente, baseado nos valores de uma ou mais variáveis denominadas independentes (CORRAR et al., 2009).

Os principais módulos de variabilidade climática da região subtropical foram relacionados com a análise de dependência por regressão linear a partir da série de anomalia, para que seja observada a influência e comportamento dos índices de variabilidade da precipitação na série estudada. Foram utilizados os índices de variabilidade climática descritos a seguir: Oscilação Sul (SOI), Oscilação Decadal do Pacífico (PDO) e Modo Anular do Sul (SAM).

A análise de correlação visa medir a força ou grau de relacionamento entre as variáveis (CORRAR et al., 2009). A mesma pode ser entendida, quando analisamos uma coleção de dados amostrais emparelhados e determinamos se parece haver uma relação entre as duas variáveis. O coeficiente de correlação linear tem como função medir a intensidade da relação linear entre os valores quantitativos emparelhados x e y de uma amostra (TRIOLA, 2005).



Foi utilizada a técnica de correlação, a qual vai mensurar a sincronia das variáveis de ponto de uma região ou do globo, para identificar a influência dos módulos de variabilidade climática com a precipitação na cidade do Rio Grande – RS, Brasil.

A mensuração dos índices de correlação entre a Temperatura da Superfície do Mar (TSM Global) e a anomalia da precipitação na cidade do Rio Grande – RS, Brasil foi realizada a partir da relação entre toda a série de precipitação e todas as séries da TSM, desde 1913 a 2016, integrando desta maneira todas as estações do ano, as quais foram analisadas

sazonalmente (verão, outono, inverno, primavera).

Os dados da TSM são médias mensais do período entre 1913 e 2016. Este conjunto de dados é disponibilizado gratuitamente pela ICOADS (conjunto global de dados sobre atmosfera oceânica internacional), o qual dispõe dados de superfície, que abrange os últimos três séculos, contendo produtos do resumo mensal em grade globais de 2x2 (HUANG, et al., 2014).

Os índices de correlações entre a anomalia da precipitação e a anomalia da pressão atmosférica foi mensurado utilizando toda a série temporal (1948 a 2016) e posteriormente, separando as estações sazonais (verão, outono, inverno, primavera), conforme descrito anteriormente.

As médias mensais da pressão atmosférica são disponibilizados gratuitamente pelo NCEP/NCAR e são do projeto de reanálise I, em uma grade com resolução de 2,5° de latitude e longitude (144x73 pontos). Os dados da pressão atmosférica são modelados para o nível médio dos mares, a fim de maximizar a representação da variabilidade climática e minimizar as influências do relevo (KALNAY et al., 1996).

## Wavelet

O termo *Wavelet* surgiu em meados dos anos 80, a partir de trabalhos realizados por pesquisadores franceses, tendo como ideia principal que a análise *waveletes* “consiste em aproximar uma função por uma combinação linear de funções básicas (*wavelita*), obtendo assim uma boa representação da função original tanto no domínio das frequências como no domínio temporal”. (CHIERICE, 2003, p 71)

A mesma representa uma ferramenta matemática que é utilizada para a decomposição de um sinal, através de escalas (dilatação e compressão) e translação de *wavelet*  $t(mãe)$ . A aplicação da transformada de *Wavelet Morlot* permite distinguir as frequências dominantes (escalas ou períodos) para cada um dos senóides e a forma como elas evoluem numa amostragem (CHIERICE, 2003).

Sendo assim a Transformada de *Wavelet Morlot* (TWM) irá contribuir na observação e identificação dos ciclos temporais da variabilidade climática de precipitação da série estudada do período de 1913 a 2016. Para maiores informações sobre as equações de Wavelet consultar: Daubechies, *etl.,al* (1992) e Mallat, (1998).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados apresentados a seguir serão divididos em: 1) análise descritiva da série histórica da precipitação; 2) análise da variabilidade da precipitação e 3) análise dos fatores que controlam da variabilidade da precipitação.

### Análise descritiva

As análises da série histórica de precipitação da cidade do Rio Grande entre 1913 e 2016 será demonstrada a partir da estatística descritiva.



A precipitação mensal em Rio Grande – RS, Brasil (Figura 2) apresenta uma variação entre 0,3 mm e 551,8 mm com uma média de 102,1 mm e desvio padrão de 66,1 mm, sendo possível observar períodos com chuva acima da média como, por exemplo, em 1940, 1990 e 2010, e períodos com volumes abaixo de 100 mm, como os anos 1916, 1945 e 2005.

como, foram registrados anos com volumes abaixo de 750 mm (1917, 1933, 1943 e 1988).

