

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

MAIQUEL JANTSCH

**CLIMATOLOGIA DE CICLONES EXTRATROPICAIS NA REGIÃO SUL DO BRASIL
DE 2000 A 2016**

PORTO ALEGRE, FEVEREIRO DE 2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**CLIMATOLOGIA DE CICLONES EXTRATROPICAIS NA REGIÃO SUL DO
BRASIL DE 2000 A 2016**

MAIQUEL JANTSCH

Orientador: Prof. Dr. Francisco Eliseu Aquino

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Nelson Luiz Sambaqui Gruber - UFRGS

Dr. Denílson Ribeiro Viana - UFRGS

Dra. Venisse Schossler - INCT CRIOSFERA

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-graduação em Geografia como
requisito para obtenção do título de
Mestre em Geografia.

PORTO ALEGRE, FEVEREIRO DE 2019

CIP - Catalogação na Publicação

Jantsch, Maiquel
CLIMATOLOGIA DE CICLONES EXTRATROPICAIS NA REGIÃO
SUL DO BRASIL DE 2000 A 2016 / Maiquel Jantsch. --
2019.
67 f.
Orientador: Francisco Eliseu Aquino.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa
de Pós-Graduação em Geografia, Porto Alegre, BR-RS,
2019.

1. Climatologia. 2. Ciclogênese. 3. Variabilidade
Climática. 4. Reanálise. I. Aquino, Francisco Eliseu,
orient. II. Título.

AGRADECIMENTOS

Aos meus familiares pela base, carinho e apoio em todos os momentos da minha vida.

Ao meu orientador, Francisco Eliseu Aquino, pela oportunidade, apoio, sugestões e o entusiasmo de sempre pela Climatologia.

À minha namorada, Ágata, pela ajuda, companheirismo e incentivo em todos os momentos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia e Instituto de Geociências da UFRGS pela estrutura e visão de mundo proporcionados pelos cursos e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pelos recursos.

À banca examinadora da qualificação pelas contribuições que aprimoraram os resultados da pesquisa.

Aos colegas da área de forma geral e a todos que direta ou indiretamente contribuíram.

RESUMO

Neste trabalho foram identificados os ciclones extratropicais que ocorreram no Sul do Brasil entre os anos de 2000 a 2016. A área de estudo da pesquisa foi limitada por 15°S e 40°S de latitude e 30°W e 60°W de longitude. Para a identificação dos ciclones utilizou-se os dados da reanálise do *Climate Forecast System Reanalysis* (CFSR), que foram plotados em Python, gerando os mapas onde as ciclogêneses foram identificadas. As cartas sinóticas do Centro de Hidrografia da Marinha foram utilizadas como material auxiliar em determinados casos. Com isso, foi criado um banco de dados com as datas de ocorrências dos ciclones extratropicais identificados e o nível de pressão atmosférica mínima dos ciclones em dois diferentes horários diários (00 UTC e 12 UTC). O objetivo foi fazer uma climatologia recente para identificar quantos ciclones ocorreram em cada ano, a densidade na área de estudo e os níveis de pressão atmosférica de cada sistema. O ano com a maior quantidade de ciclones identificados foi 2011, com 50, seguido de 2010 e 2016, com 47. O período entre 2009 a 2011 foi o de maior ocorrência de ciclones. Os anos de 2000, 2001, 2004, 2008, 2014 e 2015 foram os que tiveram a menor quantidade de ciclones identificados, com 36 sistemas, o que representou 15 eventos a menos do que o ano com mais ocorrências. A densidade de ocorrência dos ciclones variou durante as estações do ano. No verão houveram duas áreas principais de ocorrência: a região do Rio da Prata até a costa do Rio Grande do Sul e a região da costa do Sudeste do Brasil. No outono houve redução de ciclones na costa do Sudeste e aumento entre o Rio da Prata e costa gaúcha. Nos meses de inverno e primavera houve uma predominância de ciclones na região do Rio da Prata e costa do Rio Grande do Sul. A primavera foi a estação do ano com a menor média de pressão atmosférica (1001,72 hPa). O ano com a menor média de pressão atmosférica foi 2007 (1001,81 hPa).

