

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

KAUANA CRAMER ANGONESE

ANOMALIAS DE PRECIPITAÇÃO SAZONAIS E REGIONAIS NO SUL DO BRASIL
DE 1998 A 2018

Porto Alegre

2020

KAUANA CRAMER ANGONESE

**ANOMALIAS DE PRECIPITAÇÃO SAZONAIS E REGIONAIS NO SUL DO BRASIL
DE 1998 A 2018**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Eliseu Aquino

Coorientadora: Dra. Venisse Schossler

Porto Alegre

2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

KAUANA CRAMER ANGONESE

**ANOMALIAS DE PRECIPITAÇÃO SAZONAIS E REGIONAIS NO SUL DO BRASIL
DE 1998 A 2018**

Monografia aprovada em ____ / ____ / _____ para obtenção do título de bacharel em Geografia.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Francisco Eliseu Aquino – Orientador

Dra. Venisse Schossler – Coorientadora

Prof. Dr. Ulisses Franz Bremer

Dr. Denilson Ribeiro Viana

Porto Alegre, junho de 2020

AGRADECIMENTOS

Antes mesmo de saber o assunto da minha monografia, desde o começo da graduação, eu já pensava o que escreveria aqui. Como achar palavras bonitas, citar meu bisavô, agradecer meus pais e toda minha família e fazer piadas internas com meus colegas nos mesmos parágrafos? Como, mas como, eu faria isso? Ainda não sei, mas vou tentar meu melhor.

Essa conquista é coletiva. É dos meus pais, meu alicerce, que me apoiam de todas as formas possíveis e que fazem de tudo e mais um pouco para que eu tenha uma formação excepcional. Eles que ouvem com curiosidade tudo o que eu tenha pra contar, que me admiram e que continuam acreditando em mim mesmo quando nem eu mesma acredito. Minha mãe que é minha definição de resiliência e meu pai que é minha definição de estabilidade. Eu me vejo em vocês.

É da minha família, que em outra escala também sempre vibrou comigo e me deu suporte (e me suportou...). É do meu vô Alvino, cujos olhos eu vi brilhar quando descobriu que eu fazia uma disciplina de topografia; é da minha vó Irany, cujo peito infla ao dizer que eu vou ser uma cientista; e da minha vó Neuza, que me dá um ombro quando eu preciso chorar e uma taça de espumante quando eu preciso comemorar. Minha gratidão é eterna. O fato de ter criado uma família e conseguido fazer com que alguns, não importando de qual geração, entrassem na universidade e recebessem um diploma foi ímpar para o meu bisavô. Ele dizia - é passou esse dizer pro resto da família - que um diploma é a coisa mais valiosa que alguém pode conseguir, "porque isso ninguém te tira". Uma formatura é eterna. Obrigada por isso, biso. Isso ninguém me tira!

Obrigada também aos amigos que marcaram essa fase da minha vida. Ao melher trie de loiros cricas que amava fofocar, ao quarteto rançoso que amava reclamar e às gurias (que também amavam fofocar e reclamar).

Aos professores, obrigada pelos aprendizados e todas as trocas proporcionadas. Minha admiração é infinita e tenham certeza que a paixão que vocês têm pela geografia foi muito bem transmitida.

Aos colegas do Centro Polar e Climático, obrigada pelo tanto me ensinaram e por tudo o que agregaram à minha formação como geógrafa. Obrigada prof. Jefferson Simões por ter me aceitado como bolsista de iniciação científica e prof. Francisco

Aquino por ter me aceitado como orientanda de TCC. Venix, te admiro demais e sou eternamente grata pela orientação acadêmica (e de vida) que tu me proporcionou nesses últimos três anos - feliz de ter sido tua primeira orientanda e de ter construído uma super relação contigo. E, ah, CPCences, obrigada pelas risadas e pelos cafés também.

Enfim, gratidão eterna à UFRGS pelo ensino gratuito de qualidade.

Finalizo lembrando Humboldt, sem o qual a geografia que conhecemos não existiria, e citando John Muir, que em uma carta escrita em setembro de 1865 expressava o quanto gostaria de ser como o polímata:

"How intensely I desire to be a Humboldt!".

Eu também, John.

RESUMO

A precipitação da Região Sul do Brasil (RSB), apesar de ser abundante durante o ano, apresenta nuances sazonais que se diferem de acordo com características geomorfológicas e de localização geográfica. Este estudo utilizou uma compartimentação dos Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul que os dividem em três sub-regiões geomorfológicas - Campanha, Litoral e Planalto, a fim de analisar as anomalias sazonais de precipitação de cada um destes setores. A análise sazonal foi escolhida devido à diferenciação dos mecanismos de precipitação na região durante o ano. Os objetivos foram a identificação das estações que possuem as maiores e menores anomalias de precipitação, bem como investigar se o comportamento da precipitação se altera de acordo com a sub-região em questão. Também se procurou discutir os fatores geográficos que possam justificar eventuais diferenças nos volumes de precipitação. Foram utilizados dados do satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* para o período de 1998-2018. Calculou-se, para cada ponto da grade do satélite ($0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$), as médias e anomalias sazonais de precipitação. Estes serviram de base para o cálculo das médias e anomalias sazonais de cada setor da RSB. O estudo considerou como altas (baixas) anomalias acima (abaixo) de 0,9 (-0,9). Os resultados mostram que o inverno (verão) é a estação mais seca (mais úmida) para toda a RSB, contribuindo com 20,8% (27,5%) do precipitado anualmente. A maior ocorrência de anomalias altas foi durante a primavera (19% das anomalias de todos os setores). Para as demais estações do ano, a frequência de anomalias se mostrou bastante variada nos setores estudados, apontando para a existência de diferentes fatores que influenciam a precipitação no território. Porém, notou-se uma concomitância entre eventos anômalos de precipitação e índices de modos de variabilidade climática como o *El Niño-Oscilação Sul* e o Modo Anular do Hemisfério Sul.

Palavras-chave: Variabilidade climática; Anomalias de precipitação; TRMM; SAM; ENOS.

ABSTRACT

The rainfall in the Southern Region of Brazil (RSB), despite being abundant throughout the year, presents seasonal nuances that differ according to geomorphological characteristics and geographical location. This study used a compartmentalization of the States of Paraná, Santa Catarina and Rio Grande do Sul that divide them into three geomorphological sub-regions - Campanha, Litoral and Planalto, in order to analyse each of these sectors' precipitation anomalies. The seasonal analysis was chosen due to the differentiation of precipitation mechanisms in the region during the year. The objectives were to identify the seasons that have the highest and lowest rainfall anomalies, as well as to investigate whether the behavior of precipitation changes according to the sub-region in question. We also tried to discuss the geographical factors that may justify any differences in precipitation volumes. The data was taken from the Tropical Rainfall Measuring Mission satellite for the period 1998-2018. We calculated, for each point of the satellite grid (0.25°x0.25°), the average seasonal precipitation, as well as the anomalous values. Those were then used to calculate the seasonal average and anomaly for each sector of the RSB. The obtained results served as base for the calculation of the seasonal precipitation anomalies of each grid point, as well as for the calculation of the average of seasonal precipitation of each sector of the RSB. The study considered high (low) anomalies above (below) 0.9 (-0.9). The results show that winter (summer) is the driest (wettest) season for the entire RSB, contributing 20.8% (27.5%) of the precipitate annually. The highest occurrence of high anomalies was during the spring (19% of anomalies in all sectors). For the other seasons, the frequency of anomalies was quite varied in the sectors studied, pointing to the existence of different factors that influence rainfall in the territory. Nevertheless, there was a concomitance between anomalous precipitation events and indexes of climatic variability modes such as El Niño-Southern Oscillation and the Southern Hemisphere Annular Mode.

Key words: Climate variability; Precipitation anomalies; TRMM; SAM; ENOS.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 —	Anomalias anuais de temperatura (superfícies continental e oceânica) para o período de 1880-2019.....	14
Figura 2 —	Mudanças na média de precipitação de 1986–2005 e previsão de mudança para 2081–2100.....	15
Figura 3 —	Localização da Região Sul do Brasil.....	17
Figura 4 —	Massas de ar da América do Sul no verão.....	26
Figura 5 —	Estágios da evolução de um ciclone.....	28
Figura 6 —	Representação da passagem de uma frente fria.....	29
Figura 7 —	Representação das duas fases do <i>El Niño</i> -Oscilação Sul e sua influência nos regimes de precipitação de diversas parte do globo.....	33
Figura 8 —	Sub-regiões geomorfológicas identificadas para a Região Sul do Brasil.....	36
Figura 9 —	Pontos de grade plotados sobre a base cartográfica da Região Sul do Brasil no <i>software Surfer</i>	38
Figura 10 —	Percentuais anuais e sazonais de anomalias positivas e negativas na sub-região Campanha.....	43
Figura 11 —	Percentuais anuais e sazonais de anomalias positivas e negativas na sub-região Litoral.....	48
Figura 12 —	Percentuais anuais e sazonais de anomalias positivas e negativas na sub-região Planalto.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 —	Médias e desvios padrões de precipitação pluviométrica na Região Sul do Brasil.....	30
Tabela 2 —	Médias e anomalias sazonais de precipitação pluviométrica na Campanha.....	45
Tabela 3 —	Médias e anomalias sazonais de precipitação pluviométrica no Litoral.....	49
Tabela 4 —	Médias e anomalias sazonais de precipitação pluviométrica no Planalto.....	54

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 —	Distribuição sazonal da precipitação na Região Sul do Brasil (1998-2018).....	42
Gráfico 2 —	Médias sazonais de precipitação das três sub-regiões analisadas - Campanha, Litoral e Planalto.....	42
Gráfico 3 —	Média de Precipitação Pluviométrica para a sub-região Campanha.....	47
Gráfico 4 —	Anomalias de precipitação pluviométrica para a sub-região Campanha.....	47
Gráfico 5 —	Média de Precipitação Pluviométrica para a sub-região Litoral..	51
Gráfico 6 —	Anomalias de precipitação pluviométrica para a sub-região Litoral.....	51
Gráfico 7 —	Média de Precipitação Pluviométrica para a sub-região Planalto.....	55
Gráfico 8 —	Anomalias de precipitação pluviométrica para a sub-região Planalto.....	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AS	América do Sul
CCM	Complexo Convectivo de Mesoescala
EN	<i>El Niño</i>
ENOS	<i>El Niño - Oscilação Sul</i>
LN	<i>La Niña</i>
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
ODP	Oscilação Decenal do Pacífico
OPT	Oceano Pacífico Tropical
PNM	Pressão Atmosférica ao Nível do Mar
PR	Paraná
RSB	Região Sul do Brasil
RS	Rio Grande do Sul
SAM	Modo Anular do Hemisfério Sul
SC	Santa Catarina
TRMM	<i>Tropical Rainfall Measuring Mission</i>
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
WMO	<i>World Meteorological Organisation</i>
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	16
1.2 OBJETIVOS.....	17
1.3 JUSTIFICATIVA.....	18
2 ESTADO DA ARTE.....	19
2.1 PRECIPITAÇÃO.....	19
2.2 VARIABILIDADE CLIMÁTICA.....	21
3 CLIMA DA REGIÃO SUL DO BRASIL.....	23
3.1 ASPECTOS E CLASSIFICAÇÃO DO CLIMA.....	23
3.2 PRECIPITAÇÃO NO SUL DO BRASIL.....	25
3.2.1 Sistemas atmosféricos e mecanismos da precipitação na RSB.....	25
3.2.1.1 Massas de ar.....	25
3.2.1.2 Ciclogênese e ciclones extratropicais.....	27
3.2.1.3 Frentes frias.....	29
3.2.1.4 Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).....	29
3.2.1.5 Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM).....	29
3.2.2 Modos de variabilidade climática.....	31
3.2.2.1 <i>El Niño</i> -Oscilação Sul (ENOS).....	32
3.2.2.2 Oscilação Decenal do Pacífico (ODP).....	33
3.2.2.3 Modo Anular do Hemisfério Sul (SAM).....	34
4 METODOLOGIA.....	35
4.1 REGIONALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	35

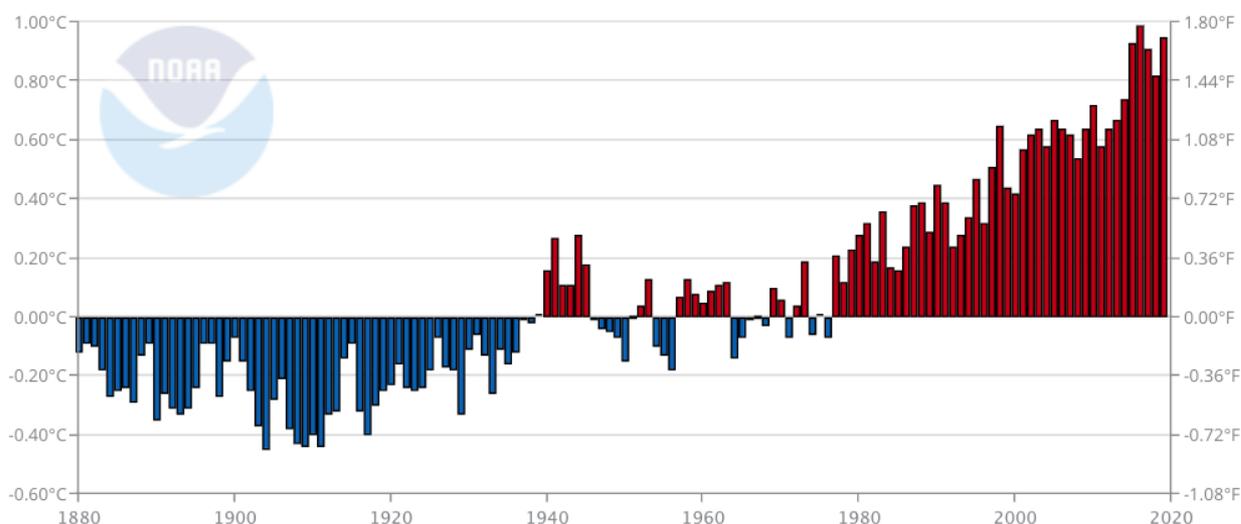
4.2 DADOS DE PRECIPITAÇÃO.....	37
4.3 ANÁLISE DOS DADOS.....	39
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	40
5.1 CLIMATOLOGIA DA PRECIPITAÇÃO 1998-2018.....	40
5.2 ANÁLISE DAS ANOMALIAS DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA.....	43
5.2.1 Campanha.....	43
5.2.2 Litoral.....	47
5.2.3 Planalto.....	52
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	56
REFERÊNCIAS.....	59

1 INTRODUÇÃO

O sistema climático global está em vias de alteração devido à atividade antrópica. Em uma escala global, a temperatura média da superfície da Terra aumentou em 2°C desde a era pré-industrial (1880-1900). Ao redor do globo, isso pode ser observado de diferentes maneiras e em diferentes escalas. Dentre algumas das consequências dessas mudanças estão a maior ocorrência de eventos climáticos extremos - como a ocorrência de extremos de temperatura, a intensificação de secas ou de eventos de precipitação concentrada, a redução da cobertura de neve e de gelo marinho e a acidificação dos oceanos (IPCC, 2014).

De acordo com o *Global Climate Report* de 2019, relatório sobre o estado do clima global emitido pelo *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), o ano de 2019 foi o segundo ano mais quente dentro de uma série de 140 anos. A temperatura média global aumentou em média 0,07°C por década desde 1880 e, a partir de 1981, 0,18°C por década (Figura 1). O relatório ainda chama atenção para o fato de que os cinco anos mais quentes, do período de 1889-2019, ocorreram desde 2015. Desde 1977, a temperatura média global ultrapassa a temperatura média do século XX (NOAA, 2020).

Figura 1 - Anomalias anuais de temperatura (superfícies continental e oceânica) para o período de 1880-2019.



Fonte: Adaptado de NOAA (2020).

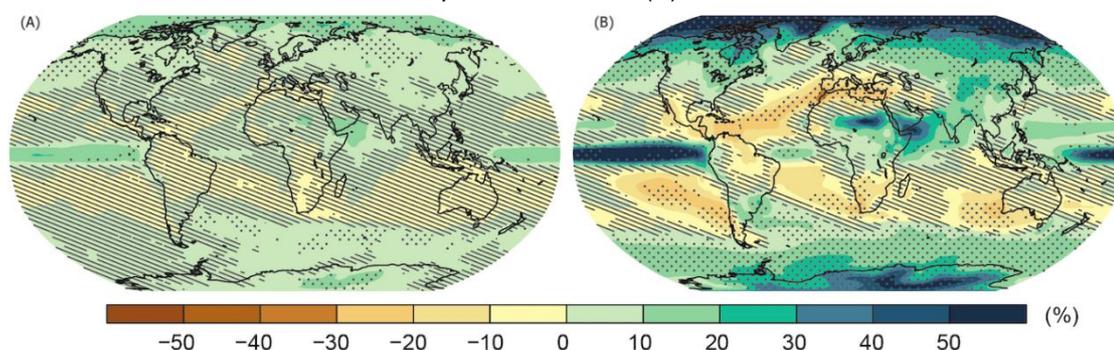
Regionalmente, o aumento da temperatura acontece de diferentes formas. Na América do Sul (AS), observa-se um aumento da temperatura anual em uma

taxa média de $0,13^{\circ}\text{C}$ década⁻¹ desde 1910, tendo esse valor dobrado ($0,24^{\circ}\text{C}$ década⁻¹) desde 1981. O continente apresentou sua temperatura média anual mais elevada no ano de 2015, tendo sido 2019 o segundo mais quente da série analisada. Além disso, os cinco anos mais quentes da AS ocorreram desde 2014 (NOAA, 2020).