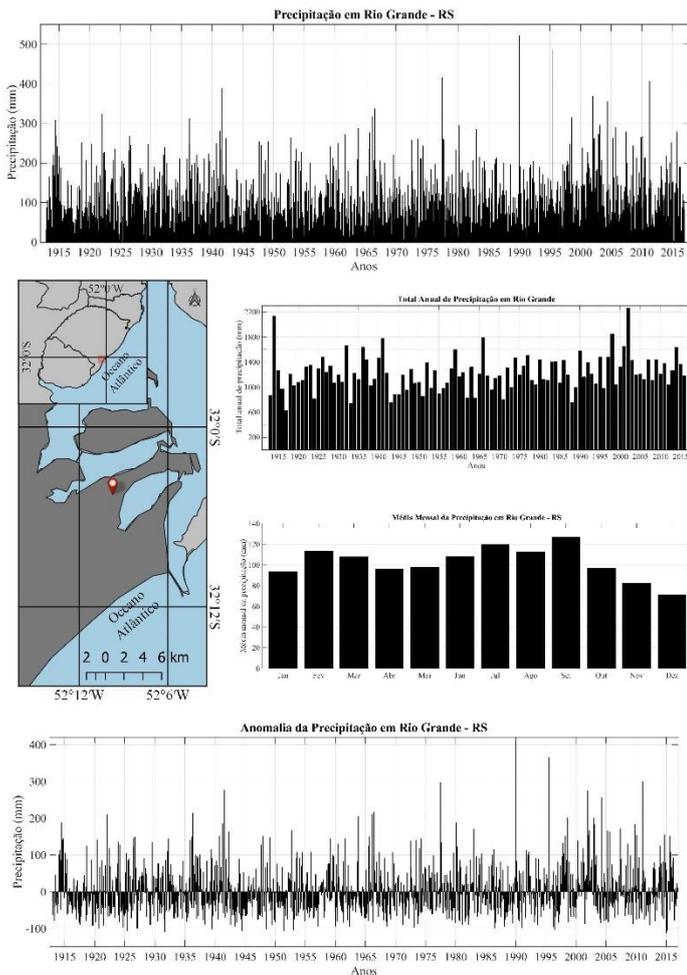
A média mensal de precipitação (Figura 2) varia entre 71,2 mm e 126,7 mm com ênfase para o mês de setembro, que apresenta os maiores volumes das precipitações acima de 120 mm e dezembro com precipitações abaixo de 80 mm, não havendo estação seca na cidade do Rio Grande. No verão ocorre mais evaporação, o que diminui a disponibilidade de água na superfície de solo e no inverno, ocorrem os maiores totais mensais e a evaporação diminui.

### Análise da variabilidade

A anomalia da precipitação (Figura 2) evidencia a variabilidade da precipitação em escalas temporais diferentes da sazonal, bem como torna possível avaliar que a cidade do Rio Grande – RS, Brasil sofre com ciclos recorrentes de variações das chuvas. Nesse contexto, destacam-se os períodos com anomalias positivas acima de 400 mm e os períodos com anomalias negativas abaixo 100 mm como, por exemplo, os anos 1941 e 1998, respectivamente.

A influência dos fatores remotos e locais no controle das anomalias da precipitação ocorrem predominantemente na escala interdecenal, especialmente associadas aos eventos de El Niño e La Niña, porém o ENOS não explicam todos os casos anômalos da série.

O El Niño ocorre normalmente com maior frequência na primavera/verão, nesta condição ocorre à intensificação das chuvas que ocasionam anomalias positivas da precipitação. Bem como, os períodos mais secos podem estar ligados ao fenômeno La Niña, que poderá acarretar impactos significativos na flora e fauna. Da mesma maneira que os impactos do fenômeno ENOS podem prejudicar as atividades antrópicas, especialmente os eventos extremos, os quais ocorrem mais frequentemente nos eventos fortes



**Figura 2** -- Total mensal, total anual, média mensal e anomalia da precipitação em Rio Grande – RS, Brasil (1913-2016). Fonte: Autora (2019).

O total anual da precipitação (Figura 2) varia entre 625 mm e 2.261,9 mm. E apresenta um acúmulo anual médio de 1.226 mm e desvio padrão de 280 mm, demonstra que ocorreram períodos com precipitações excessivas que chegaram a atingir magnitudes superiores a 2000 mm/ano (em 1914 e 2002). Bem



do ENOS, como no ano de 1998, onde o estado do Rio Grande do Sul registrou anomalias positivas da precipitação, ocasionando grandes enchentes no El Niño de 1997/1998 (BERLATO E FONTANA, 2003).

A utilização do método de distribuição de frequências em quartis viabilizou a identificação do número de eventos extremos registrados na série da precipitação. Visto que o primeiro quartil (Q1) indica os eventos extremos de secas, o segundo e terceiro quartil os valores que se encontram em torno da média, sem a ocorrência de eventos extremos e o quarto quartil (Q4) os eventos extremos de chuvas excessivas.