Palavras-chave: Climatologia, Ciclogênese; Reanálise; Variabilidade Climática.

ABSTRACT

In this work, the extratropical cyclones occurring in southern Brazil between 2000 and 2016 were identified. The research area was limited by 15 ° S and 40 ° S latitude and 30 ° W and 60 ° W longitude. For the identification of the cyclones, were used the data from the Climate Forecast System Reanalysis (CFSR), which were plotted in Python to generate the maps where the cyclogenesis were identified. The synoptic charts of the Navy Hydrography Center of Brazil were used as assistance in certain cases of difficult identification. A database was created with the occurrence dates of extratropical cyclones between 2000 and 2016 and the minimum atmospheric pressure level of cyclones identified at two different times per day, 00 UTC and 12 UTC. The objective was to do a recent climatology study to discover how many cyclones occurred each year, the density of cyclones in the study area and the average atmospheric pressure. The year with the highest number of identified cyclones was 2011, with 50 events. The second years with the highest amount was 2010 and 2016 (47). The period from 2009 to 2011 was when more cyclones occurred. The years with the lowest numbers of cyclones was 2000, 2001, 2004, 2008, 2014 e 2015, with 35, being 15 cyclones less than the year with the largest amount. The density of occurrence of the cyclones varied during the seasons of the years. In the summer, there were two main areas of occurrence: the region of Rio da Prata to the coast of Rio Grande do Sul state and the region of the Southeast coast of Brazil. In the autumn, there were reduction of cyclones in the Southeast Coast and increase in the area of Rio da Prata and the coast of Rio Grande do Sul. In the winter and spring the predominance of cyclones occurred in the Rio da Prata region and the Rio Grande do Sul coast. The spring also was the season with the lowest average atmospheric pressure (1001.72 hPa). The year with the lowest average pressure was 2007 (1001.81 hPa).

Key-words: Climatology; Cyclogenesis; Reanalysis; Climatic Variability.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Justificativa	11
1.2 Objetivo geral.....	13
1.3 Objetivos específicos.....	13
2 CICLOGÊNESE	14
2.1 Áreas ciclogênicas na América do Sul.....	18
2.2 Ciclones explosivos	19
2.3 Ondas de Rossby	20
2.4 Modo Anular do Hemisfério Sul	21
2.5 Correntes de Jato.....	21
2.5.1 Tipos de Correntes de Jato	22
2.6 El Niño - Oscilação Sul	23
3 MÉTODOS E TÉCNICAS	25
3.1 Área de estudo.....	25
3.2 Dados de Reanálises.....	26
3.3 Cartas Sinóticas do Centro de Hidrografia da Marinha	28
3.4 Python.....	30
3.5 Identificação das ciclogêneses	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
4.1 Dados gerais.....	33
4.2 Quantidade de ciclogêneses ocorridas.....	34
4.2.1 Sazonalidade das ciclogêneses	36
4.2.2 Média de ciclogêneses em cada estação	39
4.3 Densidade de ciclones.....	39
4.3.1 Sazonalidade da densidade de ciclogêneses.....	44
4.4 Pressão ao nível médio do mar dos ciclones identificados.....	47
4.4.1 Média de pressão sazonal dos ciclones	48
4.4.2 Média de pressão sazonal da primeira isóbara fechada dos ciclones	51
4.4.3 Ciclones com os menores valores de pressão atmosférica	53
5 ESTUDOS DE CASO	55
5.1 Ciclones de maio de 2010.....	56
5.2 Ciclone de outubro de 2016	60
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
REFERÊNCIAS	64