A atual conjuntura climática do planeta também afeta o ciclo da água. Uma das principais causas das mudanças de longo termo da precipitação é o aumento da temperatura da superfície terrestre, havendo outros fatores que contribuem para essas mudanças. À medida que a temperatura aumenta, a quantidade de vapor d'água na atmosfera também aumenta. Prevê-se, com este incremento na quantidade de vapor d'água na atmosfera, um aumento na intensidade de eventos individuais de precipitação (IPCC, 2013).

A resposta do ciclo d'água às mudanças do clima mostra diferenças significativas de acordo com a estação do ano e com as características da região estudada. De acordo com o IPCC (2013), diferentes regiões do planeta apresentam mudanças nas características sazonais da precipitação. Dessa forma, a análise das médias e valores anuais acabam por camuflar informações sobre mudanças nos padrões regionais de chuva. As mudanças regionais de precipitação dependem, portanto, das forçantes e dos mecanismos regionais (Figura 2). Há, porém, alta confiança de que, em um clima mais quente, o contraste da precipitação média sazonal entre regiões secas e úmidas aumentará na maior parte do globo.

Figura 2 - Mudanças na média de precipitação de 1986–2005 (A) e previsão de mudança para 2081–2100 (B).



Fonte: Adaptado de IPCC (2013).

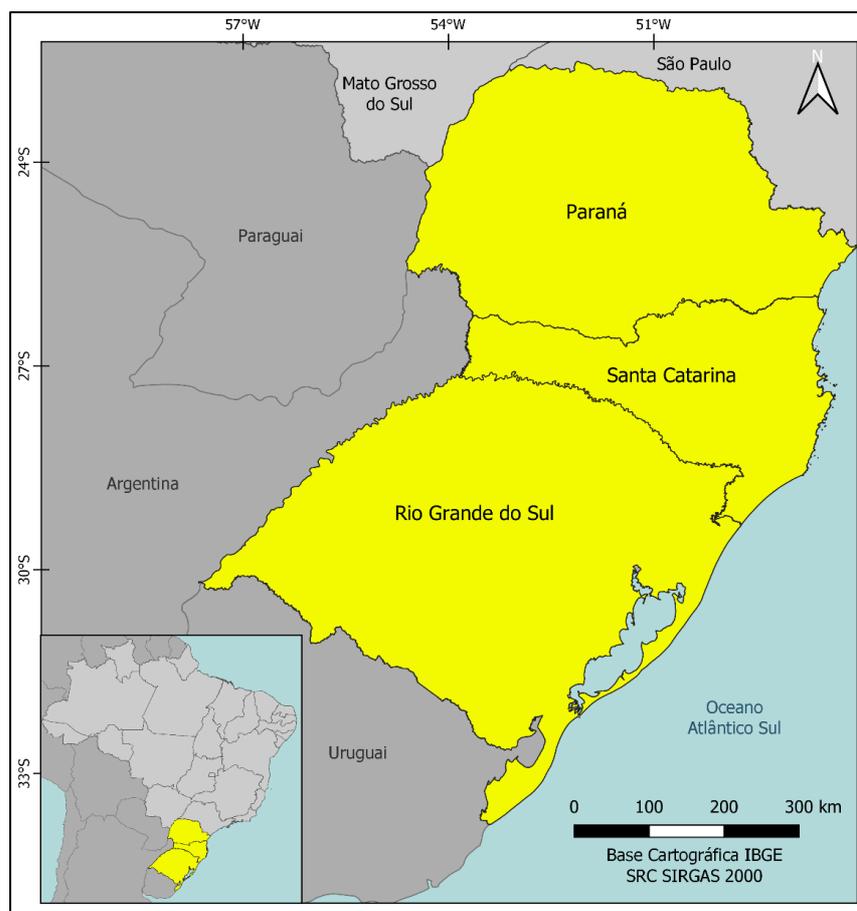
Um dos fatores regionais que faz com que os padrões e tendências de precipitação se difiram é o relevo. Três atributos geomorfológicos - a posição e a orientação das vertentes e a declividade - quando somados aos ventos predominantes de cada região, podem interferir no comportamento da precipitação. Em uma atmosfera estável, tal influência orográfica é restrita às áreas próximas de montanhas ou escarpas; por outro lado, sob condições instáveis, a orografia pode aumentar o volume de chuvas e distribuí-las por áreas mais extensas (BARRY E CHORLEY, 2013). Além disso, a presença ou ausência de fontes de umidade, como lagos e oceanos, afeta direta os regimes de precipitação, visto que a existência de superfícies líquidas é uma pré-condição à evaporação. Cabe à geografia, portanto, a essencial análise da interação de tais componentes do sistema natural, estáticos e dinâmicos, para uma melhor compreensão do meio no qual a sociedade está inserida.

Desta forma, tendo em vista o contexto de mudança no qual o sistema climático está inserido, bem como suas nuances regionais e sazonais, torna essencial compreender o comportamento do clima utilizando diferentes abordagens e escalas de análise. Esse trabalho se propõe, portanto, a obter e analisar as anomalias de precipitação sazonais no Sul do Brasil no período de 1998-2018.

1.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A região Sul do Brasil (RSB) localiza-se entre os paralelos 33°45'09" e 22°29'30" S e os meridianos 48°02'24" e 57°40'57" W, possuindo uma área de 576,410 km². É composta por três unidades federativas, sendo elas Rio Grande do Sul (RS), Santa Catarina (SC) e Paraná (PR) e possui população estimada de 30 milhões de habitantes (IBGE, 2019). A sudoeste, faz fronteira com a república do Uruguai; a oeste, com a república da Argentina e a república do Paraguai; a norte faz divisa com os Estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul; e ao leste, com o Oceano Atlântico Sul (Figura 3).

Figura 3 - Localização da Região Sul do Brasil.



Fonte: elaboração da autora (2020).

1.2 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo geral identificar e analisar as anomalias de precipitação sazonais para três sub-regiões geomorfológicas na RSB - Campanha, Litoral e Planalto - para o período de 1998-2018.

Objetivos específicos

- Obter a climatologia sazonal de precipitação das três sub-regiões propostas;
- Identificar quais estações apresentam as maiores anomalias de precipitação, negativas ou positivas;

- Identificar se o comportamento da precipitação se altera de acordo com a sub-região estudada;
- Discutir os fatores geográficos que justifiquem as diferenças nos volumes de precipitação.

1.3 JUSTIFICATIVA

Além de mudanças no padrão sazonal da precipitação média, projeta-se mudanças profundas na distribuição dos eventos de precipitação. Em uma escala diária ou semanal, é prevista uma intensificação das tempestades severas e uma diminuição na frequência de tempestades fracas. Além disso, em uma escala sazonal, anual ou até mais longa, o aumento da evapotranspiração sobre a Terra pode levar a períodos mais frequentes e mais intensos de seca agrícola (IPCC, 2013). Anualmente, fenômenos extremos como os citados anteriormente afetam a vida de milhares de pessoas. Nas mais diversas sociedades, as consequências desses fenômenos podem ser contabilizadas, entre outros, em vidas humanas bem como em perda de capital.

Anualmente, desastres relacionados a enchentes, alagamentos, enxurradas, granizo e vendavais afetam a população da RSB. Viana et al. (2009), ao analisarem a ocorrência e o impacto de desastres associados a Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) entre outubro e dezembro de 2003 no RS, identificaram 16.500 pessoas afetadas pelas tempestades, das quais seis óbitos. Em 2011, um evento de CCM no mesmo Estado afetou 25 municípios, deixando 200 mil casas sem energia elétrica e 12 mortes (MORAES E AQUINO, 2018). Os três Estados também sofrem por baixas taxas de precipitação, levando ao racionamento de água em diversos municípios, diminuição da capacidade de barragens e perdas na produção agrícola e pecuária (ENGEPLUS, 2020; G1, 2020; G1, 2020). Devido ao impacto social deste tipo de evento, torna-se fundamental conhecer e interpretar os padrões sazonais e regionais, que tornam possível o preparo mais efetivo dos diferentes atores da sociedade para o futuro, permitindo planejar melhores políticas de mitigação.

2 ESTADO DA ARTE

O clima é um fator determinante no suprimento de recursos vitais para o planeta e, por consequência, para a sociedade. O ciclo hidrológico, que inclui a precipitação, tem um papel crucial para a manutenção das atividades humanas, seja ela para o consumo, para a indústria ou para a agricultura. Além disso, eventos climáticos extremos, como secas e enchentes, bem como o tempo meteorológico de maneira geral, impactam diretamente as comunidades humanas. Apesar de serem termos constantemente confundidos, tempo meteorológico e clima não possuem a mesma definição. São semelhantes em relação às variáveis envolvidas, porém diferem em suas escalas de tempo. O tempo meteorológico se refere ao estado da atmosfera em um determinado instante - hora, dia ou semana -, podendo se alterar rapidamente. Por outro lado, clima pode ser descrito como a média do estado do tempo meteorológico em um determinado local por um longo período de tempo, usualmente 30 anos (WMO, 2020).

Os fatores que determinam este estado médio são a radiação solar, as características orbitais e rotacionais da Terra, a composição química da atmosfera e as interações entre esta e outros componentes do sistema terrestre (WALLACE E HOBBS, 2006). Christoferson (2012) destaca como os principais elementos do clima a insolação, a temperatura, a pressão, as massas de ar e a precipitação.

2.1 PRECIPITAÇÃO

A precipitação, o elemento meteorológico foco deste trabalho, é o suprimento de umidade para a atmosfera e superfície terrestre, sendo todo hidrometeoro que consegue alcançar o solo, em forma líquida ou sólida. Apesar de o termo se referir a suas diversas formas - chuva, neve, granizo, graupel, saraiva, orvalho e rime - apenas a chuva e a neve contribuem significativamente para os totais de precipitação globais (CHRISTOFERSON, 2012; BARRY E CHORLEY, 2013). Seus condicionantes são diversos, a começar pela circulação geral da atmosfera, resultado do recebimento desigual de radiação solar na superfície terrestre de

acordo com a faixa latitudinal e posicionamento na órbita. É também condicionada por características astronômicas bem como por fatores geográficos, *i.e.* continentalidade e maritimidade, uso e a ocupação do solo, presença de corpos de água e característica do relevo.

O relevo é um importante condicionante do clima e da precipitação devido a três atributos - a posição, a orientação e a declividade das vertentes (AYOADE, 2002; MENDONÇA E DANNI-OLIVEIRA, 2007). A quantidade de calor e umidade próximo ao relevo é determinado pela posição e pela orientação das vertentes. Já a declividade, ao longo de um ano, influencia o clima sazonalmente devido a mudança do ângulo de incidência da radiação solar.

Os fatores citados anteriormente, somados à altitude, podem influenciar a precipitação dependendo da direção dos ventos que aportam a umidade. Barreiras orográficas podem provocar diversos efeitos na atmosfera. Segundo Barry e Chorley (2013), estes são: (1) a ascensão forçada em uma encosta suave, o que produz resfriamento adiabático, condensação e precipitação; (2) bloqueio do fluxo de ar e ascendência a montante devido à instabilidade condicional ou convectiva; (3) desencadeamento de convecção pelo aquecimento das encostas durante o dia e ventos ascendentes; (4) precipitação de nuvens baixas sobre as montanhas, decorrente da “semeadura” de cristais de gelo ou gotículas de uma nuvem sobrejacente; e (5) aumento da precipitação frontal devido ao retardamento do movimento de sistemas ciclônicos e frontais. Em climas subtropicais, durante o inverno, a orografia pode intensificar a precipitação ciclônica; nos meses de verão, em regiões continentais, incrementa o processo de condensação, o que induz ao aumento de pancadas de chuva.

Por ser influenciada por diversas variáveis de diferentes escalas, sua distribuição espacial global e regional é ainda mais complexa do que aquelas de outras variáveis, como por exemplo de temperatura média (BARRY E CHORLEY, 2013). Em uma escala global, entretanto, percebe-se que 79% da precipitação total ocorrem sobre os oceanos e apenas 21% sobre o continente (BARRY E CHORLEY, 2013).

É em razão de sua alta variabilidade no espaço e no tempo que a precipitação é um dos parâmetros meteorológicos mais difíceis de serem mensurados

(KUMERROW et al., 2000). Estimativas de precipitação podem ser medidas diretamente, através de pluviômetros e pluviógrafos, e indiretamente, por meio do sensoriamento remoto. Os métodos de mensuração direta dependem e são limitados tanto pela densidade de rede de aparelhos meteorológicos quanto por fatores ligados à localização destes, a altura com que se localizam do solo, turbulências no fluxo de ar, espirramento e evaporação, que podem induzir a erros (BARRY E CHORLEY, 2013). Apesar de todas essas dificuldades, Kidder e Haar (1995) afirmam que medidas diretas podem ser muito precisas, porém só cobrem uma área de 10^2 m², enquanto dados de satélite podem cobrir áreas de 10^6 a 10^8 m². A maior cobertura fornecida de dados fornecida pelo sensoriamento remoto, incluindo locais de difícil acesso que não possuem pluviômetros, e.g. oceanos, bem como a facilidade no manuseio dos dados, que, diferentemente das observações obtidas por meio de medidas diretas, dispensam a necessidade de serem interpolados (VIANA, 2009).

As características climatológicas da precipitação podem ser descritas tanto pelas suas médias, e.g. anual, sazonal e mensal, quanto pelas suas variabilidades e tendências (BARRY E CHORLEY, 2013). Um dos principais dentre estes parâmetros é a Normal Climatológica, obtidas através do cálculo da precipitação média de períodos padronizados de 30 anos, sendo a última série a de 1981-2010. As Normais são calculadas obedecendo critérios da Organização Meteorológica Mundial (WMO, sigla em inglês) e são essenciais para os cálculos de variabilidade e tendência. Elas também possibilitam analisar a ocorrência de eventos extremos. É importante ressaltar que, atualmente, devido as rápidas mudanças no sistema climático global, utiliza-se também períodos de tempo alternativos para a confecção de normais climatológicas (NOAA, 2020).

2.2 VARIABILIDADE CLIMÁTICA

O termo variabilidade climática é definido por Wallace e Hobbs (2006) como variações de longo prazo ou mudanças no estado médio do clima. Segundo a WMO (2020), indicam desvios das estatísticas climáticas para determinado período de tempo em relação às estatísticas de longo prazo do mesmo período. A variabilidade pode ser tanto resultado de processos internos do sistema climático - variabilidade

interna - quanto a fatores externos, sejam eles naturais ou antropogênicos - variabilidade externa.

Manifestando-se em diversas escalas espaciais e temporais, pode apresentar desvios intrasazonais, para variações mensais no estado médio de uma determinada estação; interanuais, ocorrendo de ano para ano nas médias sazonais ou mensais; e decenais ou seculares, denotando variações para década para década ou de século para século (WALLACE E HOBBS, 2006). Estes desvios são denominados anomalias climáticas.

É importante ressaltar que, apesar de serem termos parecidos, variabilidade climática e mudanças climáticas não são a mesma coisa. De acordo com Wallace e Hobbs (2006), essa diferença é altamente semântica: consideramos variabilidade climática quando analisamos flutuações em uma mesma época, *e.g.* o século XX; mudanças climáticas, quando comparamos dois períodos diferentes, *e.g.* a primeira e a segunda metade do século XX. Para a WMO (2020), a diferença está na temporalidade e recorrência das anomalias, mudança climática se referindo a uma variação estatisticamente significativa no estado no clima ou na sua variabilidade, persistente durante um período prolongado de décadas ou mais. Por outro lado, a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima (UNFCCC, 1992) define “mudança climática” como um fenômeno resultante, direta ou indiretamente, da atividade humana que altera a composição da atmosfera terrestre e que é somada à variabilidade natural do clima observada em períodos comparáveis.

3 CLIMA DA REGIÃO SUL DO BRASIL

Neste capítulo, propõe-se uma discussão sobre o clima da RSB. Em um primeiro momento, serão abordados os aspectos gerais e classificações climáticas da região. A precipitação na área de estudo será discutida a seguir, trazendo seus diferentes regimes, seus principais mecanismos, bem como os sistemas atmosféricos atuantes.

3.1 ASPECTOS E CLASSIFICAÇÃO DO CLIMA

Em 1918, o geógrafo Wladimir Köppen criou, a partir de dados de temperatura e precipitação, bem como padrões de vegetação, um sistema de classificação dos diferentes climas terrestres. Desde sua criação, esse sistema é usado pela comunidade científica, que o aperfeiçoa à medida que faz novas observações (CHEN E CHEN, 2013; ARNFIELD, 2020). De acordo com a classificação de Köppen, o clima da RSB está enquadrado nos tipos *Cfa* (subtropical) e *Cfb* (temperado). A letra *C* indica que estes climas são temperados, chuvosos e moderadamente quentes, sendo a temperatura do mês mais frio maior ou igual a 0°C e menor ou igual a 18°C. Em ambos, não há diferença significativa na média de precipitação entre as estações, a letra *f* correspondendo à ausência de estação seca (CHRISTOFERSON, 2012; IBGE, 1977). Esses climas diferem majoritariamente durante o verão - “a” indica a ocorrência de verões quentes, com temperatura média do mês mais quente ultrapassando 22°C e “b”, inferior a 22°C. O clima de tipo *Cfa* é, entretanto, predominante, sendo o tipo *Cfb* restrito a áreas com altitude maior ou igual a 800 m (VIANA, 2009).