A distribuição de frequência em quartis da série de precipitação mostrou que os eventos extremos de seca (Q1) são identificados por valores anômalos menores que 56,4 mm, e no período entre 1913-2016 ocorreram 219 meses de eventos extremos de seca. A frequência de ocorrência do Q2 é de 498 meses, sendo a maior frequência entre os 4 quartis, este resultado é oriundo da técnica de cálculo da média e das anomalias visto que o menor valor anômalo é igual ao valor negativo da média mensal, enquanto os maiores valores registrados podem exceder 3 ou 4 vezes a média mensal. O terceiro quartil (Q3) tem frequência de 321 meses. Cabe ressaltar que o Q2 e Q3 agrupam ocorrências da precipitação entorno da média, não caracterizando eventos extremos. O quarto quartil (Q4) representa eventos de extremos de chuvas excessivas, com frequência de 210 meses no período entre 1913 e 2016, o qual é caracterizado pelo registro de valores anômalos superiores a 56,4 mm.

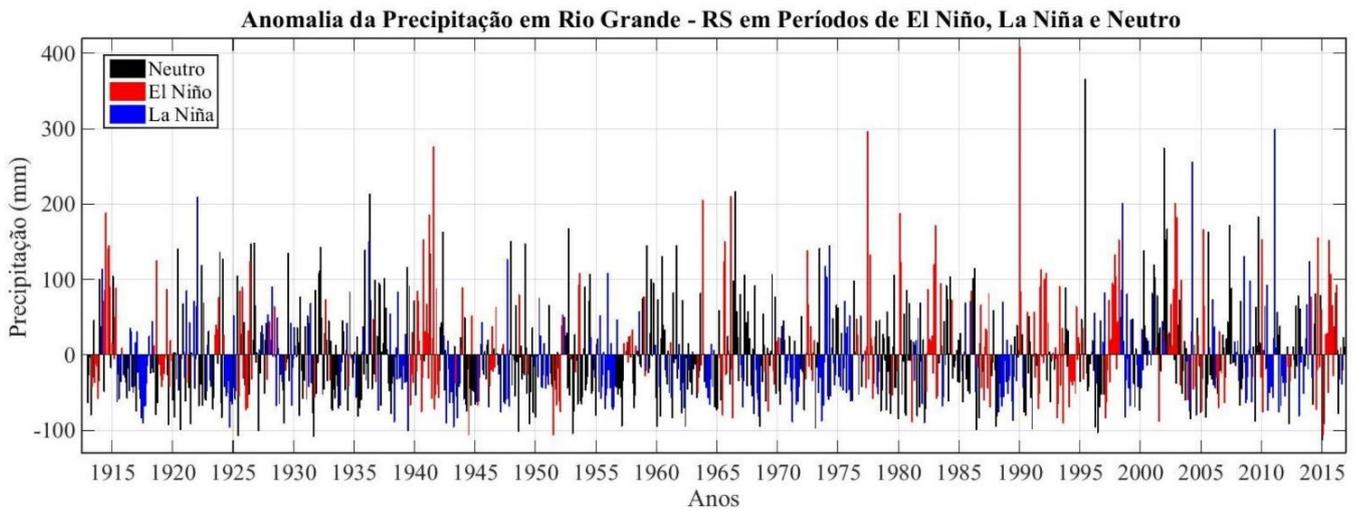
Parte da ocorrência dos eventos extremos da precipitação está associada aos fatores remotos que controlam a variabilidade interdecenal e decenal na região subtropical da América do Sul. Por isso, são mostradas as anomalias da precipitação em Rio Grande – RS, Brasil classificadas de acordo com as fases quente e fria do ENOS e PDO.

Na Figura 3, a cor vermelha indica os meses de ocorrência do fenômeno El Niño, sendo observada a predominância de chuvas acima da média (anomalias positivas) na cidade do Rio Grande - RS, Brasil como, por exemplo, os anos de 1982/1983 e 1997/1998 em que os eventos de El Niño foram considerados fortes. Segundo Berlato e Fontana (2003), foi considerado o El Niño mais longo dos últimos 50 anos, bem como, destacaram-se a anomalia da precipitação superior a 400 mm (1998) que ocorreu em período de El Niño.

A La Niña representada na figura 3 pela cor azul intensifica as condições de estabilidade atmosférica, gerando predominantemente precipitações abaixo da média. Durante a La Niña, predomina o registro de precipitações abaixo da média (anomalias negativas) na cidade do Rio Grande- RS, Brasil. Destacam-se os eventos de 1973/1974 e 1988/1989, os quais foram considerados fortes, com intensidade maior de outubro a março (BERLATO; FONTANA, 2003). A Cidade registrou anomalia da precipitação inferior a -50 mm (1988).

Cabe ressaltar que há um predomínio da relação de entre seca/chuva acima da média com a ocorrência de La Niña/El Niño, mas ela não explica toda a variabilidade da precipitação em Rio Grande - RS, Brasil.