Lista de Figuras

Figura 1 – Ciclo de vida dos ciclones.	14
Figura 2 - Estágios do desenvolvimento de uma ciclogênese típica.	17
Figura 3 - Distribuição anual da frequência de ciclogêneses na América do Sul e Oceano Atlântico Sul (1979-1988).	19
Figura 4 – Posição do JP em relação à frente fria.	22
Figura 5 - Posição do JP em relação às frentes em superfície.	23
Figura 6 – Área de estudo, localizada no quadro em vermelho no mapa da América do Sul e do setor oeste do Oceano Atlântico Sul.	25
Figura 7 – Carta sinótica, em superfície, do dia 27 de outubro de 2016 no horário de 00h - UTC.	29
Figura 8 – Dados do CFSR para o dia 27/10/2016 no horário de 00h UTC.	30
Figura 9 – Total de Ciclogêneses encontradas por ano entre 2000 e 2016.	35
Figura 10 – Oceanic Nino Index (ONI), índice que exhibe as variações de intensidade do El Niño anualmente.	36
Figura 11 – Total de ciclones nas estações do ano entre 2000 e 2016.	37
Figura 12 – Média de ciclones anuais em cada estação do ano entre 2000 a 2016.	39
Figura 13 – Densidade de ocorrência de ciclogêneses entre 2000 e 2016.	41
Figura 14 - Mapa da localização do ponto de mínima pressão atmosférica.	43
Figura 15 – Sazonalidade da densidade de ciclogêneses entre 2000 a 2016.	45
Figura 16 – Média anual de pressão atmosférica (hPa) de todos os ciclones estudados.	47
Figura 17 – Média anual de pressão atmosférica (hPa) da primeira isóbara fechada de cada ciclone identificado entre 2000 a 2016.	48
Figura 18 – Média anual de pressão atmosférica (hPa) dos ciclones nas estações do ano.	50
Figura 19 – Média anual de pressão atmosférica (hPa) da primeira isóbara fechada de cada ciclone nas estações do ano.	52
Figura 20 – Ciclones com pressão atmosférica menor que 981 hPa em um ou mais horários por ano.	54
Figura 21 – Localização da primeira isóbara fechada de todos os ciclones identificados com pressão atmosférica mínima menor que 981 hPa em pelo menos um horário.	55
Figura 22 – Localização de todas as pressões atmosféricas menores que 981 hPa independentemente de ser a primeira isóbara fechada da ciclogênese ou não.	55
Figura 23 – Campos das isóbaras e o deslocamento do ciclone entre 4 e 6 de maio de 2010.	58
Figura 24 – Campos das isóbaras e o deslocamento do ciclone entre 18 e 20 de maio de 2010.	59
Figura 25 – Campos das isóbaras e o deslocamento do ciclone entre 26 e 29 de outubro de 2016.	61

Lista de Tabelas

Tabela 1 – El Niño e La Niña ocorridos entre 1986 e 2015 e suas intensidades.	24
Tabela 2 – Vantagens e desvantagens do CFSR.	27
Tabela 3 – Ciclones extratropicais identificados com maior ciclo de vida na área de pesquisa entre os anos de 2000 a 2016.	34
Tabela 4 – Dados dos dois ciclones identificados em maio de 2010 e que ocasionaram marés de tempestade na praia da Armação em Florianópolis/SC.	57
Tabela 5 – Dados do ciclones identificado em outubro de 2010 e que ocasionou uma maré de tempestade que provocou estrago na praia do Hermenegildo, em Santa Vitória do Palmar no Rio Grande do Sul, e nos litorais Sul e Sudeste do Brasil.	60

Lista de abreviaturas

AMS - *American Meteorological Society*
CFSR - *Climate Forecast System Reanalysis*
CO₂ - Dióxido de Carbono
ERA-Interim - *European Reanalysis Agency*
ENOS – El Niño – Oscilação Sul
hPa – Hectopascal
HN – Hemisfério Norte
HS – Hemisfério Sul
INMET - Instituto Nacional de Meteorologia
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
JP - Jato Polar
JST - Jato Subtropical
MMA - Ministério do Meio Ambiente
NCAR - *National Center for Atmospheric Research*
NCEP - *National Center for Environmental Prediction*
NetCDF - *Network Common Data Form*
NOAA - *National Oceanic and Atmospheric Administration*
ONI - *Oceanic Nino Index*
PNBOIAS – Programa Nacional de Boias
SAM - Modo Anular do Hemisfério Sul
TNA_c - Taxa Normalizada de Aprofundamento da pressão central
TNA_r - Taxa Normalizada de Aprofundamento da pressão central relativa
TSM - Temperatura da Superfície do Mar
UTC - Tempo Universal Coordenado
ZCAS - Zona de convergência do Atlântico Sul

1 INTRODUÇÃO

Os ciclones extratropicais influenciam a vida humana. Seus diversos impactos podem gerar marés de tempestade nas regiões costeiras (conhecidas como ressacas), causando alterações na orla marítima, destruição de vegetações e plantações, estragos em residências, que muitas vezes estão situadas próximas ao mar, trazendo diversos prejuízos econômicos e ambientais. Após a passagem dos ciclones extratropicais também pode ocorrer a movimentação de massas de ar, o que pode causar quedas bruscas de temperatura.