Nimer (1989) chama atenção para a homogeneidade que caracteriza o clima da região. Apesar de apresentar a maior amplitude do país no que diz respeito à temperatura, o faz em relação a pluviometria e ao seu ritmo estacionário. Além disso, difere dos demais climas brasileiros no que diz respeito à sua unidade - enquanto o restante do território brasileiro apresenta, quase que em sua integralidade, climas quentes do tipo Tropical, o clima Mesotérmico do tipo Temperado domina a RSB. Em relação ao regime térmico, o autor reconhece os

seguintes domínios climáticos: clima subquente (15,27% da área da RSB), cujo nenhum mês apresenta temperatura média inferior a 15°C e o mês mais frio oscilando entre 15 e 18°C; mesotérmico brando (81,69% da área), caracterizado pela ocorrência de pelo menos um mês com temperatura média inferior a 13°C; e mesotérmico médio (3,04% da região), apresentando um mês com temperatura média inferior a 10°C. Ao analisar o regime da umidade, o autor destaca que a existência ou inexistência de seca e o regime de duração de períodos secos conferem à região dois domínios climáticos - clima úmido e clima superúmido -, que compreendem três variedades - úmido com um a dois meses secos, superúmido com subseca e superúmido sem seca. O clima superúmido sem seca é dominante na região, ocupando 88,53% da sua extensão territorial, sendo todo o RS e SC e 67,62% do PR. Todavia, apenas 2,66% da área territorial da RSB, restrita ao norte do PR, apresenta um período seco, o que é vinculado ao fato desta porção estar vinculada ao clima tropical semi-úmido do Brasil Central.

Por fim, de acordo com a classificação de Strahler (1989), a RSB apresenta clima do tipo subtropical úmido, um clima de latitudes médias, que são caracterizados pela intensa interação entre massas de ar de origem tropical e polar. Esse tipo climático é dominado, durante o verão, por células de altas pressões oceânicas que geram chuvas abundantes e elevados valores de temperatura e taxa de umidade. Por outro lado, no inverno, há frequentes avanços de massas polares e perturbações ciclônicas, trazendo consigo temperaturas baixas, com amplitude térmica de magnitude moderada e chuvas frequentes, sendo estas do tipo frontal. Apesar da precipitação ser abundante o ano inteiro, nota-se, em geral, máximas no verão (MENDONÇA E DANNI OLIVEIRA, 2007). No inverno, entretanto, pode se haver precipitação em forma de neve nas porções de altitude mais elevada, em SC e no RS (SCHIMITZ, 2007).

3.2 PRECIPITAÇÃO NO SUL DO BRASIL

A existência de regimes climáticos de precipitação distintos é destacada por Grimm (1998), que chama atenção para a localização distintas dos picos de precipitação no sul do Brasil.

A maior parte do PR e do centro-leste de SC tem um regime unimodal, com pico de precipitação durante o verão austral devido ao regime de monção de verão subtropical. O sudeste do RS apresenta o mesmo regime, porém seu pico é no inverno, característico de uma região de transição onde a chuva é produto das penetrações frontais associadas a ciclones extratropicais migratórios (GRIMM, 2009). Por outro lado, há também ocorrência de regimes bimodais ou até trimodais, com mais de um máximo na estação chuvosa. Estes dominam o RS, onde a maior concentração de precipitação ocorre no trimestre de agosto a outubro, com exceção do sudeste do Estado, cujo pico é de julho a setembro. Há uma predominância do regime trimodal no nordeste do RS, a oeste de SC e sudeste do PR, com máximos no início da primavera, verão e outono, muito influenciados pelos Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM).

Nota-se, portanto, que apesar de parecer ter comportamento relativamente homogêneo, espacial e temporalmente, a precipitação na RSB é influenciado por diversos mecanismos e sistemas, o que torna essencial explicá-los.

3.2.1 SISTEMAS ATMOSFÉRICOS E MECANISMOS DA PRECIPITAÇÃO NA RSB

Sistemas atmosféricos de diferentes escalas regulam o clima e o regime de precipitação na RSB. Neste tópico, serão discutidos o funcionamento e impactos de diversos sistemas na escala sinótica - massas de ar, frentes frias, ciclones extratropicais, e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) - e na mesoescala - CCMs - na precipitação do Sul do Brasil.

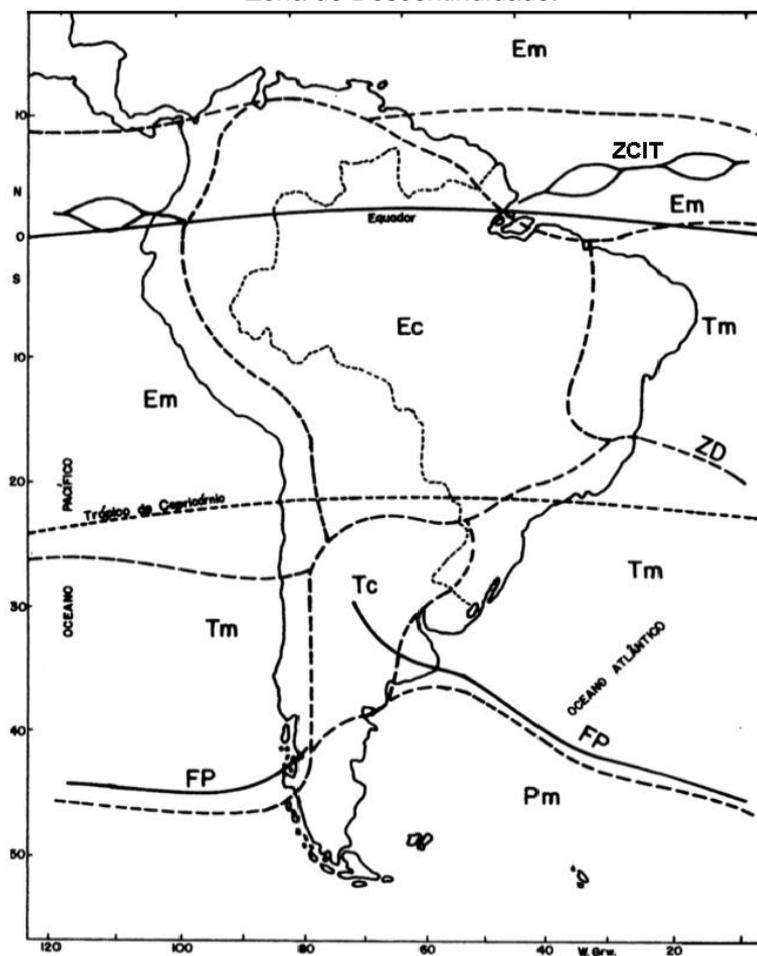
3.2.1.1 Massas de ar

Massas de ar são definidas como grandes corpos de ar cujas características de temperatura e umidade são homogêneas, reflexo da superfície onde foram

geradas (BARRY E CHORLEY, 2013). Estas superfícies, podendo ser oceanos, florestas, desertos e geleiras, tem em comum o fato de apresentarem características homogêneas, o que confere à camada de ar sobrejacente características semelhantes. Sua classificação considera as características térmicas sobre a qual se formam - quente ('tropical') e fria ('polar' e 'antártica'/'ártica') -, bem como de umidade - seca (continental) ou úmida (marítima) (NWS, 2020).

Por se localizar em uma zona de transição, o clima da RSB é modulado por massas de ar de origens distintas. São estas: a Marítima Tropical (Tm), a Marítima Polar (Pm) e a Continental Tropical (Tc) (Figura 4). A predominância de uma sobre a outra muda de acordo com a estação do ano, o que reforça as características sazonais da RSB.

Figura 4 - Massas de ar da América do Sul no verão. ZCIT = Zona de Convergência Intertropical; Em = Equatorial Marítima; Tm = Tropical Marítima; Ec = Equatorial Continental; Tc = Tropical Continental; Pm = Polar Marítima; FP = Frente Polar; ZD = Zona de Descontinuidade.



Fonte: Tubelis e Nascimento (1980).

3.2.1.2 Ciclogênese e ciclones extratropicais

Denomina-se ciclogênese o processo de formação e desenvolvimento de ciclones, centros de baixa pressão na atmosfera. São fundamentais no transporte de calor, umidade, dinâmica atmosférica e mudanças no tempo nas regiões onde atuam. Por isso esse processo é estudado desde o século XIX (GAN E SELUCHI, 2009). De acordo com Gan e Seluchi (2009), os ciclones podem ser categorizados conforme seu tipo de desenvolvimento inicial, sua intensidade —determinada a partir do incremento da vorticidade ciclônica —, e por um Diagrama de Fases, que analisa a estrutura dinâmica e termodinâmica desses sistemas. A classificação por agrupamento da gênese e faixas latitudinais é ressaltada por Gramscianinov et al. (2018), que destaca a existência de ciclones tropicais, subtropicais e extratropicais.

O primeiro modelo de um ciclone extratropical foi proposto por Bjerkness e Solberg (1922). Os autores descrevem que os ciclones extratropicais são formados ao longo de uma frente polar, decorrentes da interação entre massas frias e densas de origem polar e massas mais quentes de origem tropical, que não são tão densas. Seu ciclo de vida é bem definido, iniciando como uma onda de pequena amplitude sobre a frente polar estacionária e se intensificando até seu ponto de maior desenvolvimento, chamado de estágio maduro ou aberto (REBOITA et al., 2017). Até que o ciclone chegue ao seu fim, tem-se o estágio de oclusão, que ocorre quando a frente fria se sobrepõe à frente quente (Figura 5). Seu diâmetro varia de 200 a 3000 km.

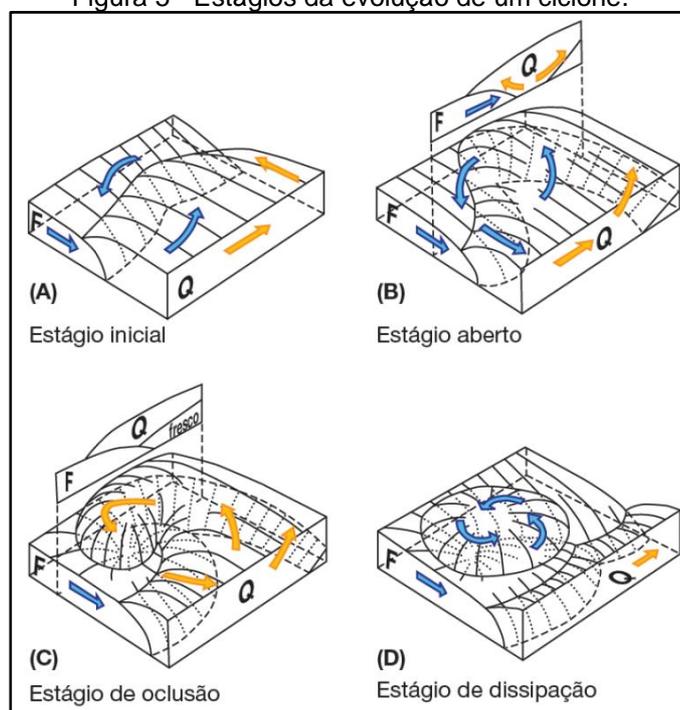
Gan e Rao (1991) e Sinclair (1995) encontraram regiões preferencialmente ciclogenéticas na AS, sendo uma próxima ao Uruguai e a outra próxima ao Golfo de São Matias, na Argentina (GAN e SELUCHI, 2009). É observada maior ocorrência de eventos ciclogenéticos sobre o oceano (continente) durante o verão (inverno). Satyamurty et al. (1998) perceberam que a área oceânica adjacente à RSB é um setor propício à formação e/ou intensificação de ciclones.

Ao analisarem a frequência da ciclogênese sobre a AS para o período de 1979-1988, Gan e Rao (1991) perceberam uma relação entre a variação interanual da atividade ciclogenética com a variação interanual de anomalias de precipitação na RSB. Os autores perceberam que anos de maior (menor) ciclogênese estão

associados à elevadas (reduzidas) taxas de precipitação. Com esta pesquisa, puderam notar, também, que a quantidade de ciclogênese está associada ao fenômeno ENOS, havendo mais (menos) formação de ciclones na RSB em anos de EN (LN).

Jantsch (2019) identificou os ciclones extratropicais que ocorreram em 2018 na área delimitada entre 15 e 40°S e 30 e 60°W, abrangendo a RSB, a partir de dados de reanálise do *Climate Forecast System Reanalysis* (CFSR) da NOAA. O autor identificou a ocorrência de 43 ciclones extratropicais, com média de 3,5 por mês. As estações que acumularam o maior número de ciclogêneses foram o verão (16) e o inverno (13). A primavera foi a estação com menos ocorrências (sete), seguindo o outono (10). O mês que somou a maior ocorrência de ciclones extratropicais foi março (6). Com relação aos locais de maior ocorrência, o autor identificou uma maior densidade de ciclones extratropicais na região do Rio da Prata (outono e inverno), na costa do RS (verão e outono) e na costa do Sudeste do Brasil (verão).

Figura 5 - Estágios da evolução de um ciclone.



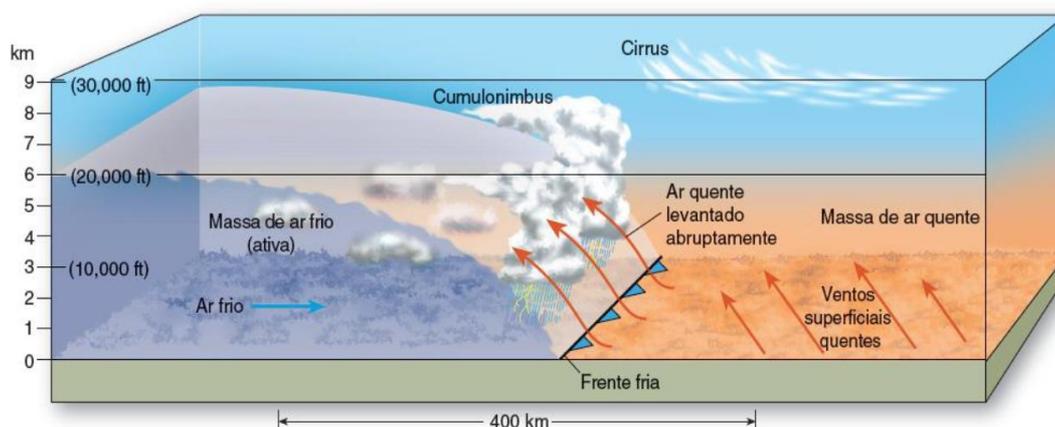
Fonte: Barry e Chorley (2013).

3.2.1.3 Frentes frias

Massas de ar frias e quentes, por terem densidades diferentes, tendem a preservar suas características quando se aproximam, tendo uma área de descontinuidade que avança chamada frente. Uma frente é, então, uma linha de conflito entre duas massas de ar que possuem diferentes temperaturas, pressão, umidade, direção e velocidade do vento e desenvolvimento de nuvens. Essa camada de transição possui, normalmente, quilômetros de espessura, podendo causar mudanças abruptas no tempo se o gradiente de densidade - pressão atmosférica e temperatura - for elevado. É uma frente fria quando uma massa de ar frio avança sobre a massa de ar quente, e vice-versa. Pode ser também estacionária, quando as duas massas permanecem estacionadas, gerando leve precipitação, intensificando se permanecer estagnada; ou oclusa, quando uma frente fria ultrapassa uma frente quente, fazendo com que o ar quente ascenda (CHRISTOFERSON, 2012).

Durante a passagem de frentes frias, há variações na direção dos ventos, queda de temperatura e diminuição da pressão atmosférica. O ar frio, mais denso, força a ascensão da massa de ar mais quente, formando nuvens cumulonimbus (Cb). As Cb são nuvens que geram forte precipitação durante a passagem do sistema. Esse tipo de frente é precedida de nuvens cirrus e, após sua passagem, há uma queda na temperatura e aumento da pressão atmosférica, o que propicia céu sem nebulosidade (Figura 6).

Figura 6 - Representação da passagem de uma frente fria.



Fonte: Christoferson (2012).

De acordo com Cavalcanti e Kousky (2009), frentes frias afetam o tempo meteorológico na AS durante todo o ano, geralmente se deslocando de sudoeste para nordeste. No inverno do Sul do Brasil, massas de ar de latitudes altas acompanham essas frentes, podendo gerar friagens e geadas. Nota-se ainda que ocorrem em maior número e durante todo o ano entre 25°S e 30°S, sendo mais frequentes de maio a outubro. Justi da Silva e Silva Dias (2002), ao gerarem uma climatologia dos sistemas frontais no Brasil para o período de 1981-1999, encontraram resultados semelhantes, notando uma maior frequência de frentes em torno de 30°S, com valores mais altos no litoral do que no continente. Foi observada uma semelhança entre os campos de frequência de ocorrência para os anos de LN de 83/84, 88/89, 95/96 e 98/99.

3.2.1.4 Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS)

A ZCAS é definida por Carvalho e Jones (2009) como uma banda de nebulosidade que se estende desde a Amazônia até o Sudeste do Brasil, podendo alcançar o oceano Atlântico Subtropical. Esta se associa a um escoamento convergente de umidade em baixos níveis da troposfera que tem orientação noroeste-sudeste. É uma característica observada durante todos os verões austrais, mas significativas variações ocorrem em sua organização espacial, na intensidade da precipitação e na circulação.

Apesar de não atuar diretamente no Sul do Brasil, com exceção do norte do Paraná, estudos de Barros et al. (2000) mostram que para o nordeste da Argentina, Uruguai e Sul do Brasil, anomalias negativas (positivas) de precipitação estão associadas a fortes (fracas) manifestações de ZCAS e deslocamentos ao norte de sua posição geográfica.

3.2.1.5 Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM)

Os CCM foram definidos por Maddox (1980) como um conjunto de nuvens Cb, com formato circular e crescimento vertical, cuja atuação acontece durante 6-12 horas, associados a intensa precipitação e vento. Acontecem predominantemente durante as noites dos meses quentes, *i.e.* verão e estações de

transição. São, de acordo com Velasco e Fritsch (1987) um dos principais responsáveis pelas acumulados de precipitação na RSB durante esses meses. No RS, Viana et al. (2009) encontraram que dois terços (63%) do volume da precipitação entre outubro e dezembro de 2003 foi consequência desses eventos.