Outro fator remoto que amplifica os efeitos da variabilidade ENOS é a Oscilação Decadal do Pacífico.



**Figura 16** - Anomalia da Precipitação em Rio Grande – RS, Brasil em Períodos de El Niño, La Niña e Neutro. Fonte: Autora (2019).

Na figura 4, o índice (PDO) está representado em vermelho a fase positiva e a fase negativa em azul, o qual caracteriza regimes quentes e frios na anomalia da precipitação na cidade do Rio Grande – RS, Brasil. Nos períodos com anomalia positiva sugere influência na intensificação das chuvas na cidade do Rio Grande – RS, Brasil como, por exemplo, o ano de 2015, que apresenta a fase positiva da PDO. Os períodos com anomalias negativas (frios) estarão impactando a cidade nos eventos extremos de seca, como, por exemplo, no ano de 1975 e 2010.

A figura 5 identifica o modo anular de oscilação (SAM) do período entre 1957 e 2016 e sua influência na precipitação da cidade do Rio Grande – RS, Brasil. A cor vermelha indica fase positiva e cor

azul indica a fase negativa do índice SAM, onde a fase positiva (negativa) pode influenciar na anomalia negativa (positiva) respectivamente da precipitação local. As anomalias encontradas na cidade do Rio Grande, demonstram que o índice SAM pode estar influenciando na variabilidade da precipitação em períodos como 1991 e 2000, por exemplo, porém estas magnitudes acima e abaixo da média podem estar

relacionadas com o fenômeno ENOS visto que eles ocorrem em escala de tempo intraanual e interanual.

Ressalta-se que o índice SAM na sua fase negativa tem maior influência austral e na fase positiva ocorre maior circulação círculo polar próximo da antártica. Visto que, Aquino (2012), menciona que durante o inverno o vórtice ciclônico contribui para um alto índice do SAM (fase positiva) o qual se caracteriza por baixa temperatura polar, e que nos meses correspondente a um baixo SAM denominado de fase negativa.

Porém, estas pequenas correlações encontradas evidenciam que os índices de variabilidade climáticas, Oscilação Sul (SOI), por exemplo, indicam que as precipitações se mantêm em grande parte da série associadas as médias mensais, no entanto as maiores amplitudes (anomalia positiva) e menores amplitudes

(anomalia negativa) estão associadas a influência do fenômeno El Niño e La Niña, todavia a influência do fenômeno não explica toda a variabilidade da série.

A Oscilação Decadal do Pacífico (PDO), também indica que as precipitações se concentram entorno da média e que as maiores amplitudes da precipitação (anomalia positiva) e as menores amplitudes (anomalia



negativa), podem estar associadas às variações na Temperatura da Superfície do Mar, fase fria e quente.

### Análise dos fatores que controlam da variabilidade da precipitação

Na identificação das correlações entre a TSM

influenciam na variabilidade para precipitação em Rio Grande – RS, Brasil.

Na (Figura 6) é apresentado os índices de correlações entre a precipitação em Rio Grande – RS, Brasil e a TSM, no período entre 1913 a 2016, sendo que as correlações positivas indicam que as

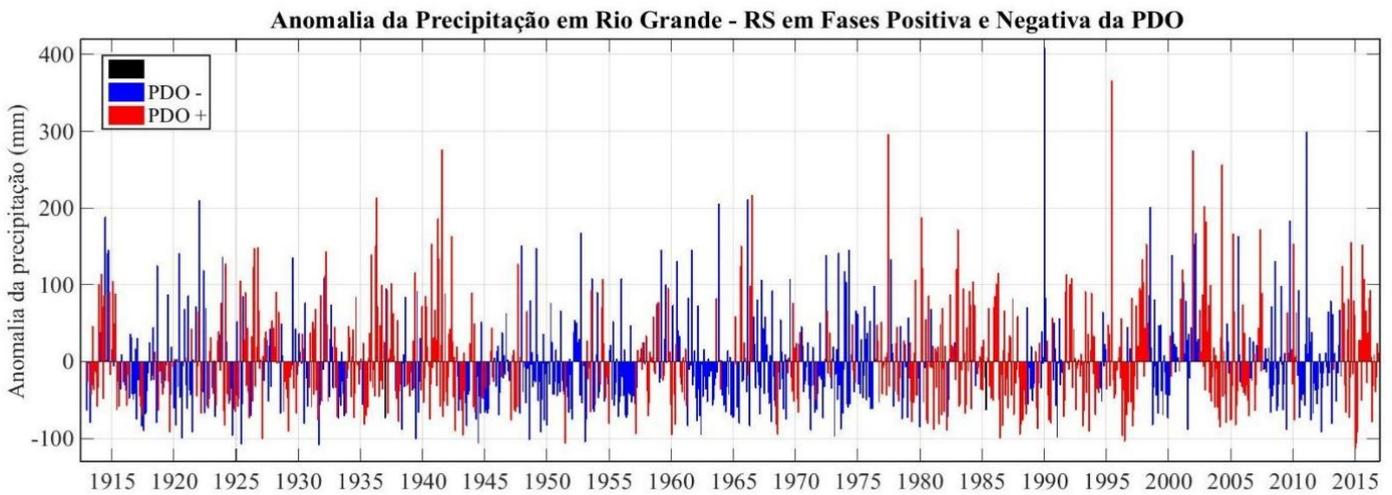


Figura 17 - Anomalia da Precipitação em Rio Grande – RS, Brasil em Fase Positiva e Negativa da PDO. Fonte: Autora (2019).