Conforme Mendes *et al.* (2009), os ciclones extratropicais são sistemas de baixa pressão atmosférica, possuindo como característica grandes regiões com circulação ciclônica e o seu período de formação é chamado de ciclogênese. O autor complementa que a América do Sul é propícia para a formação de ciclones por se tratar de uma região que dispõe de uma fonte de energia e características favoráveis para a formação desses sistemas. Segundo Wallace e Hobbs (2006), a formação dos ciclones extratropicais acontece nos extratropicais do planeta, sendo que os ciclones formados nos trópicos possuem gênese diferente

A formação e o desenvolvimento de ciclones na atmosfera são chamados de ciclogênese, tendo sido estudados desde o século XIX, em razão da grande importância que tais sistemas assumem no transporte de calor, na umidade e na quantidade de movimento, assim como nas alterações que causam no tempo nas áreas onde atuam (GAN E SELUCHI, 2009).

Para Silva (2014), o deslocamento de um ciclone de um continente frio para um oceano com temperatura mais elevada pode gerar rápida intensificação do sistema, causando precipitação intensa, ventos fortes, elevação do nível do mar e grandes ondas na costa do Brasil por onde esse sistema estiver atuando.

Segundo Lima (2013), nos últimos anos, os estudos dos ciclos de vida dos ciclones extratropicais se tornaram frequentes na tentativa de contextualizar a relação dos ciclones com o aquecimento global, sendo provável que as mudanças climáticas possam levar a alterações na distribuição dos ciclones em termos de locais de ocorrência, trajetórias, frequência e intensidade. Além disso, o estudo de Carpenedo (2009) aponta que existe uma tendência de aquecimento das massas de ar que atingem a América do Sul.

Análises anteriores apontam que existe uma grande variação sazonal e interanual na ocorrência de ciclogêneses na América do Sul. O estudo de Gan e Rao (1991) foi realizado com quatro cartas sinóticas diárias de pressão reduzida ao nível do mar, sendo a ciclogênese definida como o aparecimento da primeira isóbara fechada. Estudaram o período de janeiro de 1979 a dezembro 1988, definindo duas áreas principais de ciclogênese na América do Sul, uma situada próxima da região do Rio da Prata e outra na região leste da Patagônia Norte da Argentina (ver cap. 3.1) e que os meses com maior e menor ocorrência foram maio (134 casos) e dezembro (71 casos), respectivamente, o que corrobora com Mendes *et al.* (2007).

Mais recentemente, Rocha *et al.* (2016), realizaram um estudo entre 2003 e 2013 durante os meses de outubro a abril, usando dados de reanálise do *European Reanalysis Agency* (ERA-Interim). Definiram como área a região próxima da costa das Regiões Sul e Sudeste do Brasil. Os resultados apresentaram 169 ciclones durante o período estudado, uma média de 17 por temporada. Foram utilizados nesse estudo os mesmos critérios de Gan e Rao (1991), que consideraram que a ocorrência de uma ciclogênese em superfície acontece com o aparecimento da primeira isóbara fechada e que esse sistema deveria durar pelo menos 24 horas.

Sendo assim, esse trabalho visa aprimorar os estudos sobre a ocorrência de ciclones extratropicais próximos à costa das regiões Sul e Sudeste do Brasil no período de 2000 a 2016, a partir de dados de reanálise do *Climate Forecast System Reanalysis* (CFSR), procurando identificar possíveis tendências de aumento de casos de ciclones, de variações nos níveis de pressão atmosférica e de localização de ocorrência.