Este fenômeno é influenciado por um fluxo meridional em baixos níveis da atmosfera, conhecido como Jatos de Baixos Níveis (JBN), que transportam consigo umidade da bacia Amazônica para as áreas subtropicais do continente. Os JBN são direcionados a sudeste graças a Cordilheira dos Andes e são intensificados durante o verão, quando há aparecimento da Baixa do Chaco (área de baixa pressão sobre a região do Chaco), carregando consigo umidade das latitudes mais baixas, o que facilita o desenvolvimento dos CCMs (VIANA, 2011).

Moraes et al. (2020) analisaram as características atmosféricas favoráveis ao desenvolvimento de CCMs no Sul do Brasil para o período de 1998-2007. Os autores observaram que os CCMs formados sobre a RSB apresentam duração (+ 3h) e extensão territorial média (+50 000 km) superiores àqueles formados sobre outras áreas. Além disso, de uma média de ocorrência de 33,7 CCMs durante a estação quente (outubro a maio), 10,7 ocorreram sobre a RSB. Isto se dá devido ao fato de que os CCMs sobre a RSB tem características únicas comparadas aos demais, como dois sistemas atmosféricos distintos responsáveis pela advecção de umidade atuando sobre a região - os JBN e a circulação anticiclônica sobre o sudeste do oceano Atlântico Sul.

3.2.2 MODOS DE VARIABILIDADE CLIMÁTICA

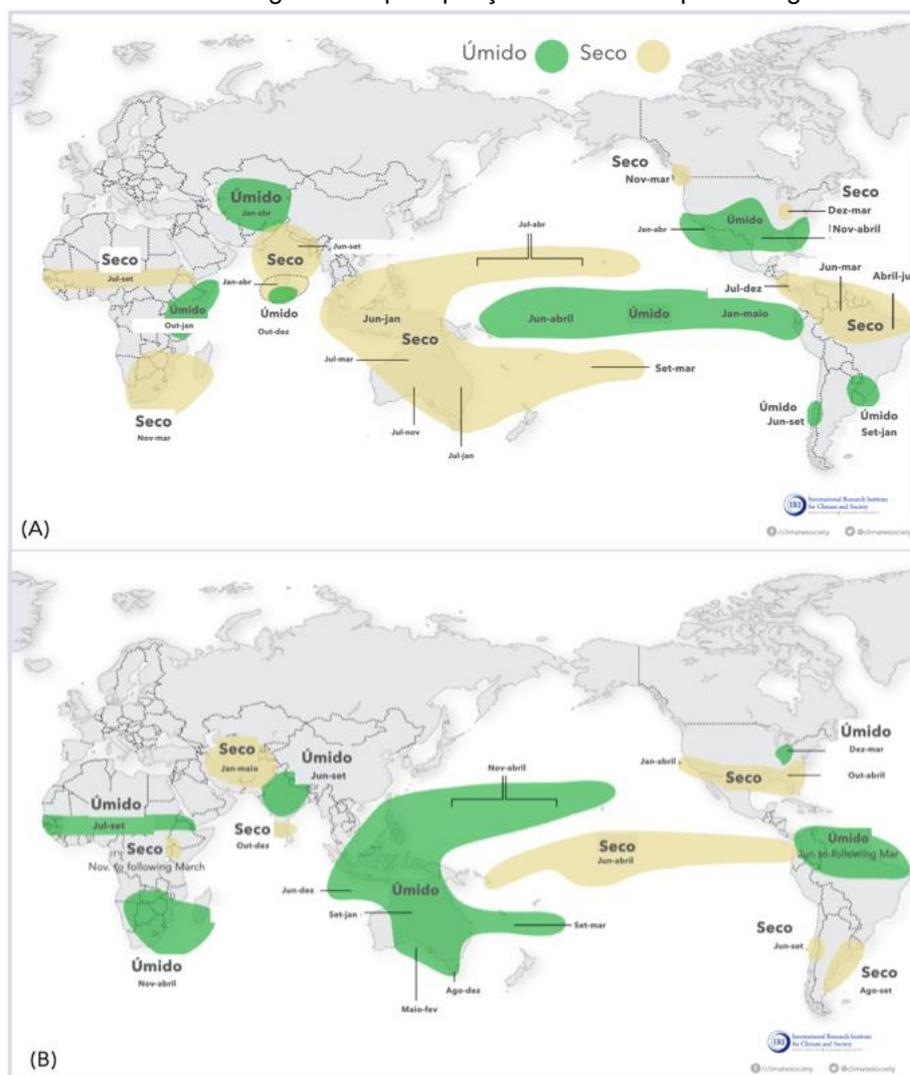
Através de teleconexões climáticas, o fenômeno da variabilidade pode influenciar o comportamento de variáveis atmosféricas em regiões diferentes de seu local de origem, notadamente através de anomalias de pressão, precipitação e temperatura (NOAA, 2019). Modos de variabilidade climática podem ocorrer em diferentes escalas temporais, a saber: intrasazonais, interanuais, decenais, multidecenais e de mesoescala (CAVALCANTI E AMBRIZZI, 2009). Dentre os modos de variabilidade climática que influenciam a precipitação na RSB, destacam-se o *El Niño*-Oscilação Sul (ENOS), a Oscilação Decenal do Pacífico (ODP) e o Modo Anular do Hemisfério Sul (SAM)

3.2.2.1 El Niño-Oscilação Sul (ENOS)

O ENOS é um modo de variabilidade interanual de anomalias na temperatura da superfície do mar (TSM) no oceano Pacífico Tropical (OPT). Possui duas fases: *El Niño* e *La Niña*. Este modo de variabilidade climática é relacionado ao regime oscilatório da pressão atmosférica ao nível do mar (PNM) neste mesmo oceano, entre o Tahiti e Darwin, Austrália, chamado de Oscilação Sul (TRENBERTH, 1997). Um aumento (diminuição) da pressão ao nível do mar no setor oeste (leste) do oceano Pacífico enfraquece a Célula de Walker, reduzindo e, por vezes, até invertendo os ventos alísios. Como consequência, há um aumento geral da TSM, principalmente próximo à América do Sul. Quando essa anomalia perdura por cinco meses ou mais, tem-se um evento de *El Niño* (EN). A fase fria do ENOS é chamada de *La Niña* (LN) e sua principal característica é um resfriamento da TSM no OPT (Figura 7).

Com relação aos seus impactos climáticos, percebe-se uma complexidade espacial e temporal, visto que cada episódio é distinto. De acordo com Grimm et al. (1998), para o sudeste da América do Sul existe uma forte associação entre anomalias de precipitação e eventos de EN e LN. Schossler et al. (2018), ao analisarem eventos anômalos de precipitação no litoral do RS, apontam para uma correlação positiva com o índice *Multivariate ENSO Index* (MEI), que calcula a intensidade dos eventos a partir de diversos parâmetros climáticos. Existem diferentes índices e regiões no Pacífico onde os parâmetros são monitorados, o MEI é apenas um deles (NOAA, 2020). Os índices mostram que, desde 1970, há uma maior (menor) ocorrência de EN (LN) (TRENBERTH E HOAR, 1997). Trenberth e Hoar (1997) apontam para a probabilidade desta tendência não ser resultado exclusivo de uma variabilidade natural.

Figura 7 - Representação das duas fases, quente (A) e fria (B), do El Niño-Oscilação Sul e sua influência nos regimes de precipitação de diversas parte do globo.



Fonte: Adaptado de IRI (2020).

3.2.2.1 Oscilação Decenal do Pacífico (ODP)

A ODP é descrita como um padrão de longa duração semelhante ao ENOS. Sua variabilidade de TSM, entretanto, possui maiores valores de amplitude em latitudes médias do que em latitudes baixas, maior extensão austral das anomalias equatoriais e maior escala temporal (10 anos). Dependendo das anomalias de TSM no nordeste e na região tropical do oceano Pacífico, pode apresentar fases quente, valor positivo, e fria, valor negativo. Tem-se uma fase quente (fria) quando a TSM e a PNM no Pacífico Norte são anormalmente baixas (altas) e, ao longo da costa do Pacífico, quentes (frias). No último século, a ODP apresentou fases frias entre 1900-1924 e 1947-1976 e fases quentes de 1925-1946 e 1977-1990. Apesar das fases

perdurarem por longos períodos de tempo, de 20 a 30 anos, sua mudança ocorre de maneira repentina (MANTUA et al., 1997).

A ODP afeta a AS principalmente pela sua teleconexão com o ENOS. Quando ambos estão em fase (fora de fase), as anomalias de precipitação sobre a AS se tornam mais intensas (fracas) (CAPISTRANO, 2012). Além disso, anomalias positivas de precipitação no sudeste da AS se deslocam meridionalmente na fase fria da ODP, quando em comparação à fase quente (ANDREOLI e KAYANO, 2005).

3.2.2.3 Modo Anular do Hemisfério Sul (SAM)

O SAM é um modo de variabilidade climática do tipo anular. Os modos anulares são hemisféricos e sua ocorrência se dá nas médias e altas latitudes dos hemisférios norte e sul devido a dinâmica interna da atmosfera. O SAM é definido como o gradiente de pressão atmosférica entre 40–65°S, caracterizado por seu padrão simétrico e ininterrupto (GUPTA E ENGLAND, 2006). Esta oscilação pode ter comportamento neutro, positivo e negativo. Marshall (2003) e Gillet et al. (2006) observaram tendência positiva do SAM a partir de 1958, relacionando-a aumento da concentração dos gases de efeito estufa na atmosfera devido à atividade antropogênica. Arblaster e Meehl (2006) atribuem esse comportamento à diminuição na concentração de ozônio estratosférico, consequência, também, da atividade humana.

Nas latitudes médias e altas, o SAM se manifesta em diferentes variáveis atmosféricas, como na pressão ao nível do mar, na temperatura, na altura geopotencial e nas trilhas de tempestades —, bem como no oceano e na variabilidade do gelo marinho (GUPTA E ENGLAND, 2006). Analisando seus impactos no sudeste da AS, Silvestri e Vera (2003) apontam para uma correlação negativa entre a precipitação e o índice SAM, o que é reforçado por Schossler et al. (2018), que constataram que 78% dos eventos anômalos de precipitação na Planície Costeira do RS estavam associados ao SAM. Os autores averiguaram que, quando o índice SAM se encontra positivo (negativo), há uma menor (maior) ocorrência de ciclogênese.

4 METODOLOGIA

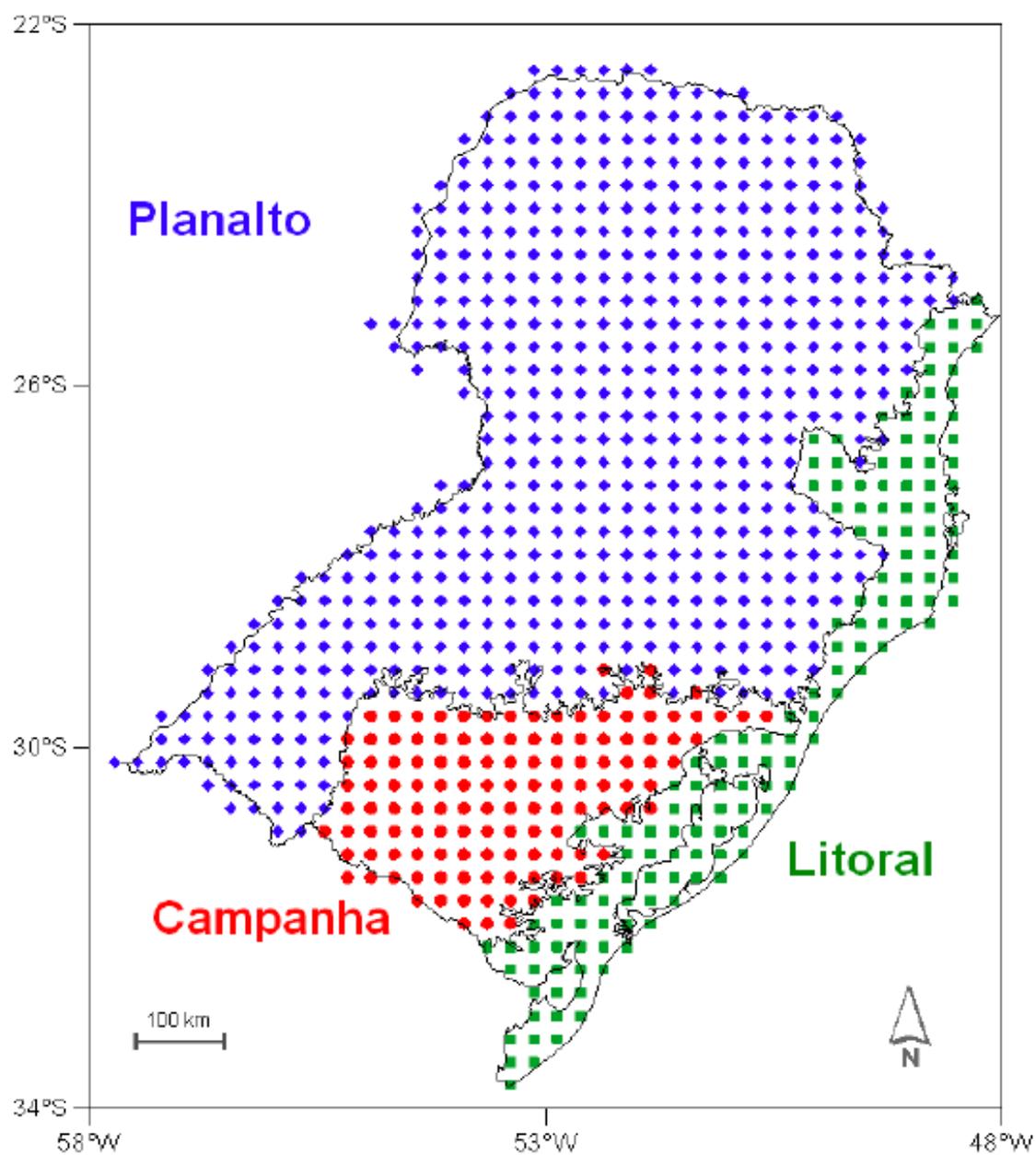
Neste capítulo, abordar-se-ão os materiais e métodos necessários para a realização do presente trabalho. Primeiramente, será abordada a proposta de regionalização adotada para esta pesquisa. Segundamente, a origem e as características dos dados de precipitação. Por fim, serão discutidos a organização e a análise dos dados por meio de estatística descritiva.

4.1 REGIONALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Viana (2009), ao analisar o comportamento da precipitação ao longo do tempo e do espaço na região, constatou que esta não ocorre de maneira uniforme, sendo influenciada por fatores geográficos como geomorfologia, altitude, orientação das vertentes e presença de fontes de umidade. O autor propôs, então, uma regionalização da RSB evidenciando suas principais feições geomorfológicas, notadamente as características de orientação das vertentes, dividindo-a em Campanha, Litoral e Planalto (Figura 8).

O Planalto, de acordo com a classificação do relevo proposta pelo IBGE (2008), engloba o Planalto das Araucárias, o Planalto da Campanha Gaúcha e os setores oeste do Patamar Oriental da Bacia do Paraná e Serras do Leste. Esta é a sub-região que apresenta as maiores altitudes, que apresentam um aumento gradual no sentido oeste-leste. O Litoral apresenta as menores altitudes, que contrastam com as escarpas da borda do Planalto. A Campanha, por fim, não apresenta orientação predominante do relevo, visto que este se apresenta com formas residuais (VIANA, 2009).

Figura 8 - Sub-regiões geomorfológicas identificadas para a Região Sul do Brasil: Planalto (azul), Campanha (vermelho) e Litoral (verde).



Fonte: Viana (2009).