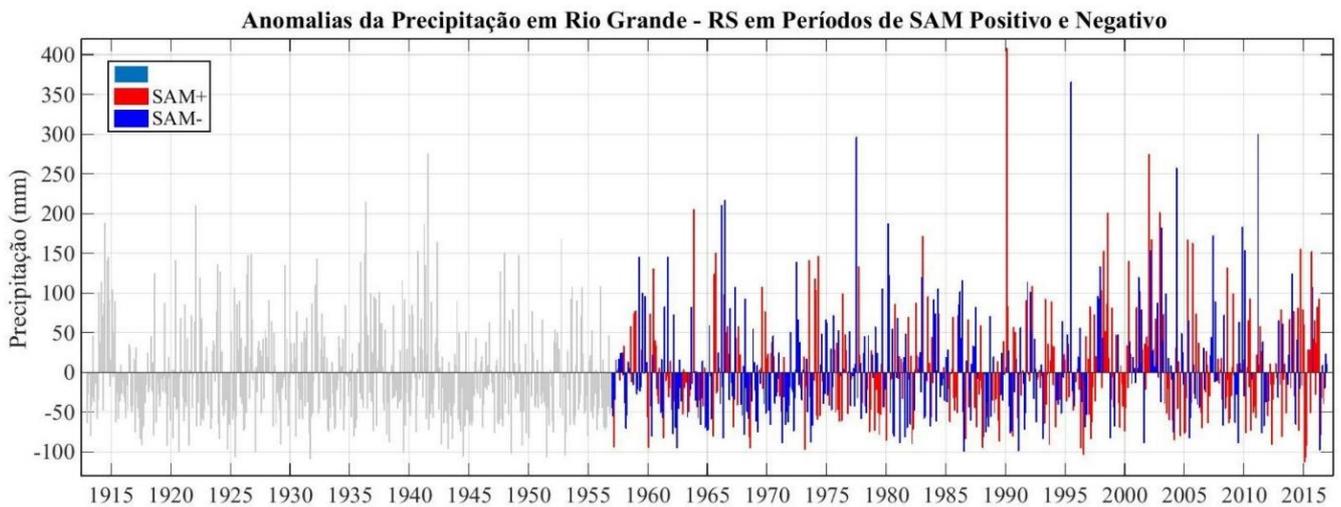


Figura 18- Anomalia da Precipitação em Rio Grande – RS, Brasil em Períodos de SAM positivo e Negativo. Fonte: Autora (2019).

global e a precipitação na cidade do Rio Grande - RS, Brasil foi realizada uma relação entre toda a série de precipitação e todas as séries da TSM, desde 1913 a 2016, integrando desta maneira todas as estações do ano. De maneira a evidenciar os fatores remotos que

temperaturas mais altas, do que a média, estão predominantemente relacionadas às anomalias positivas da precipitação, com ênfase na região 3.4 do fenômeno ENOS. Visto que o evento El Niño é reconhecido, quando se verifica um aquecimento das



águas simultaneamente com a diminuição da pressão atmosférica no Pacífico. Já as temperaturas a baixo da média estão associadas às anomalias negativas da precipitação. As correlações na região Niño 3.4 evidenciam o fenômeno La Niña que ocorre quando a um resfriamento das águas e aumento na pressão atmosférica na região leste do Pacífico (BERLATO; FONTANA, 2003).

Em altas latitudes, sobre o Oceano Pacífico, na área do fenômeno da Oscilação Antártica, as correlações indicam que as temperaturas abaixo da média estão predominantemente associadas a anomalias negativas da precipitação e vice-versa. Isso pode estar relacionado aos sistemas frontais mais intensos e frequentes, que geram o anticiclone polar em latitudes médias, causando estabilidade e diminuição das precipitações.