1.1 Justificativa

Nos últimos anos, os registros indicam tendências consideráveis de aumento na temperatura da região da Península Antártica (ANDRADE *et al.*, 2011). O trabalho de Chwedorzewska (2009) afirma que a península foi o local com o maior aumento de temperaturas nas últimas décadas, considerando todo o planeta. O Oceano Atlântico em sua porção sul tem grande influência e importância sobre o clima e o tempo no Brasil. Conforme Blank (2009), em uma escala global, o déficit acentuado de radiação líquida verificado sobre a Antártida poderia ser compensado através de um intenso

transporte meridional de calor de latitudes médias, sendo que isso é realizado basicamente por ciclones extratropicais.

Segundo o Ministério da Educação (2007), entre os principais efeitos que as alterações climáticas na Antártica podem gerar na América do Sul, considerando as conexões climáticas entre as altas latitudes, os trópicos e o oceano, pode-se citar alterações na quantidade de ocorrências, trajetórias e intensidade dos ciclones extratropicais. O gelo marinho que cobre parte do Oceano Austral, contrastando com as águas mais quentes ao norte, cria uma diferença térmica que é favorável para a ciclogênese. A variabilidade interanual da extensão de gelo marinho em volta da Antártida pode modificar a trajetória dos ciclones extratropicais, fazendo com que ocorram mais ao sul ou ao norte, dependendo também da intensidade. Com a importância da Antártida como controladora do clima em toda a Terra, principalmente no Hemisfério Sul (HS), e também a situação de mudanças climáticas na América do Sul, podem ocorrer alterações na quantidade de ciclones que atingem o sul do Brasil, além de variações de intensidade e de deslocamento.

Considerando também o quadro de alterações no clima em outras áreas do planeta e a importância dos ciclones no clima, fica evidente a necessidade de estudos mais aprofundados sobre os ciclones extratropicais ocorridos no sul do Brasil. Como os ciclones são sistemas de grande escala sinótica e influenciam fortemente as condições de tempo nas áreas onde ocorrem, a frequência e intensidade dos eventos está diretamente associada com a ocorrência de eventos extremos de precipitação intensa ou dias consecutivos de chuva, como também queda da temperatura, ventos fortes e marés de tempestade.

Os dados de registros de temperatura média e anomalias mundiais indicam que quase todos os anos mais quentes desde o início das medições estão dentro do período de pesquisa deste trabalho (INMET, 2016; NOAA, 2019). As mudanças climáticas podem causar diversas alterações, como o aumento na frequência de ciclones extratropicais, das suas intensidades e na alteração das suas rotas, sendo necessários estudos mais aprofundados para que se conheça melhor essas relações.

Com isso, esta climatologia visa colaborar com o estudos dos ciclones extratropicais elaborando um banco de dados com a frequência durante o período de 2000 a 2016 dentro da área de estudo selecionada. A partir dos resultados obtidos será possível avaliar se houve uma tendência de diminuição dos mínimos de pressão

atmosférica dos eventos identificados e mostrarão os principais locais de formação dos ciclones e os meses e anos com mais casos.

1.2 Objetivo geral

Quantificar e avaliar a climatologia de ciclones extratropicais próximos à costa das regiões Sul e Sudeste do Brasil no período de 2000 a 2016.

1.3 Objetivos específicos

- Analisar a quantidade de ciclogêneses ocorridas entre 2000 e 2016 dentro da área de estudo definida;
- Avaliar os níveis de pressão atmosférica dos ciclones extratropicais identificados;
- Definir a densidade por localização de ocorrência das ciclogêneses encontradas no período total da pesquisa e sazonalmente.

2 CICLOGÊNESE

Bjerknes e Solberg (1922) apresentaram o primeiro modelo conceitual que descrevia os ciclos de vida dos ciclones extratropicais. Com observações de superfície, identificaram a presença de sistemas de baixa pressão associados à frentes frias e quentes. No modelo proposto por esses autores (Figura 1), a ciclogênese inicia em uma onda de pequena amplitude, ao longo de uma frente fria que termina num estágio de oclusão, sendo o que ar tropical sofre subsidência e ocorre o avanço do ar frio (GAN, 1992).