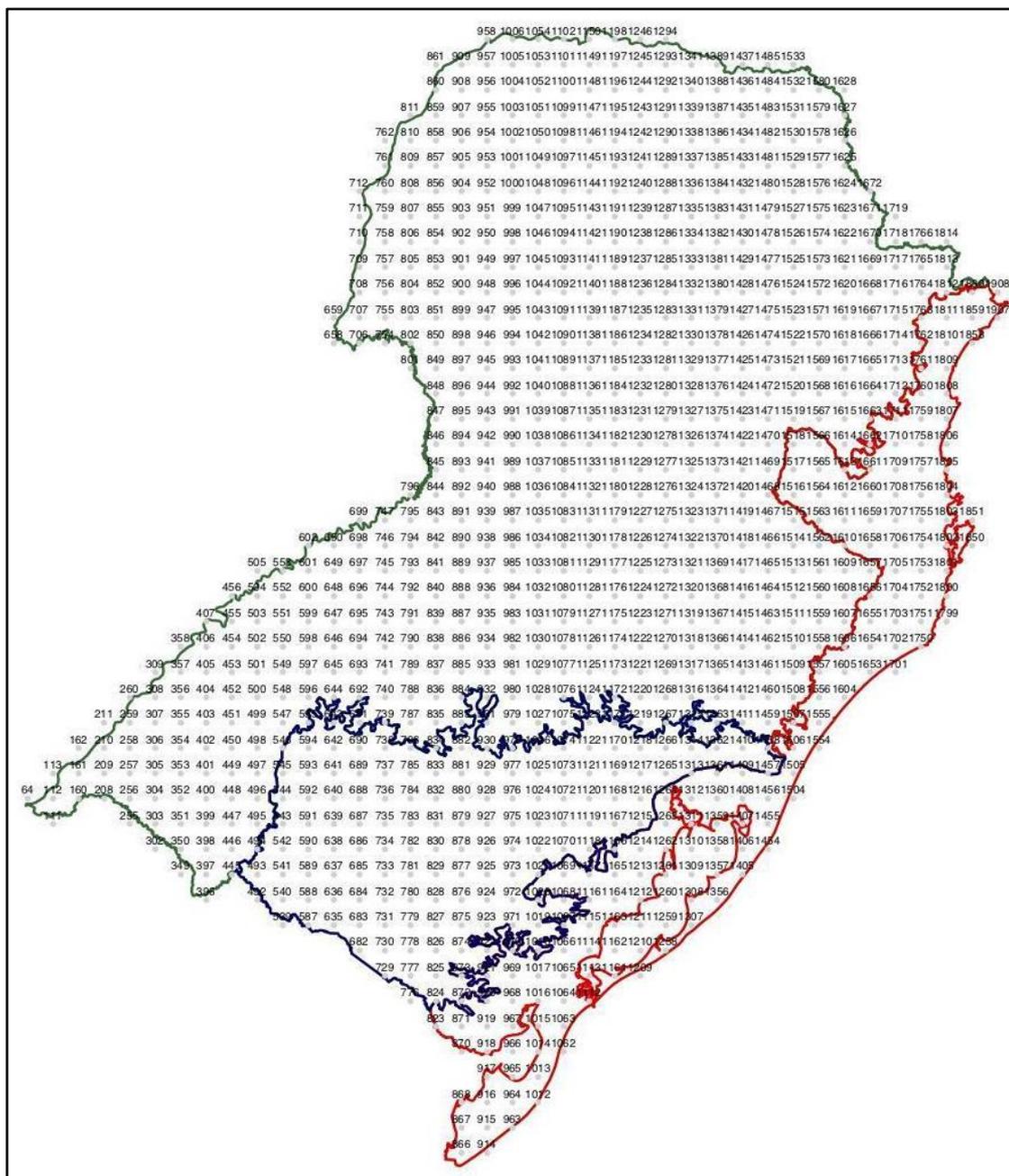
4.2 DADOS DE PRECIPITAÇÃO

Para a realização deste trabalho, foram utilizados dados de precipitação obtidos por sensoriamento remoto através do satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM). O TRMM é resultado de uma parceria entre a Agência Espacial Norte-Americana (NASA) e a Agência de Exploração Aeroespacial do Japão (JAXA). Lançada em 1997, é a primeira missão dedicada a mensurar a precipitação tropical e subtropical por meio de microondas e sensores infravermelhos, além de incluir o primeiro radar de chuva. Sua órbita é circular, heliossíncrona e possui uma inclinação de 35° em relação ao equador. Com uma altitude que passou de 350 km para 403 km em 2001, o satélite leva 90 minutos para completar uma translação e produz dados em grade regular de 0,25° x 0,25°. Os dados obtidos são uma estimativa da taxa de precipitação em unidades de mm h⁻¹ (NASA, 2019).

Os produtos TRMM são fornecidos a livre acesso no formato *.hdf (*Hierarchical Data Format*) em: <https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/TRMM_3B43_7/>. Para manuseá-los através de planilhas e posteriormente visualizados no *software Surfer 13*, é necessário convertê-los para o formato ASCII (*.dat) através do *software Panoply 4*. Como são disponibilizados em milímetros por hora, cada ponto da grade requer o cálculo diário e mensal da média da precipitação. Para se obter o volume do dia, multiplica-se o dado por 24 horas; para a estimativa mensal, pelo número de dias do respectivo mês (28, 29, 30 ou 31). O satélite disponibiliza dados desde 1998, logo, a série de dados cobre 1998-2018, fechando uma série de 21 anos.

Os pontos de grade foram plotados sobre a base cartográfica da RSB através do *software Surfer* (Figura 9). Cada um destes foi numerado e incluído em uma das sub-regiões propostas por Viana (2009). À Campanha, foram atribuídos 134 pontos; ao Litoral, 154; e ao Planalto, 619.

Figura 9 - Pontos de grade plotados sobre a base cartográfica da Região Sul do Brasil no *software Surfer*. Linha verde: limites do Planalto; linha azul: limites da Campanha; e linha vermelha: limites do Litoral.



Fonte: Elaboração da autora, adaptado de Viana (2009).

4.3 ANÁLISE DOS DADOS

Os dados mensais de cada ano foram agrupados da seguinte forma, em formato de planilha no *software Microsoft Excel*, afim de avaliá-los sazonalmente: a) verão: dezembro, janeiro e fevereiro (DJF); b) outono: março, abril, maio (MAM); c) inverno: junho, julho e agosto (JJA); e d) primavera: setembro, outubro e novembro (SON). A análise sazonal foi escolhida tendo em vista o comportamento da precipitação na RSB, cujos mecanismos se alteram durante o ano.

A etapa seguinte envolveu métodos de estatística descritiva. Para cada ponto de grade TRMM, calculou-se a média de precipitação sazonal para cada ano. Esta etapa foi feita somando as estimativas de precipitação de cada mês. Estas foram utilizadas para o cálculo da média e do desvio padrão das estimativas de precipitação daquele ponto, para toda a série de 20 anos. Os resultados obtidos serviram de base para o cálculo das anomalias de precipitação sazonais de cada ponto de grade, bem como para o cálculo da média de precipitação sazonal de cada sub-região da RSB. A anomalia sazonal das sub-regiões foi calculada através do cálculo média dos valores anômalos encontrados para os pontos que as compunham.

Para a melhor visualização dos dados, foram elaborados gráficos de linha e de círculo. O primeiro procurou mostrar a sequência das anomalias e das médias ao longo da série temporal estudada. O segundo, afim de expressar a proporcionalidade de anomalias positivas e negativas. Posteriormente, para fins de análise, foram consideradas altas (baixas) anomalias acima de 0,9 (abaixo de -0,9). Esse valor foi adotado por ser superior a um tercil ($1/3$) do maior valor encontrado.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados encontrados, bem como discussões pertinentes com pesquisas similares, serão abordados nesse capítulo. Em primeiro lugar, será apresentada a climatologia sazonal da precipitação de 1998-2018 para toda a RSB, bem como para as sub-regiões propostas. Em segundo lugar, serão analisadas as anomalias encontradas para os setores da Campanha, do Litoral e do Planalto. Serão destacados em vermelho (azul) os maiores (menores) valores encontrados para cada estação.

5.1 CLIMATOLOGIA DA PRECIPITAÇÃO 1998-2018

A série temporal de 1998-2018 dos dados de precipitação para a RSB evidencia a existência de diferentes comportamentos sazonais e regionais no território. A média e o desvio padrão sazonal e anual para cada uma das sub-regiões, assim como para o todo da RSB, podem ser observadas na tabela 1.

	CAMPANHA		LITORAL		PLANALTO		RSB	
	Média de precipitação (mm)	Desvio padrão (mm)	Média de precipitação (mm)	Desvio padrão (mm)	Média de precipitação (mm)	Desvio padrão (mm)	Média de precipitação (mm)	Desvio padrão (mm)
Verão	441,7	144,3	506,8	131,9	547,7	146,7	498,7	140,9
Outono	445,8	155,4	407,9	139	452,4	153,2	435,4	149,2
Inverno	409,6	122,2	358,3	108,8	366	129,3	378	120,1
Primavera	520,5	197,9	443,1	147,9	532	172,2	498,5	172,7
Anual	1817,6	619,9	1716,2	527,7	1898,1	601,4	1810,6	582,9

Tabela 001 - Médias e desvios padrões de precipitação pluviométrica (mm) na Região Sul do Brasil. Grifados em vermelho os maiores valores encontrados e, em azul, os menores.

A média de precipitação anual para toda a RSB ficou em 1810,6 mm. Viana (2009), ao obter a climatologia da região para o período de 1988-2007, encontrou

que a precipitação média anual ficava entre 1155 e 2311 mm, com uma média em torno de 1730 mm. Reboita et al. (2010) analisaram os regimes de precipitação na AS, dividindo o continente em oito regiões. Os totais pluviométricos da região que engloba o Sul do Brasil, o Sul do Paraguai e o Uruguai se mostraram elevados (1050-1750 mm a⁻¹), sendo ainda maiores no oeste do Sul do Brasil, na fronteira com o Paraguai (1750-2100 mm a⁻¹) (REBOITA et al., 2010). O desvio obtido foi de 582,966 mm. Para Viana (2009), esse valor ficou entre 645 e 1227 mm, com média de 888 mm.

Ao observarmos as médias sazonais da RSB, averiguou-se que os maiores valores foram encontrados no verão (498,7 mm ou 27,5% da média anual) e na primavera (498,5 mm ou 27,5% da média anual). O menor valor médio obtido foi para o inverno (378 mm), contribuindo com aproximadamente um quinto para a média anual. O gráfico 1 ilustra a contribuição de cada estação do ano para o precipitado anualmente. Viana (2009) obteve resultados semelhantes, encontrando que os maiores (menores) totais de precipitação ocorrem no verão e na primavera (no inverno). Para o autor, a média da primavera ficou entre 276 e 699 mm; do verão, entre 236 e 932 mm; do outono, entre 273 e 564 mm; e do inverno, entre 149 e 471 mm (VIANA, 2009).

O gráfico 2 ilustra as médias de precipitação sub-regionais na RSB. Na Campanha, nota-se que a maior média sazonal ocorreu na primavera. Esta estação também apresenta o maior desvio padrão da sub-região (197,9 mm). O inverno registrou a menor média sazonal, bem como o menor desvio padrão.

O Litoral da RSB apresentou, como a Campanha, os menores valores de média e desvio padrão de precipitação no inverno (358,3 mm e 108,8 mm). Durante o inverno, a atmosfera se encontra mais estável devido às baixas temperaturas do ar, logo, a formação de nuvens e, por consequência, de chuva, não acontece de forma tão abundante quanto nos meses quentes (INPE, 2013). Para o verão, foi encontrada uma média de precipitação de 506,8 mm, sendo o maior valor da sub-região. Grimm (1998) associa o relevo ao pico de umidade em janeiro, fevereiro e março onde há barreira orográfica próximo à costa, isto é, o litoral do PR, onde há a Serra do Mar, de SC e o norte do litoral sul rio-grandense. As estações de transição, *i.e.* primavera e outono, apresentaram valores de médios de 443,1 e 407,9 mm, respectivamente. Para estas estações, os desvios padrões encontrados são os maiores da sub-região.

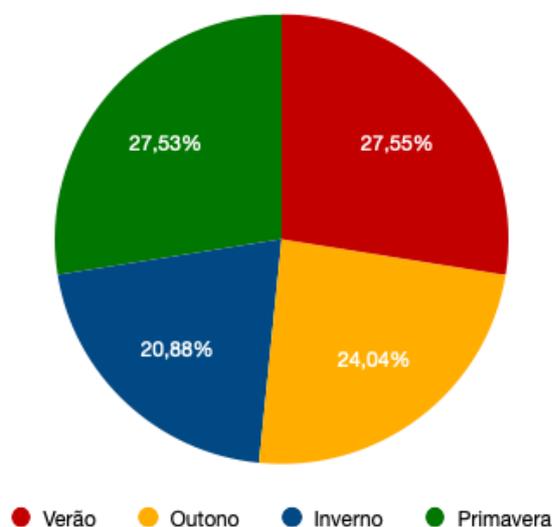


Gráfico 1 - Distribuição sazonal da precipitação na Região Sul do Brasil (1998-2018). Contribuição de cada estação do ano para o precipitado anualmente na Região Sul do Brasil no período de 1998-2018.

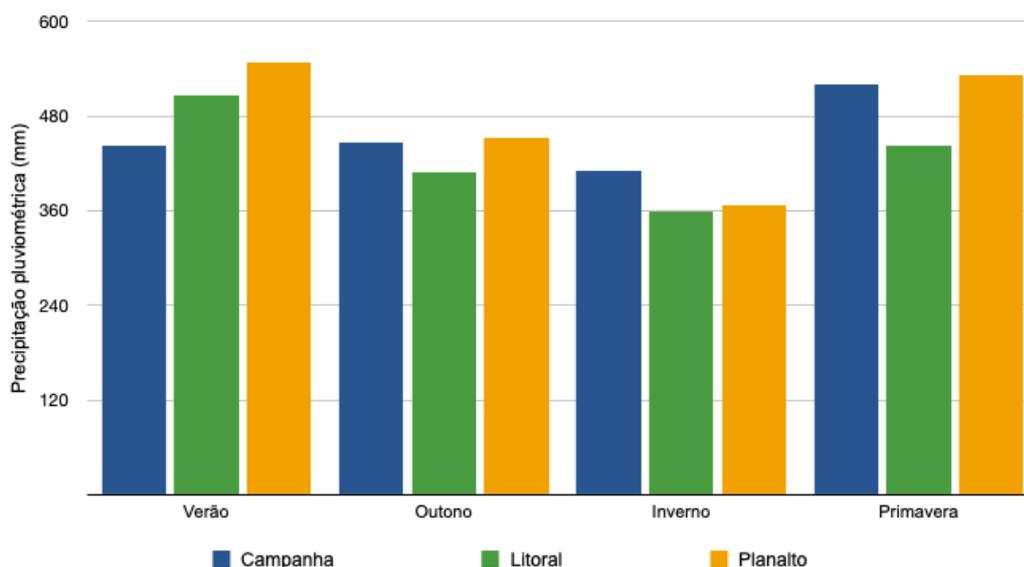


Gráfico 2 - Médias sazonais de precipitação das três sub-regiões analisadas - Campanha, Litoral e Planalto.

Ao observarmos as médias obtidas para o Planalto, nota-se que elas são, para todas as estações do ano, com exceção do inverno, superiores às demais regiões. São os meses de verão que possuem maior média de estimativa de precipitação (547,7 mm). De acordo com Grimm (1998), o regime de precipitação

de parte do PR e do centro-leste de SC - todos inseridos da sub-região do Planalto - é unimodal, com pico de precipitação durante o verão austral. Este pico é coerente com o regime de monção subtropical. Durante a primavera, percebe-se o segundo maior valor de média (532 mm) e o maior valor de desvio padrão (172,2 mm). Existe, segundo Grimm (1998) uma região de transição no sudeste de SC e na maior parte do RS, onde o pico da estação úmida varia do verão para a primavera e depois para o final do inverno. No Planalto, assim como no Litoral, achou-se os menores valores de média e desvio padrão durante o inverno, 366 mm e 129,3 mm, respectivamente.

De uma maneira geral, portanto, as maiores médias de precipitação sazonal na RSB ocorreram durante o verão (Litoral e Planalto) e a primavera (Campanha). O Planalto, apresentou, em média, os maiores valores de precipitação para todas as estações, com exceção do inverno, cujo maior valor médio foi encontrado na Campanha. Os menores valores médios foram encontrados no Litoral, excedendo-se os meses de verão, nos quais a região apresenta valores superiores àqueles encontrados na Campanha. Nimer (1989) salienta que o relevo da RSB, por ser de maneira geral suave, não exerce grande influência na distribuição da pluviometria da região, mas é um dos fatores que faz com que o Planalto acumule os maiores totais de chuva anuais. Apesar da menor ocorrência de chuvas neste setor, estas são, geralmente, mais copiosas do que no Litoral e na Campanha devido ao ativamento das turbulências de ar sobre áreas de orografia mais elevada e acidentada.

5.2 ANÁLISE DAS ANOMALIAS DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

5.2.1 CAMPANHA

A figura 10 ilustra a frequência de anomalias positivas ou negativas por estação. Nota-se que estas, para o período analisado, são relativamente bem distribuídas. É possível perceber, também, uma maior ocorrência de anomalias negativas de precipitação para todas as estações na região. O gráfico que reúne a estatística anual da sub-região mostra que 53,5% das estações do ano analisadas apresentaram anomalias negativas de precipitação, dentre as quais 17,8% foi considerada como baixa (inferior a -0,9). As anomalias positivas somam 46,4% das estações analisadas, sendo um terço deste valor (16,6%) considerado como anomalias elevadas de precipitação (acima de 0,9). Valente (2018), ao buscar as anomalias de precipitação na região da Campanha durante o século XX, encontrou

que a zona obteve 346 anomalias extremas dentro de um total de 1200 meses analisados, das quais 179 eram negativas e 167, positivas. Como a sub-região da Campanha é restrita ao Estado do RS, cabe ressaltar que Gross (2015) observou, no período de 2002 a 2012, uma predominância de meses secos - de um total de 132 meses, 93 foram considerados como secos e apenas 39 como úmidos.

O inverno foi a única estação que apresentou maior frequência de anomalias positivas. Destaca-se, entretanto, que, dos dez invernos cujas anomalias foram negativas, cinco ficaram abaixo de -0,9. É possível perceber um mesmo comportamento em ambas estações de transição, para as quais se encontrou 12 anos de anomalias negativas e nove de anomalias positivas, dos quais quatro foram acima de 0,9. Durante esta época do ano, são os CCMs os responsáveis por grande parte da umidade aportada na região.

A ausência de estação seca é uma característica que marca o clima da RSB (GRIMM, 2009). A climatologia de precipitação da Campanha, portanto, não é exceção. Tal característica pode ser observada na tabela 2, que traz as médias e anomalias de precipitação sazonais da sub-região da Campanha para o período proposto. Este quadro, ainda, é ilustrado pelos gráficos 2 e 3.