Observando os índices de correlação para as quatro estações sazonais é possível identificar que a influência das altas latitudes ocorre mais intensamente no inverno, visto que as precipitações estão associadas quase que exclusivamente aos Sistemas Frontais, e o ENOS possui maior controle da precipitação na primavera, principalmente no mês de novembro. Flach e Grimm (2010) ressaltam que a influência do ENOS na América do Sul tem uma variação através do ciclo anual e que na primavera austral, a mesma se destaca no sudeste da América do Sul, acarretando um aumento (decréscimo) de eventos extremos na Bacia do Paraná-Prata nos episódios de El Niño (La Niña). Grimm (2009) ainda evidencia que o modo interanual de variabilidade, demonstra forte correlação com as anomalias de TSM associadas à ENOS, indicando que a primavera é a estação mais favorável as teleconexões com oceano Pacífico Tropical, em virtude dessas vigorosas teleconexões, o ENOS tem maior influência e impacto sobre as precipitações no Sul do Brasil na primavera.

A figura 7 expõe os índices de correlações positivas e negativas entre a precipitação na cidade do Rio Grande- RS, Brasil e a pressão atmosférica, no período entre 1913 e 2016. Nesta análise, as correlações negativas da região 3.4 do ENOS evidenciam que o fenômeno El Niño nesta condição (menor circulação atmosférica e maior pressão), acarretara em desintensificação dos ventos alísios e maior magnitude das precipitações no Sul do Brasil. O contrário também é verdadeiro com relação à Lã nina que acarreta na intensificação dos ventos alísios e menor magnitude das precipitações no Sul do Brasil. Deve-se considerar que ocorra a relação biespacial esperada entre a correlação negativa (região 3.4 Niño) e correlação positiva (região 4 Niño).

Na observação das quatro estações sazonais, a relação biespacial das correlações positiva (negativa) permanece, contudo no verão as correlações estão mais associadas ao ENOS e as contribuições das monções através da intensificação dos alísios de nordeste, apresentando pouca influência austral. No outono e inverno, se mantém a influência do ENOS, porém ocorre maior contribuição das altas latitudes e maior entrada dos Sistemas Frontais, elevando a magnitude das precipitações. A primavera é considerada a estação que ocorre a maior variabilidade das precipitações e que tem maior influência do fenômeno ENOS, estando mais evidente a correlação negativa da região 3.4 e maior contribuição nas anomalias positivas (negativas) das precipitações na cidade do Rio Grande.

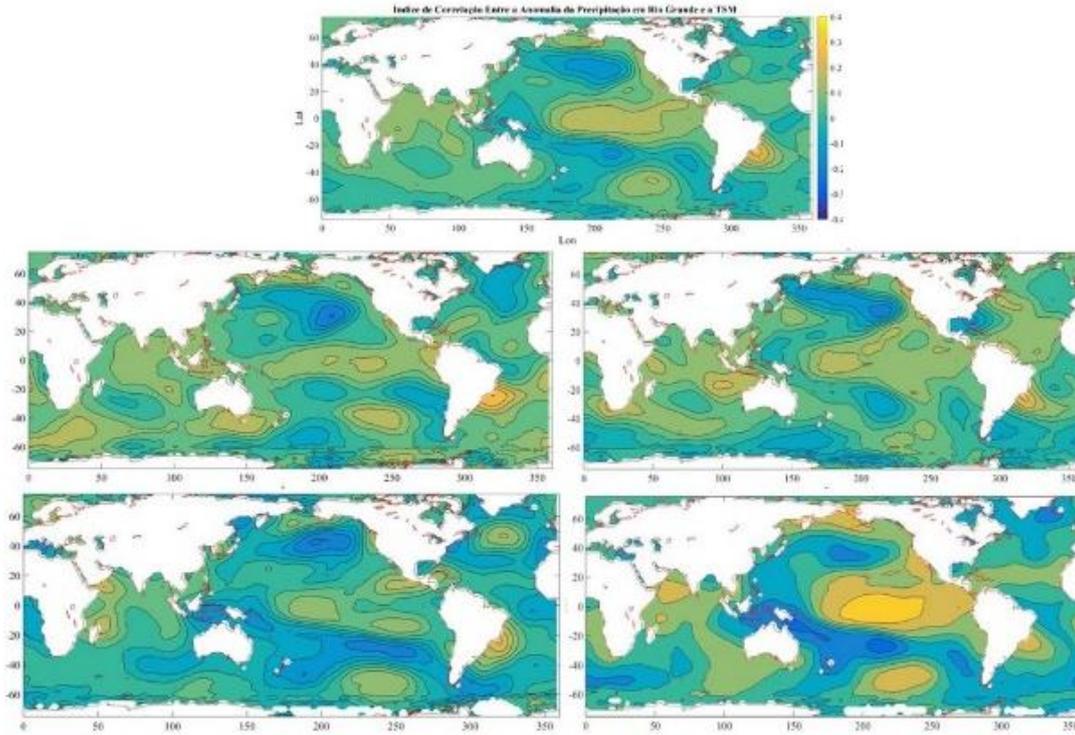


Figura 20- Índice de Correlação entre a Anomalia da Precipitação em Rio Grande – RS, Brasil e a TSM, Global. Estações Sazonais A) Verão B) Outono C) Inverno e D) Primavera. Fonte: Autora (2019).