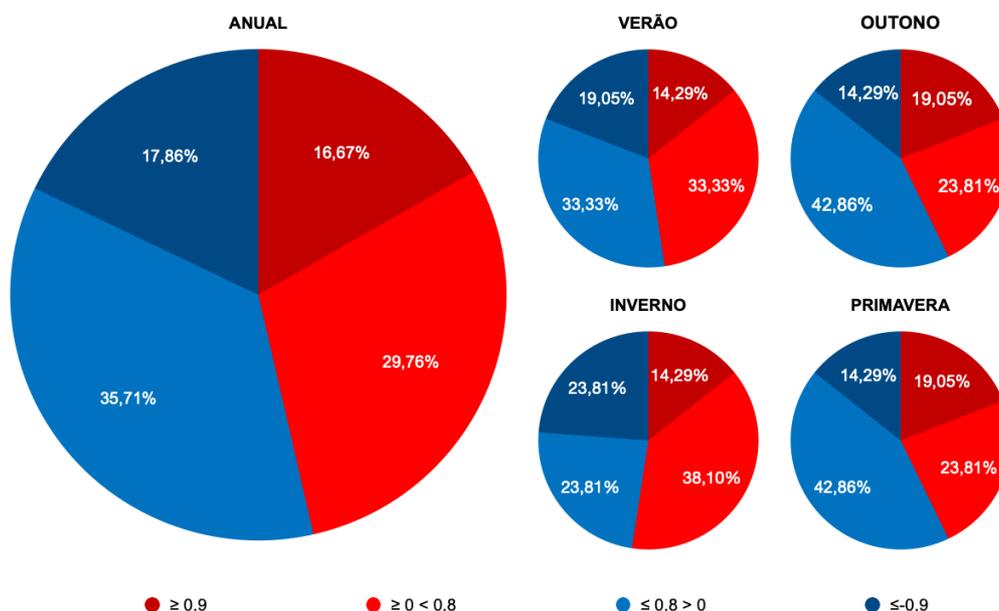


Figura 10 - Percentuais anuais e sazonais de anomalias positivas e negativas na sub-região Campanha.

	Verão		Outono		Inverno		Primavera	
	Média (mm)	Anomalia						
1998	521,5	0,6	625,6	1,1	556,5	1,2	329,5	-0,9
1999	318,6	-0,8	427,1	-0,1	349,3	-0,5	378,1	-0,7
2000	316,6	-0,8	542,5	0,6	421,2	0,1	590,5	0,4
2001	569,8	0,9	601,7	1,0	435,9	0,2	818,8	1,5
2002	398	-0,3	730,5	1,8	660,8	2,1	820,8	1,5
2003	665,5	1,5	542,5	0,5	368,6	-0,3	471	-0,3
2004	396	-0,3	365,1	-0,5	261,6	-1,2	427,4	-0,5
2005	232,2	-1,4	517,8	0,5	276,2	-1,1	539,5	0,1
2006	295,7	-0,9	283,2	-1	288,6	-0,9	427,9	-0,5
2007	467,4	0,2	466,1	0,1	463,9	0,5	436,7	-0,4
2008	359,7	-0,5	346,6	-0,6	465,9	0,5	396,8	-0,6
2009	425,3	-0,1	249,1	-1,3	306,7	-0,8	996,8	2,4
2010	675,3	1,5	305,7	-0,9	484,7	0,6	291,3	-1,2
2011	346,9	-0,6	343,4	-0,6	488,5	0,6	283,2	-1,2
2012	303,8	-0,9	221,6	-1,5	276,9	-1,1	521,8	0,01
2013	572	0,8	389,9	-0,4	356,6	-0,4	557,9	0,2
2014	477,7	0,3	408,9	-0,2	487,9	0,6	563	0,2
2015	540,4	0,7	331,7	-0,7	550,6	1,2	743,3	1,1
2016	557,7	0,7	577,6	0,8	282	-1	449,2	-0,3
2017	555,3	0,8	682,1	1,6	330,2	-0,6	491,3	-0,2
2018	279,9	-1,1	402,1	-0,3	484,3	0,6	395,2	-0,6

Tabela 2 - Médias e anomalias sazonais de precipitação pluviométrica na Campanha.

É durante a primavera que se percebem os maiores picos de precipitação. Os maiores valores da sub-região são percebidos nesta estação, em 2009, quando estimou-se 996,8 mm de chuvas e anomalia de 2,4. Em novembro de 2009, a área pertencente a Campanha, de acordo com mapeamento das anomalias mensais proposto por Gross (2015) para o RS, foi classificada como extremamente úmida.

Os menores valores da sub-região são percebidos no outono do ano de 2012, que registrou média de 221,6 mm e anomalia de -1,5. O ano de 2012 é marcado por anomalias negativas de precipitação em todas as estações do ano, com exceção da primavera, cujo índice de anomalia é próximo de zero. Valores baixos de precipitação podem ser observados desde 2011, quando a precipitação estimada na primavera foi de um pouco mais de 280 mm. Este ano é lembrado no RS como um ano de estiagem, quando 84,2% dos municípios do Estado decretaram situação de emergência, o maior percentual para o período de 1991-2012 (GROSS, 2015). O autor associa a falta de umidade durante este período ao evento de LN de 2010 a 2012.

Com relação à influência de oscilações globais no clima local, ainda é possível inferir sobre os valores de precipitação encontrados para o ano de 1998 na região. Os anos de 1997-1998 são marcados por um episódio de EN forte (CPTEC, 2020). A anomalia de precipitação para o inverno deste ano foi calculada em 1,2. Este foi segundo inverno mais chuvoso encontrado na série 1998-2018, com uma média de 556,5 mm. O outono deste mesmo ano também apresentou anomalia alta (1,1). Outro evento de EN considerado como forte foi o ocorrido nos anos de 2015-2016. A Campanha apresentou valores elevados de médias e anomalias positivas de precipitação no inverno (550,6 mm e 1,2, respectivamente) e na primavera de 2015 (743,2 mm e 1,1), bem como no verão e na primavera do ano seguinte. No período analisado, a ocorrência dos maiores valores encontrados no verão (2010) e no outono (2002) é concomitante com episódios de EN moderado. Chama-se a atenção especialmente para o ano de 2002 nesta região, quando as anomalias de todas as estações do ano, excedendo-se o inverno, ficaram acima de 0,9.

Ao correlacionar as anomalias de precipitação na Campanha com eventos de EN e LN durante o século XX, Valente (2018) encontrou os seguintes resultados: das 179 (176) anomalias negativas (positivas), 37 (63) foram durante períodos de EN, 56 (32) durante períodos de LN e 86 (72) quando o fenômeno se encontrava na

sua fase neutra. Ainda, segundo o autor, a maior anomalia mensal ocorreu durante um período neutro (428 mm em abril de 1959) e a menor, durante um mês de LN (116,1 mm em outubro de 1924). Para os meses de EN, a maior anomalia encontrada foi de 224,5 mm.

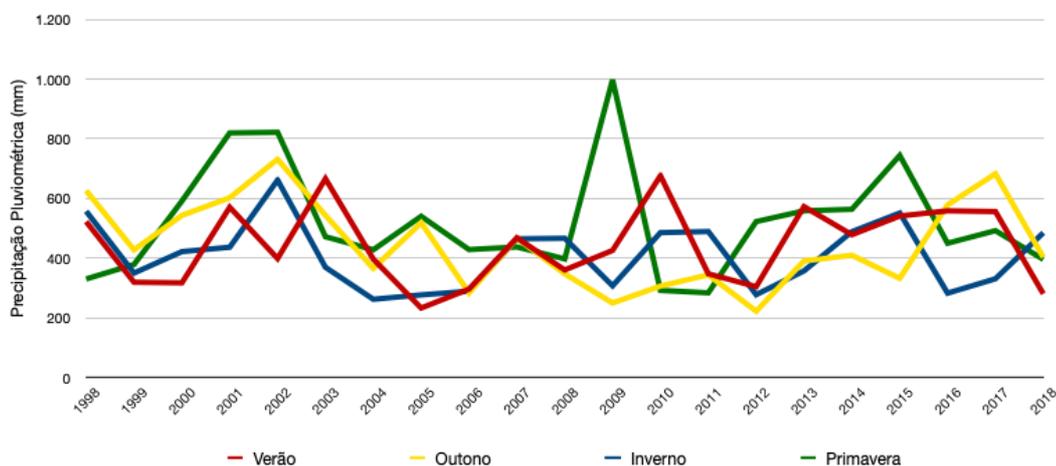


Gráfico 3 - Média de Precipitação Pluviométrica para a sub-região Campanha.

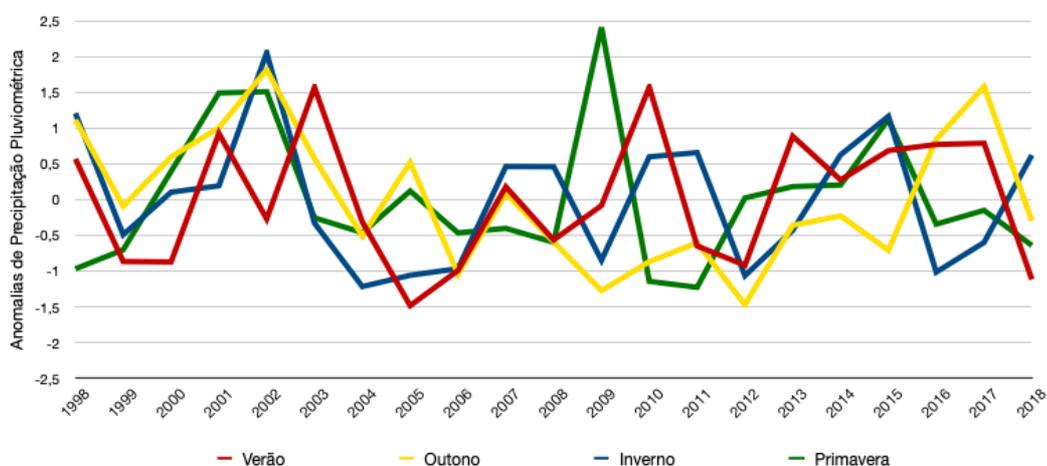


Gráfico 4 - Anomalias de precipitação pluviométrica para a sub-região Campanha.

Nota-se, ainda, picos de anomalia durante o verão e o outono de 2017 (0,8 e 1,6, respectivamente). Neste caso, é possível que tais valores anômalos possam ser relacionados ao índice SAM, o qual estava negativo durante os dois últimos meses de 2016 e nos três primeiros meses de 2017.

5.2.2 LITORAL

A frequência de anomalias positivas e negativas para todas as estações do Litoral pode ser vista nos gráficos da figura 11. Nota-se que mais da metade das

estações apresentaram anomalias negativas, das apenas 9,95% abaixo de -0,9. Dentre as estações com anomalias positivas, é possível perceber que menos de um quarto foi acima de 0,9 mm. Dos 1200 meses analisados por Valente (2018) para o setor do Litoral situado no RS, 274 apresentaram anomalias de precipitação, das quais 138 (136) negativas (positivas). Em SC, Gonçalves (2017) ao analisar a variabilidade da precipitação anual para três zonas do Litoral para o período de 1976-2015, encontrou que a área central apresentou o maior equilíbrio entre desvios positivos (19 ocorrências) e negativos (21 ocorrências). Para o sul (norte), anomalias positivas totalizaram 40% (37,5%) contra 60% (62,5%) de anomalias negativas.

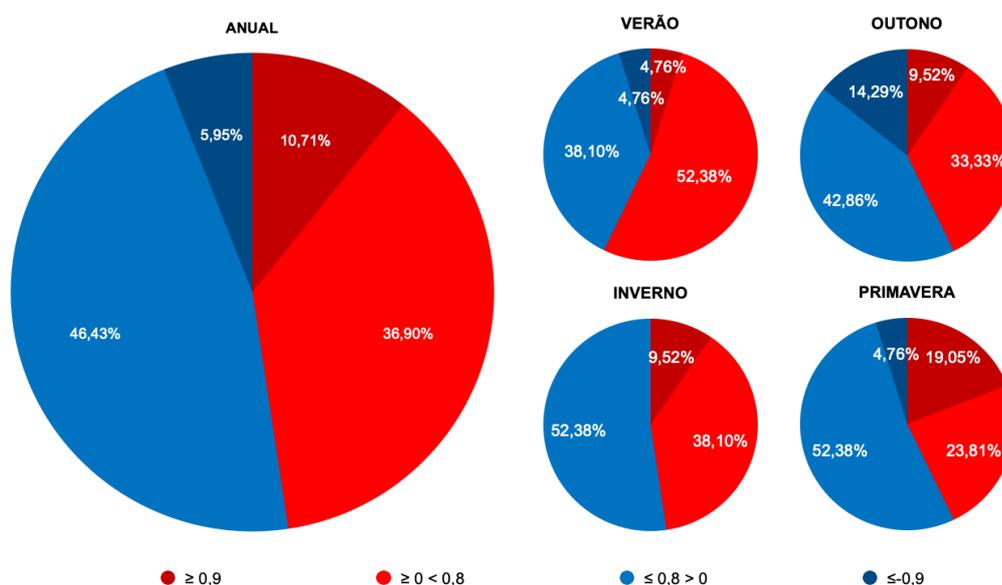


Figura 11 - Percentuais anuais e sazonais de anomalias positivas e negativas na sub-região Litoral.

Ao analisarmos apenas os meses de inverno, ressalta-se a inexistência de episódios cuja anomalia foi abaixo de -0,9, mesmo que mais da metade dos anos tenha apresentado precipitação abaixo da média da estação. Lembra-se que, em uma atmosfera mais estável, como é o caso do inverno, há menos convecção e o componente orográfico, tão importante para esta sub-região, acaba sendo enfraquecido. Ambas estações de transição apresentaram uma maior quantidade de anomalias negativas, porém, chama-se a atenção para a primavera, em que 19% dos anos apresentaram índices de anomalia acima de 0,9. O verão foi a única estação em que predominaram médias acima do usual, com 57,1% dos anos

possuindo anomalias positivas de precipitação. Ao analisarmos as médias de precipitação sazonais no Litoral, trazidas pela tabela 3 e ilustradas pelos gráficos 4 e 5, é possível perceber uma certa uniformidade no seu comportamento, não apresentando picos tão elevados quanto a sub-região da Campanha, discutida anteriormente.

	Verão		Outono		Inverno		Primavera	
	Média (mm)	Anomalia						
1998	550,8	0,4	539,3	0,9	530,3	1,6	390,6	-0,3
1999	469,6	-0,3	366,3	-0,2	339,4	-0,2	399,9	-0,3
2000	447,5	-0,5	394,7	-0,2	358,3	0,003	578,1	0,9
2001	655,6	1,2	543,2	0,9	373,6	0,1	686,6	1,6
2002	540,6	0,2	545,8	0,8	433,4	0,7	537,3	0,6
2003	578,2	0,5	356,8	-0,4	286,6	-0,6	373,3	-0,4
2004	438,8	-0,5	434,9	0,2	270,5	-0,8	443,1	0,003
2005	357,1	-1,2	526,7	0,8	298,4	-0,5	536,8	0,7
2006	401,7	-0,7	249,1	-1,2	249,6	-0,8	343,7	-0,7
2007	442,4	-0,4	447,9	0,2	405,4	0,4	414,2	-0,2
2008	549,6	0,3	378,9	-0,2	307,1	-0,5	449,7	0,04
2009	489,9	-0,1	265,2	-1	334,9	-0,2	656,3	1,4
2010	601,8	0,7	473,4	0,6	324,2	-0,3	311,7	-0,8
2011	565,7	0,4	405,3	-0,03	487,4	1,2	315,4	-0,8
2012	453,2	-0,4	227,6	-1,3	311,5	-0,4	348,6	-0,6
2013	557,1	0,4	335,7	-0,5	420,8	0,6	453,9	0,1
2014	512,9	0,1	373,1	-0,2	447,7	0,8	430,2	-0,1
2015	575,6	0,5	342	-0,4	426,3	0,6	631,9	1,3
2016	525,5	0,1	517,9	0,8	269,6	-0,8	345,2	-0,7
2017	540,4	0,3	516,2	0,8	257,7	-0,7	398,6	-0,3
2018	389,7	-0,8	324,3	-0,6	392,3	0,3	259,1	-1,2

Tabela 3 - Médias e anomalias sazonais de precipitação pluviométrica no Litoral.

Observa-se que há valores elevados de anomalias durante o outono e o inverno de 1998, 0,9 e 1,6, respectivamente. O inverno mais chuvoso de toda a

série foi o de 1998, concomitante ao episódio de EN forte. Com relação ao verão deste mesmo ano, apesar da estimativa de chuva ter sido elevada (550,8), o valor de anomalia se mostrou baixo (0,4). De acordo com Valente (2018), o EN de 1997/98 se destacou com a segunda maior sequência de anomalias positivas em meses de EN no litoral do RS durante o século XX. Schossler et al. (2018) associam o pico na precipitação anual na Planície Costeira do RS ao EN de 1997/98. O ano de 1998 aparece como anormalmente úmido para todo o litoral de SC (GONÇALVES, 2017).

O verão mais seco que a sub-região vivenciou foi no ano de 2005, cujo valor médio encontrado foi de 357,1 mm. A anomalia para o verão deste ano foi a segunda menor no Litoral, sendo de -1,2. Apesar disso, a anomalia de precipitação anual no setor catarinense do Litoral teve sinal positivo (GONÇALVES, 2017). Mesmo que o verão seja a estação mais chuvosa do Litoral, isso não se dá de maneira uniforme, sendo o norte da zona a mais úmida (GRIMM, 2009). Schossler et al. (2018) obtiveram a climatologia do Planície Costeira do RS e encontraram que o setor norte (sul) é o mais úmido (seco), com média anual de 1544 mm (1392 mm) durante o período de 1998-2013. Durante o verão, a precipitação da parte central do litoral sul rio-grandense se mostrou acima da média regional para quase todos os anos.

Dentre as menores médias de precipitação encontradas no Litoral da RSB está a do outono de 2006, cujo valor é de apenas 249 mm e anomalia de -1,1. Ainda em 2006, observa-se uma manutenção de valores baixos de precipitação na sub-região: os meses de inverno apresentam valor de precipitação semelhante ao observado no outono, 249,6 mm. Sendo assim, no Litoral, o ano de 2006 apresentou baixos valores de precipitação tanto durante o outono quanto no inverno. Durante os meses de março, abril, maio, junho e julho de 2006, houve estiagem (de suave a moderada) em grande parte do litoral do RS. Há possibilidade que este comportamento esteja associado ao SAM, que estava positivo durante os meses de março, maio, junho e julho (NCAR, 2020). As análises de Gonçalves (2017) mostram que o ano de 2006 foi anormalmente seco em todo o litoral de SC.