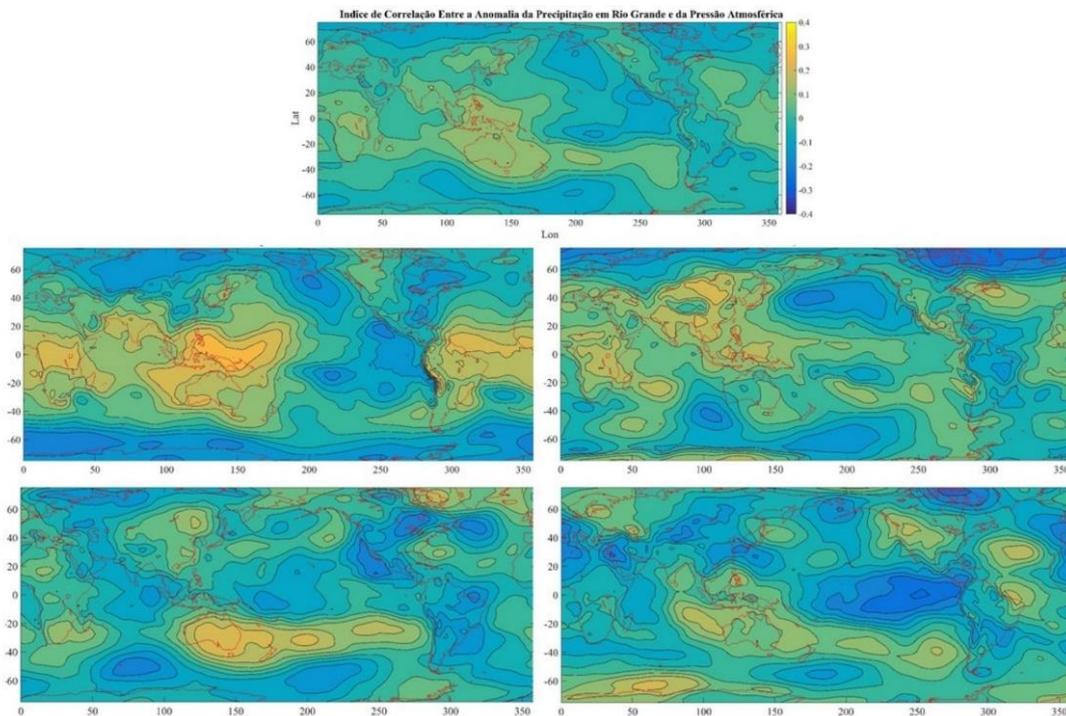


Figura 19- Índice de Correlação entre a Anomalia da Precipitação em Rio Grande – RS, Brasil e a Pressão Atmosférica. Estações Sazonais A) Verão B) Outono C) Inverno e D) Primavera. Fonte: Autora (2019).



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

As precipitações em Rio Grande não apresentam uma distribuição sazonal, visto que não há registro de estação seca ou chuvosa. As chuvas são bem distribuídas ao longo do ano e possui magnitudes da precipitação anual com média de 102 mm, máxima de 551,8 mm e mínima de 0,3 mm. Já as médias mensais variam entre 71,2 mm e 126,7 mm.

As análises do desvio padrão nos períodos 1920-1950, 1950-1980 e 1980-2010 possibilitou identificar que esta variabilidade ocorre com maior frequência no verão e inverno, sendo os fatores remotos que influenciam parcialmente a anomalia da precipitação na cidade do Rio Grande, com destaque da variabilidade interanual que está relacionada ao fenômeno ENOS. As anomalias positivas/negativas da precipitação estão em grande parte associadas aos eventos de El Niño e La Niña, com seu fortalecimento na primavera e diminuição da influência no verão.

Os impactos do ENOS podem acarretar prejuízos significativos às atividades antrópicas, em especial nos episódios extremos da precipitação, gerando períodos de chuvas excessivas e/ou secas. Ressaltasse que o predomínio da relação seca e chuva acima da média com a ocorrência de La Niña e El Niño, não explica toda a variabilidade da precipitação em Rio Grande – RS, Brasil.

Para identificar os eventos extremos de seca e chuvas excessivas na cidade do Rio Grande – RS, Brasil foi utilizado a distribuição de frequência em quartis. Os valores anômalos menores que 56,4 mm, indicaram os extremos de secas (Q1) que ocorreram 219 meses no período entre 1913-2016, os quartis Q2 e Q3 indicaram os valores das ocorrências da precipitação entorno da média, sendo 498 meses e 321 meses respectivamente, e por fim foram identificados os eventos extremos de chuvas excessivas (Q4) com

frequência de 210 meses o qual é caracterizado pelo registro de valores anômalos superiores a 56,4 mm.