O ano de 2001 se mostrou particularmente úmido no Litoral, quando o verão, o outono e a primavera marcaram anomalia superior a 0,9. A média anual para o setor do Litoral localizado em SC também se mostrou acima da média durante este mesmo ano (GONÇALVES, 2017). Cabe destacar que o ano de 2009, assim como visto na sub-região da Campanha, apresentou valores de precipitação

anormalmente altos durante a primavera. Schossler et al. (2018) encontraram que, no Litoral do RS, esta foi a estação mais úmida da série 1998-2013, tendo sido setembro o mês mais anômalo. Sobre a ocorrência de valores abaixo da média, nota-se que o Litoral apresentou uma primavera anormalmente seca em 2010, o que vai de acordo com os estudos de Schossler et al. (2018). [OBJ]

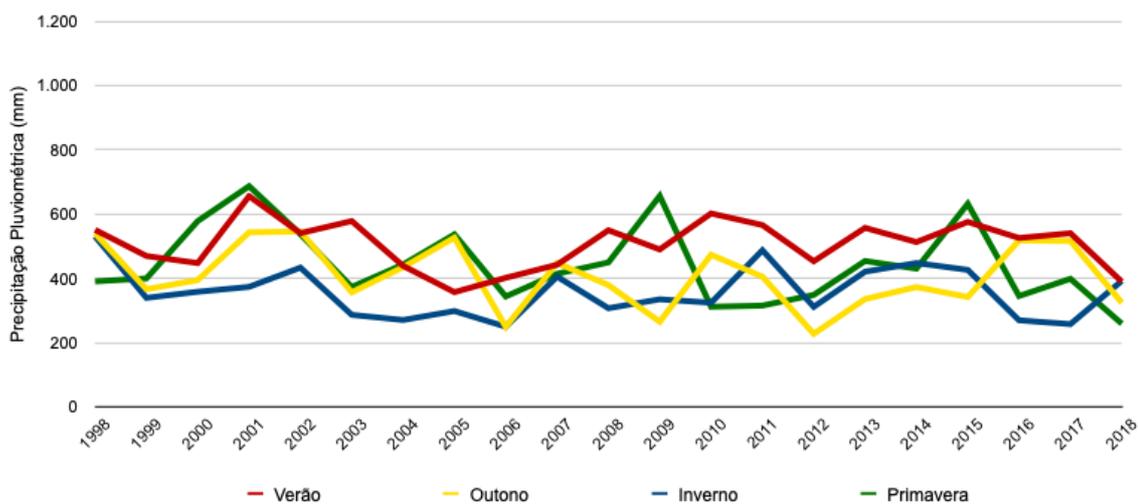


Gráfico 5 - Média de Precipitação Pluviométrica para a sub-região Litoral.

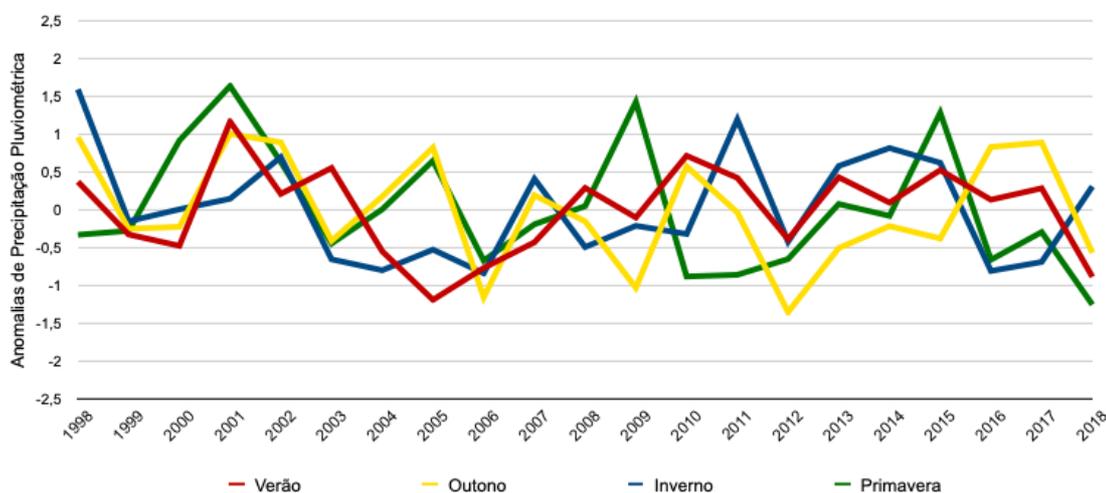


Gráfico 6 - Anomalias de precipitação pluviométrica para a sub-região Litoral.

5.2.3 PLANALTO

A figura 12 traz os gráficos de frequência de anomalias para a sub-região do Planalto, a maior em extensão territorial da RSB. É possível perceber, como para as outras sub-regiões, uma maior proporção de estações cujas anomalias de precipitação foram negativas (52,4% do período analisado). Valente (2018) encontrou resultados semelhantes para o setor do Planalto localizado no RS: das 389 anomalias climáticas ocorridas no século XX, 200 foram negativas e 189 positivas. Dentre as anomalias negativas (positivas), 43 (80) foram durante períodos de EN e 65 (37) durante períodos de LN.

Ao analisarmos, entretanto, os gráficos de cada estação, percebemos que esta característica não foi homogênea em todos os períodos do ano. Para o outono, houve uma maior ocorrência de anomalias positivas, das quais quase um quinto foi acima de 0,9 mm (9,5%). Esta frequência é semelhante àquela de eventos de anomalias negativas abaixo de -0,9.

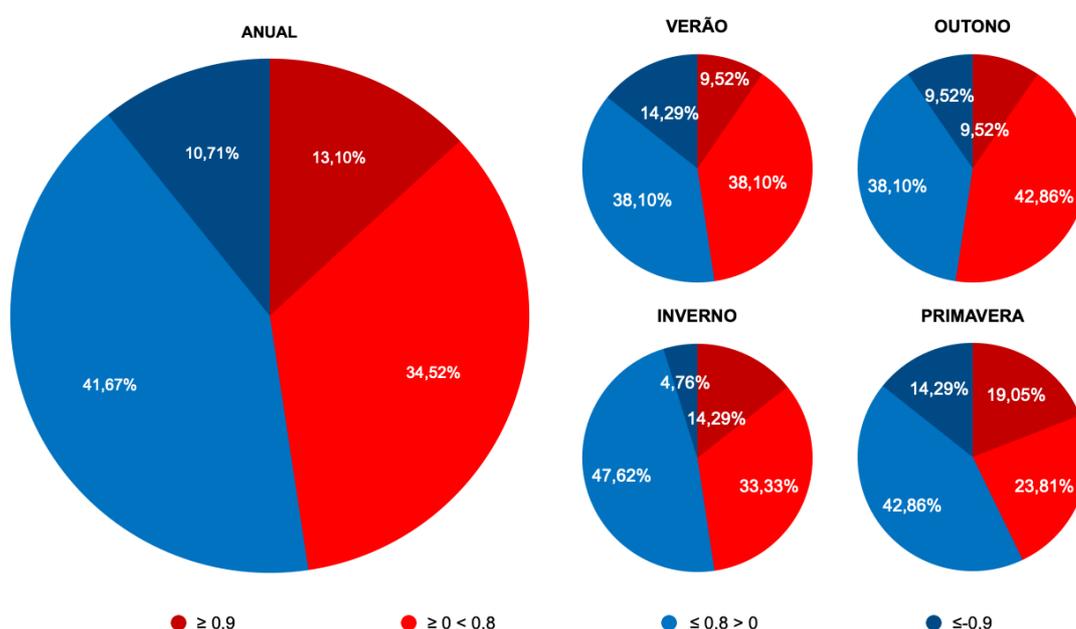


Figura 12 - Percentuais anuais e sazonais de anomalias positivas e negativas na sub-região Planalto.

A frequência de anomalias com valores baixos e altos também foi significativa para os meses de primavera. Chama-se a atenção para o grande percentual de anomalias positivas superiores a 0,9. De acordo com Viana (2009), o

relevo do Planalto, apresentando um gradiente leste-oeste, mostra-se relevante para o comportamento da precipitação nas estações de transição, principalmente na primavera. Essa característica é aliada à atuação dos CCM, desenvolvidos sobre o norte da Argentina e sul do Paraguai, que depositam grande parte da precipitação no setor oeste da sub-região. Além disso, a ascensão de massas de ar é favorecida pela elevação progressiva da altitude na direção leste (VIANA, 2009). O autor sugere, ainda, que para as primaveras do período de 1988-2007, os CCM desempenharam um grande papel na precipitação da sub-região, principalmente nos setores oeste de SC, sudoeste do PR e noroeste do RS.

Para os meses de verão, dominaram precipitações abaixo da média no Planalto. Quase um terço destas foi abaixo de -0,9. Dos 21 anos analisados, 42,8% tiveram anomalias positivas de precipitação, dos quais quase metade (19,% do total) foi considerada como alta. Viana (2009), baseado no sentido de orientação da precipitação observada no verão, sugere que os episódios de ZCAS se constituem como um dos mecanismos responsáveis pelas chuvas da sub-região. Durante esta estação, também, nota-se que há maior atividade ciclogênica sobre o oceano, diferentemente do inverno, quando acontecem majoritariamente sobre o continente (GAN e SELUCHI, 2009).

A tabela 4, ilustrada pelos gráficos 7 e 8, traz as médias e anomalias sazonais do Planalto. As duas estações mais chuvosas encontradas foram a primavera e o verão. Para a série de 1998-2018, o inverno ficou como a estação mais seca da área, tendo apresentado a menor média (194,9 mm) e as menor anomalia (-1,4) em 2006. De acordo com Grimm (2009), os menores índices de precipitação do inverno ocorrem no norte do Paraná. Este é o setor que apresenta as maiores frequências de eventos de seca meteorológica, o que pode ser justificado pela influência do regime de monções (PESSINI, 2017). A duração destes períodos de seca é, entretanto, menor do que aquelas verificadas para outros setores da sub-região.

Além dos meses de inverno, o ano de 2006 também apresentou o outono mais seco da série na região do Planalto, apresentando anomalia de -1,2. Os valores do verão deste ano também ficaram abaixo da média, com uma anomalia de -1,2. O verão mais seco, entretanto, foi no ano de 2005, quando a região apresentou precipitação estimada em 357,5 mm e anomalia com valor de -1,3. Esse

comportamento pode ser relacionado ao índice SAM, que se encontrava positivo durante esse período.

Pode-se observar que foi no ano de 1998 que foram atingidos os maiores valores médios de precipitação no outono (696,9). O valor de anomalia para este episódio é o segundo maior encontrado para toda a série temporal (1,6).

	Verão		Outono		Inverno		Primavera	
	Média (mm)	Anomalia						
1998	521,8	-0,2	696,9	1,6	443,8	0,6	548,9	0,1
1999	514,4	-0,2	386,8	-0,4	311,0	-0,5	369,9	-0,9
2000	497,2	-0,3	368,4	-0,7	380,0	0,1	702,5	0,9
2001	713,3	1,1	472,1	0,1	332,2	-0,2	510,2	-0,2
2002	536,2	0,009	521,5	0,4	380,7	0,1	734,1	1,1
2003	631,3	0,5	399,9	-0,4	264,4	-0,7	470,9	-0,3
2004	520,6	-0,2	436,9	0,1	263,1	-0,8	544,6	0,1
2005	357,5	-1,3	512,3	0,3	376,6	0,1	598,9	0,4
2006	372,9	-1,2	263,9	-1,2	194,9	-1,4	487,5	-0,2
2007	600,5	0,4	539,0	0,5	278,8	-0,7	502,2	-0,2
2008	496,3	-0,3	417,6	-0,1	365,2	0,02	528,1	-0,01
2009	427,4	-0,8	285,3	-1,1	449,8	0,6	853,6	1,9
2010	674,2	0,8	532,6	0,6	274,0	-0,7	407,2	-0,7
2011	642,8	0,7	343,4	-0,7	560,9	1,4	332,7	-1,2
2012	391,1	-1	323,5	-0,8	339,8	-0,2	410,0	-0,7
2013	634,1	0,5	475,2	0,2	485,8	0,8	497,2	-0,2
2014	470	-0,5	566,1	0,7	495,6	0,9	562,4	0,7
2015	662,8	0,8	427,4	-0,107	517,9	1,1	763,4	1,4
2016	744,1	1,3	517,0	0,445	355,5	-0,1	438,9	-0,5
2017	557,2	0,042	662,4	1,297	312,7	-0,4	576,4	0,2
2018	535,9	-0,066	345,7	-0,754	310	-0,4	332,6	-1,2

Tabela 4 - Médias e anomalias sazonais de precipitação pluviométrica no Planalto.

O maior valor de anomalia encontrado no Planalto foi durante a primavera de 2009 (1,9). Esta primavera se mostrou úmida para todas as sub-regiões analisadas. Cabe ressaltar, também, o verão de 2016, ano de EN forte, quando o valor de precipitação estimado do Planalto chegou a 744,1 mm e anomalia de 1,3.

Por outro lado, a primavera mais seca encontrada na série para o Planalto foi no ano de 2018 (média de 332,5 mm e anomalia de -1,2). Neste período, o índice SAM estava positivo, diminuindo a atividade ciclogênica e deslocando a trajetória dos ciclones no Hemisfério Sul para o sul (REBOITA et al., 2009).

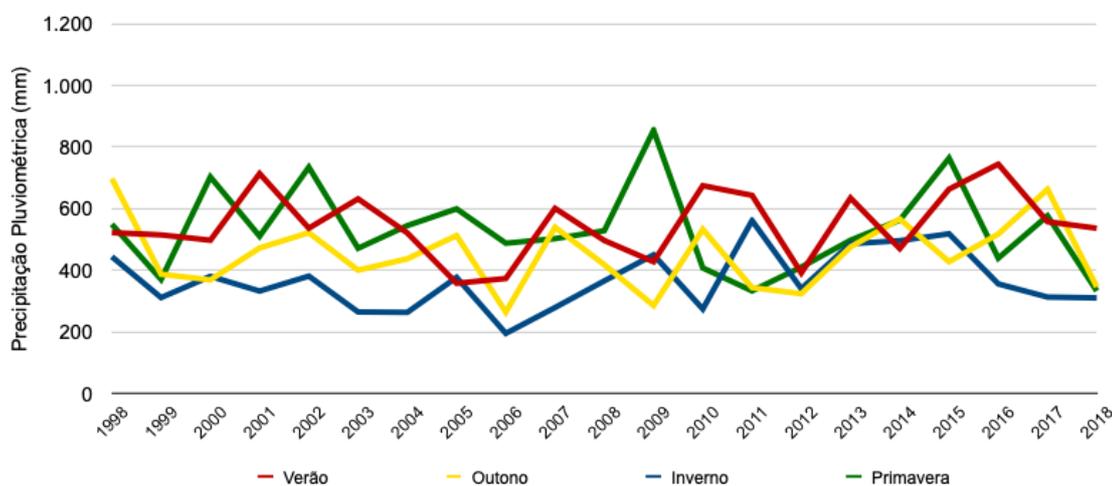


Gráfico 7 - Média de Precipitação Pluviométrica para a sub-região Planalto.

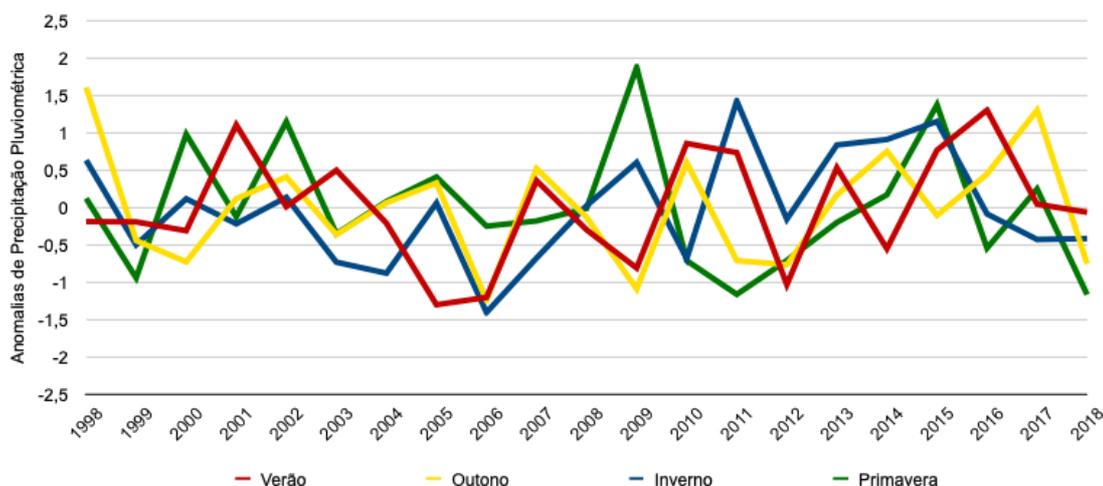


Gráfico 8 - Anomalias de precipitação pluviométrica para a sub-região Planalto.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho propôs obter as anomalias de precipitação da RSB no período de 1998-2019 a partir de dados de sensoriamento remoto (TRMM). A região estudada foi dividida em três sub-regiões geomorfológicas que apresentam semelhanças no comportamento da precipitação - Campanha, Litoral e Planalto - e a análise das anomalias de precipitação de cada uma destas foi feita sazonalmente. Dessa forma, as principais conclusões foram as seguintes:

- Para o período temporal analisado, os meses quentes contribuíram com 55% da precipitação anual na RSB, dos quais 27,55% no verão e 27,53% na primavera. Quando analisadas as médias de cada sub-região, percebe-se que os valores mais elevados ocorrem durante o verão no Litoral e no Planalto e durante a primavera na Campanha.
- O inverno foi a estação do ano cuja contribuição para o precipitado anualmente na RSB foi a mais baixa (20,8%). Essa característica se manteve quando analisados os totais de cada sub-região.
- Na Campanha, notou-se a maior frequência de anomalias altas e baixas da RSB, as quais somaram 34,5% do total anual. Além disso, foram obtidos neste setor os maiores picos de anomalia, notadamente na primavera de 2009 (2,4). Esta foi a estação do ano em que se perceberam uma maior quantidade de anomalias altas (19% do total), assim como durante o outono (19%). Anomalias baixas foram frequentes nos meses de verão (19%) e no inverno (23,8%).
- O Litoral foi a sub-região cujo comportamento da precipitação foi o mais constante durante todas as estações do ano. As anomalias mais próximas do valor zero representaram 83% do total anual. A estação mais úmida deste setor foi o verão, no qual nenhuma média ficou abaixo de 350 mm. As anomalias positivas foram maioria (57,1%) durante esta estação, mas apenas 4,7% foi acima de 0,9. Por outro lado, o inverno, estação mais seca

desse setor, apresentou precipitação abaixo da média na maioria dos anos, apesar de não ter apresentado nenhuma anomalia abaixo de $-0,9$. A maior frequência de anomalias altas foi encontrada na primavera (19% do total da estação).

- O Planalto é o setor mais úmido da RSB, tendo apresentado as maiores médias em todas as estações do ano, com exceção do inverno, cujos maiores índices foram encontrados na Campanha. Nesse setor, 76,1% do total de anomalias são valores próximos de zero, dos quais 41,6% são negativos e 34,5%, positivos. Quando analisadas as frequências de cada estação do ano, nota-se que apenas o outono teve uma maioria de anomalias positivas, somando 52,38%, um quinto acima de $0,9$. No inverno e na primavera, apesar de ter se achado uma maior frequência de anomalias negativas, notou-se que as anomalias acima de $0,9$ ocorreram em uma quantidade significativa de anos (14,3 e 19%, respectivamente).
- Em todas as sub-regiões analisadas, a primavera registrou a maior ocorrência de anomalias positivas. Durante os meses quentes são os sistemas convectivos e em especial os CCMs os responsáveis por grande parte do aporte de precipitação na RSB, o que usualmente acontece de maneira concentrada. Em todos os setores, anomalias acima de $0,9$ representaram 19% do total dessa estação. Além disso, foi durante a primavera de 2009 que se atingiram os maiores picos de anomalia de toda a RSB (2,4 na Campanha, 1,6 no Litoral e 1,8 no Planalto). Este pico vai de acordo com os resultados obtidos por Gross (2015) e Schossler et al. (2018).
- O comportamento da precipitação no inverno, outono e verão é bastante variado de acordo com cada setor da RSB, evidenciando a existência de diferentes mecanismos de precipitação. Enquanto na Campanha as anomalias baixas contribuíram para 23,8% dos invernos, foram inexistentes no Litoral e somaram apenas 4,7% do Planalto. Por outro lado, nota-se que, enquanto o outono teve uma maioria de anomalias negativas nos setores Campanha e Litoral (57,1% dos quais 14,3% abaixo de $-0,9$ para ambos), não o teve no Planalto (47,6% dos quais 9,5% abaixo de $-0,9$). Já no verão,

notou-se uma alta frequência de anomalias baixas (19% do total) e alta (14,3%) na Campanha, diferentemente do Litoral (4,7% de anomalias baixas e 4,7% de anomalias altas).

- Para todas as três regiões, Campanha, Litoral e Planalto, as maiores (menores) anomalias ocorreram em anos de EN (LN), ou quando o índice SAM estava negativo (positivo). Em 1998, ano de EN forte, as anomalias do inverno e do outono na Campanha foram calculadas em 1,2 e 1,1; no Litoral, em 1,6 e 0,9; e no Planalto, em 0,6 e 1,6. Além disso, todas as sub-regiões apresentaram anomalias altas na primavera de 2015, durante outro episódio de EN forte (1,1 na Campanha, 1,3 no Litoral e 1,4 no Planalto). Já em 2006, quando o índice SAM se encontrava positivo, notou-se a ocorrência de anomalias negativas baixas em todos os setores da RSB durante o verão (-0,9 na Campanha, -0,7 no Litoral e -1,2 no Planalto), o outono (-1 na Campanha, -1,2 no Litoral e -1,2 no Planalto) e o inverno (-0,9 na Campanha, -0,8 no Litoral e -1,4 no Planalto).

REFERÊNCIAS

ANDREOLI, R.V.; KAYANO, M.T. Previsões de anomalias de temperatura da superfície do mar no Atlântico Tropical usando análises de correlações canônicas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.20, n. 1, p. 93-104, 2005.

ARBLASTER, J; MEEHL, G. A. Contributions of external forcings to Southern Annular Mode trends. **Journal of Climatology**, v.19, p.2896-2906, 2006.

ARNFIELD, A.J. **Köppen Climate Classification**. In: Encyclopædia Britannica. Disponível em: <<https://www.britannica.com/science/Koppen-climate-classification>>. Acesso em: 10 de abril de 2020.

BARROS, V.; GONZÁLEZ, M.; LIEBMANN, B.; CAMILLONI, I. Influence of the South Atlantic Convergence Zone and South Atlantic Sea surface temperature on interannual summer rainfall variability in Southeastern South America. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 67, p. 123—133, 2000.

BARRY, R.G.; CHORLEY, R.J. **Atmosfera, Tempo e Clima**. Porto Alegre: Bookman.9 ed. 2013. 512 p.

CAPISTRANO, V.B. 2012. **Precipitação na América do Sul associada às Variabilidades de Baixa Frequência na TSM dos Oceanos Atlântico e Pacífico**. São José dos Campos. Tese de Doutorado no Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 171 p.

CARVALHO, L.M.V.C.; JONES, C. Zona de Convergência do Atlântico Sul. In: CAVALCANTI, I.F.A; FERREIRA, N.J.; SILVA, M.G.A.J. e DIAS, M.A.F.S. (orgs.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 95-110.

CAVALCANTI, I. F. A.; AMBRIZZI, T. Teleconexões e suas influências no Brasil. In: CAVALCANTI, I.F.A; FERREIRA, N.J.; SILVA, M.G.A.J. e DIAS, M.A.F.S. (orgs.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 317—336.

CAVALCANTI, I.F.A.; KOUSKY, V.E. Frentes Frias sobre o Brasil. In: CAVALCANTI, I.F.A; FERREIRA, N.J.; SILVA, M.G.A.J. e DIAS, M.A.F.S. (orgs.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 135-148.

CHEN, D.; CHEN, H. W. Using the Köppen Classification to quantify variation and change: an exemple of 1901-2010. **Environmental Development**, v. 6, p.69-79, 2013.

CHRISTOFERSON, R. W. **Geosystems: an introduction to Physical Geography**. Nova Iorque: Harper Collins Publishers. 8 ed. 2012. 688 p.

CPTEC, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. **Monitoramento do El Niño durante NDJ-2019/2020**. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: 26 de maio de 2020.

ENGEPLUS. **Santa Catarina contabiliza perdas na agricultura devido à estiagem**. Disponível em: <<http://www.engeplus.com.br/noticia/geral/2020/santa-catarina-contabiliza-perdas-na-agricultura-devido-a-estiagem>>. Acesso em: 07 de maio de 2020.

G1, Globo. **Estiagem provoca perdas na agricultura e racionamento de água em diversas cidades do RS.** Disponível em: <<https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2020/03/28/estiagem-provoca-perdas-na-agricultura-e-rationamento-de-agua-em-diversas-cidades-do-rs.ghtml>>. Acesso em: 07 de maio de 2020.

G1, Globo. **Estiagem no Paraná completa 10 meses e compromete sistema de abastecimento de água.** Disponível em: <<https://g1.globo.com/pr/parana/noticia/2020/05/06/estiagem-no-parana-completa-10-meses-e-compromete-sistema-de-abastecimento-de-agua-fotos.ghtml>>. Acesso em: 07 de maio de 2020.

GAN, M. A.; RAO, V.B.; Surface Cyclogenesis over South America. **Monthly Weather Review**, v. 119, p. 1293—1302, 1991.

GAN, M.A.; SELUCHI, M.E. Ciclones e Ciclogênese. In: CAVALCANTI, I.F.A; FERREIRA, N.J.; SILVA, M.G.A.J. e DIAS, M.A.F.S. (orgs.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, p. 111-125, 2009.

GILLET, N. P.; KELL, T. D.; JONES, P. D. Regional climate impacts of Southern Annular Mode. **Geophysical Research Letters**, v. 33, L23704, 2006.

GONÇALVES, F.N. **Índices de Precipitação para o Estado de Santa Catarina**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, UNESC, 202 p. 2017.

GRAMCIONINOV, C.B.; HODGES, K.I.; CAMARGO, R. The properties and genesis environments of South Atlantic cyclones. **Climate Dynamics**, 2018.

GRIMM, M. A.; FERRAZ, S. E. T.; GOMES, J. Precipitation anomalies in southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. **Journal of Climate**, v. 11, p. 2863-2880, 1998.

GRIMM, A.M. Clima da Região Sul do Brasil. In: CAVALCANTI, I.F.A; FERREIRA, N.J.; SILVA, M.G.A.J. e DIAS, M.A.F.S. (orgs.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 259-275.

GROSS, J. A. 2015. **Índice de Anomalia de Chuva (IAC) dos Municípios do Rio Grande do Sul Afetados pelas Estiagens do Período de 1991 a 2012**. Santa Maria. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências, Universidade Federal de Santa Maria. 99p.

GUPTA, A. S.; ENGLAND, M. H. Coupled ocean-atmosphere-ice response to variations in the Southern Annular Mode. **Journal of Climate**, v. 19, p.4457-4486, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Geografia do Brasil - Região Sul**. Rio de Janeiro: IBGE/SERGRAF. v. 5, 1977.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Portal Cidades**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/>>. Acesso em: 15 de novembro de 2019.

INPE, 2013. **Estabilidade Atmosférica e Desenvolvimento de Nuvens**. Apostila Interativa, desenvolvida como matéria de apoio à disciplina de Fundamentos de Ciências Atmosféricas do Curso de Ciências Atmosféricas da UFI. São José dos Campos, 58 p.

IPCC, 2013. Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility. In: STOCKER et al. (orgs.). **Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. [Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 1029-1135.

IPCC, 2018. **Annex I: Glossary**. Em Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. [Matthews, J.B.R. (ed.)]

IPCC, 2014. **Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of working groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Core Writing Team, R. K. Pachauri and L. A. Meyer [(eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

IRI, International Research Institute for Climate and Society. **ENSO resources**. Disponível em: <<https://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/enso/>>. Acesso em: 15 de junho de 2020.

JANTSCH, M. **Identificação de Ciclones Extratropicais na Região Sul do Brasil em 2018**. Porto Alegre. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação de Bacharelado em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2019, 38 p.

JUSTI DA SILVA, M.G.A; SILVA DIAS, M.A.F. 2002. A frequência de fenômenos meteorológicos na América do Sul: uma climatologia. **Anais do XII Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.

KIDDER, S.Q.; HAAR, V. **Satellite meteorology: an introduction**. Academic Press, 1995. 1ed. 466 p.

KUMMEROW, C. *et al.* The Status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after Two Years in Orbit. **Journal of Applied Meteorology**. 2000, v.39. p. 1965–1982.

MADDOX, R.A. Mesoscale Convective Complexes. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 61, n. 11, p. 1374—1987, 1980.

MANTUA, N.J. *et al.* Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon productio. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 78. P. 1069-1079, 1997.

MARSHALL, G. J. Trends in the Southern Annular Mode from observation and reanalyses. **Journal of Climate**, v.16, p.4134-4143, 2003.

MENDONÇA, F. DANNI-OLIVEIRA, I.M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 206 p.

MORAES, F.D.S.; AQUINO, F.E.; MOTE, T.L.; DURKEE, J.D.; MATTINGLY, K.S. Atmospheric characteristics favorable for the development of mesoscale convective complexes in southern Brazil. **Climate Research**, v.80, p. 43-58, 2020.

NASA, National Aeronautics and Space Administration. **Tropical Rainfall Measuring Mission - TRMM**. Disponível em: <<https://pmm.nasa.gov/TRMM/>>. Acesso em 20 de novembro de 2019.

NCAR, National Center for Atmospheric Research. **Marshall Southern Annular Mode (SAM) Index (station based)**. Disponível em: <<https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/marshall-southern-annular-mode-sam-index-station-based>>. Acesso em: 26 de maio de 2020.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 2 ed. 1989.

NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration. **Climate Prediction Center**. Disponível em: <<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/teleintro.shtml>>. Acesso em 22 Nov. 2019.

NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration. **Multivariate ENSO Index Version 2 (MEI.v2)**. Disponível em: <<https://psl.noaa.gov/enso/mei/>>. Acesso em 29 de abril de 2020.

NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration. **Supplemental Monthly Temperature Normals**. Disponível em: <<https://www.ncdc.noaa.gov/normalsPDFaccess/>>. Acesso em: 07 de abril de 2020.

NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration. **Global Climate Report - Annual 2019**. Disponível em: <<https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201913#precip>>. Acesso em: 05 de maio de 2020.

NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration. **Climate at a Glance: Global Time Series, published April 2020**. Disponível em: <<https://www.ncdc.noaa.gov/cag/>>. Acesso em: 07 de maio de 2020.

NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration. El Niño & La Niña (El Niño-Southern Oscillation). Disponível em: <<https://www.climate.gov/enso>>. Acesso em: 08 de maio de 2020.

NWS, National Weather Service. **JetStream - Air Masses**. Disponível em: <<https://www.weather.gov/jetstream/airmass>>. Acesso em 10 de abril de 2020.

PESSINI, P. B. **Estudos dos Eventos de Seca Meteorológica na Região Sul do Brasil**. Florianópolis. Trabalho de Conclusão de Curso para a Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. 2017. 87 p.

REBOITA, M.S.; AMBRIZZI, T.; DA ROCHA, R.P. Relationship between the Southern Annular Mode and Southern Hemisphere Atmospheric Systems. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n.1, 48-55, 2009.

REBOITA, M.S.; GAN, M. A.; DA 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.

REBOITA, M.S. GAN, M.A.; DA ROCHA, R.P.; CUSTÓDIO, I.S.; Ciclones em Superfície nas Latitudes Austrais: Parte I-Revisão Bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.32, n.2, 171-186, 2017.

SATYAMURTY, P.; NOBRE, C.A.; SILVA DIAS, P.L. **South America. Meteorological Monographs**. Chapter 3C, v. 27, n. 49, p. 119—139, 1998.

SCHIMITZ, C.M. A precipitação de neve no Brasil Meridional. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geografia, UFRGS, 2007. 79 p.

SCHOSSLER, V.; SIMÕES, J. C.; AQUINO, F. E.; VIANA, D. R. Precipitation Anomalies in the Brazilian Southern Coast Related to the SAM and ENSO Climate Variability Modes. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.23, e14, 2018.

SILVESTRI, G.E.; VERA, C.S. Antarctic Oscillation signal on precipitation anomalies over southeastern South America. **Geophysical Research Letters**, v.30, n.21, 4p., 2003.

SINCLAIR, M. R. A Climatology of Cyclogenesis for the Southern Hemisphere. **Monthly Weather Review**, v. 123, P. 1602-1619, 2005.

TRENBERTH, K. E. The definition of El Niño. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.78 (12), p. 2771-2777, 1997.

TRENBERTH, K. E.; HOAR, T.J. El Niño and Climate. **Geophysical Research Letters**, v. 24, e. 23, p. 3057-3060, 1997.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F.J. **Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicação brasileiras**. São Paulo: Nobel, 1980. 374 p.

UNFCC, **United Nations Framework Convention of Climate Change**. Nova Iorque: United Nations, General Assembly, 1992.

VALENTE, P. T. **Eventos Extremos de Precipitação no Rio Grande do Sul no Século XX a partir de Dados de Reanálise e Registros Históricos**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geografia, UFRGS, 2018. 99 p.

VELASCO, I.; FRITSH, J. Mesoscale Convective Complexes in the Americas. **Journal of Geophysical Research**, v. 92, 1987, p. 9591–9613.

VIANA, D.R. **Comportamento Espaço-Temporal da Precipitação na Região Sul do Brasil Utilizando Dados TRMM e SRTM**. São José dos Campos. Dissertação de Mestrado no Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2009. 164 p.

VIANA, D.R.; AQUINO, F.E.; BURGOBRAGA, R.; FERREIRA, N.J.; Mesoscale Convective Complexes in Rio Grande do Sul between October and December of 2003 and associated precipitation. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 3. 2009, p. 276—291.

VIANA, D.R. **Interação Trópicos/Extra-trópicos: contribuição dos jatos de baixos níveis no transporte de umidade para a região subtropical da América do Sul**. Monografia para a disciplina de Tópicos Especiais em Climatologia, INPE — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2011.

WALLACE, J.M.; HOBBS, P.V. **Atmospheric Science: an introductory survey**. International Geophysics Series: Burlington, Academic Press, Elsevier, 2 ed., 2006. 627 p.

WMO, World Meteorological Organisation. **FAQs - Climate**. Disponível em: <<https://public.wmo.int/en/about-us/FAQs/faqs-climate>>. Acesso em: 09 de abril de 2020.