Foram realizadas análises de variáveis secundárias como, os índices de variabilidade climática (SOI, PDO e SAM). Estas análises demonstram que os índices SOI e PDO têm maior influência sobre as anomalias da precipitação na cidade do Rio Grande - RS, Brasil visto que os mesmos ocorrem em escala de tempo interanual e interdecal, sendo relevante a sua atuação nos impactos de chuvas excessivas e secas intensas e prolongadas.

As contribuições Austrais, na região círculo polar afetam a frequência e a intensidade dos sistemas frontais que passam em Rio Grande. Na fase negativa/positiva do SAM, os sistemas atmosféricos da frontogênese estão deslocados para Norte/Sul, e com isso a maior/menor atividade frontal em Rio Grande causa maior/menor taxas de precipitação.

As análises das correlações entre a TSM Global e a precipitação da cidade do Rio Grande - RS, Brasil bem como as correlações entre a pressão atmosférica e a precipitação da cidade do Rio Grande – RS, Brasil fazem inferências que a anomalia da precipitação esta associada aos padrões da região 3.4 do ENOS, indicando que a primavera é a estação mais favorável as teleconexões e a maior impacto sobre as precipitações.

Estas análises corroboram para que sejam propostas pelos governos, políticas de adaptação e mitigação as mudanças do clima, visto que as cidades costeiras e portuárias têm maior probabilidade a inundações. Desta maneira, o tomador de decisão pode fazer uso de tecnologias e estudos científicos, para subsidiar as propostas de planejamento e gerenciamento das cidades costeiras, visando diminuir os impactos ambientais e aumentar a resiliência ambiental.



## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## REFERÊNCIAS

- ASSIS, F. N.; ARRUDA, H. V.; PEREIRA, A. R. 1996. Testes de Aderência. In: Aplicações de Estatística à Climatologia: Teoria e Prática, pp.139-148. Pelotas: Ed. Universitária/UFPel.
- BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. 2003. El Niño e La Nina: Impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul; aplicações de previsões climáticas na agricultura. 112p. Porto Alegre. UFRGS.
- CHIERICE, R. F.; O uso de wavelets na determinação do expoente de Hurst de uma série temporal diária de chuvas do município de Araras-SP de 1955-2000. 2003. xi, 71 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2003. <http://hdl.handle.net/11449/91953>.
- CORRAR, J.; PAULO, E.; DIAS F.; José M. Análise multivariada para os cursos de administração, ciências contábeis e economia. 2007. 558 p, São Paulo: Atlas.
- DAUBECHIES, I. Ten Lectures on Wavelets, Philadelphia, PA: Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM), 1992. In: <https://jqichina.files.wordpress.com/2012/02/ten-lectures-of-waveletsefbc88e5b08fe6b3a2e58d81e8aeb2efbc891.pdf>. (acesso Fevereiro 2019).
- GRIMM, M. ALICE. 2009. Clima da Região Sul do Brasil. Tempo e Clima do Brasil. 259 p., São Paulo: Oficina Textos.
- HUANG, B., VF Banzon, E. Freeman, J. Lawrimore, W. Liu, TC Peterson, TM Smith, PW Thorne, SD Woodruff e H.-M. Zhang, 2014: Extended Surface Recovery Surface Temperature versão 4 (ERSST.v4): Parte I. Upgrades e intercomparações. *Journal of Climate*, 28, 911-930, doi: 10.1175/JCLI-D-14-00006.1).
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Dados Demográficos 2010. In: <https://cidades.ibge.gov.br/>. (acesso Abril 2017).
- IPCC. Intergovernmental Panel On Climate Change IPCC. Climate Change 2014 Synthesis Report. Cambridge Univ. Press. 2014.
- MALLAT, S. A Wavelet Tour of Signal Processing, San Diego, CA: Academic Press, 1998. In: <https://www.di.ens.fr/~mallat/papiers/WaveletTourChapter1-2-3.pdf>. (acesso Fevereiro 2019).
- MARENGO, A.J. 2009. Mudanças Climáticas, Condições Meteorológicas Extremas e Eventos Climáticos no Brasil, 72 p.
- MARENGO, J.A. 2014. O futuro do clima no Brasil. *Revista USP*. pp 25-32, São Paulo, n.103.
- MARENGO, J.A. 2006. Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos sobre a Biodiversidade: Caracterização do Clima Atual e Definições das Alterações Climáticas para o Território Brasileiro ao longo do Século XXI. 163 p, Brasília: Ministério do Meio Ambiente.
- REBOITA. M.; KUSCHE, N.; SARAIVA. J.M. 2018. Normas Climatológicas Provisórias de 1991 a 2010 para Rio Grande, RS. In: *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.33, n.1, pp 165-179.
- TRIOLA, F. M. 2005. Introdução à Estatística; tradução Vera Regina Lima de Farias e Flores; revisão técnica Ana Maria Lima de Farias e Flores. Rio de Janeiro: LTC, 2015 p.