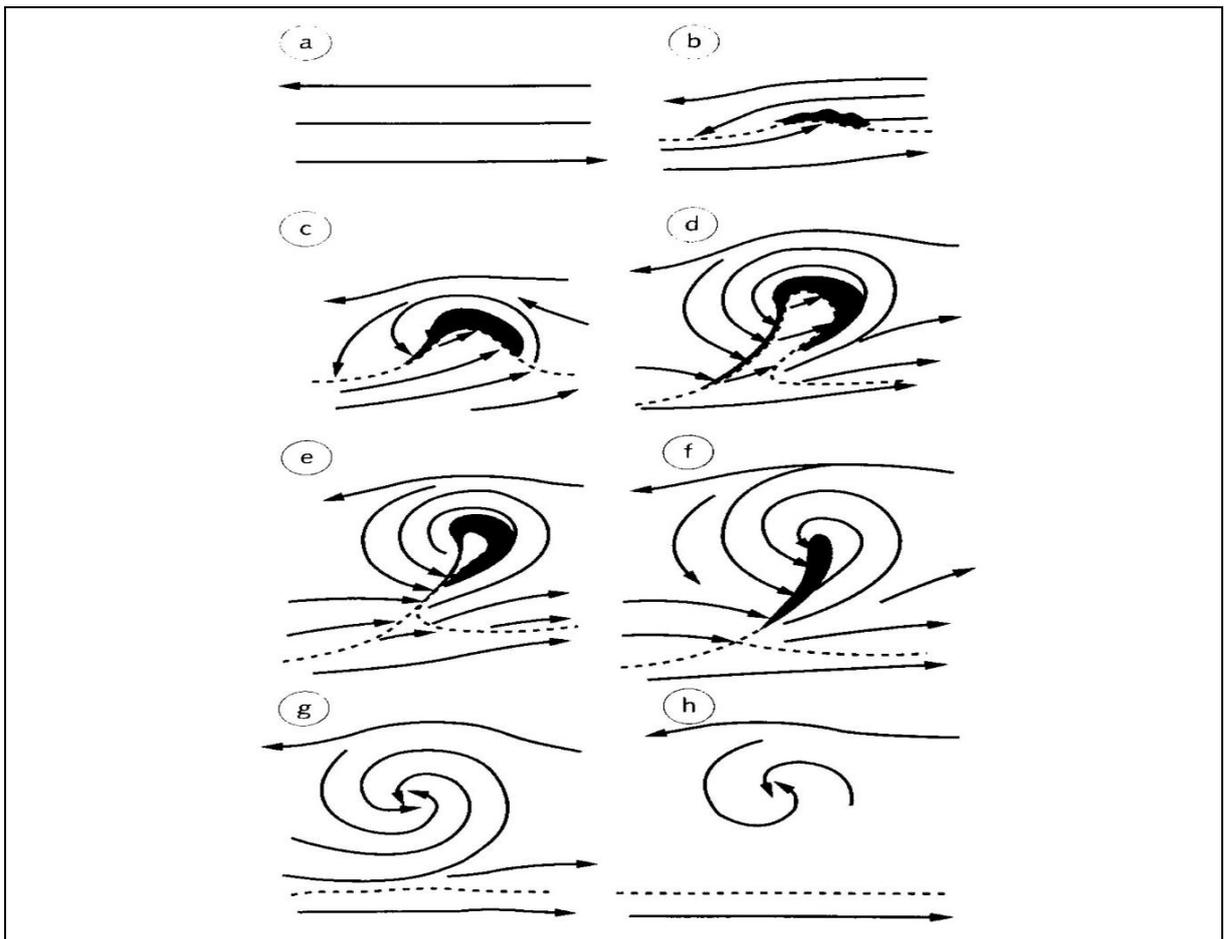


Figura 1 – Ciclo de vida dos ciclones. Legenda: a) Escoamento inicial; b) Perturbação inicial; c-d) Perturbação ciclônica; e) Início de oclusão; f) Máxima intensidade da oclusão; g) Ciclone ocluído e h) Ciclone em fase final.

Fonte: Bjerkness e Solberg (1922).

Barry e Chorley (2013) afirmam que os ciclones extratropicais ocorrem em uma área entre 1500 a 3000 km de diâmetro, com duração de quatro a sete dias, na maioria das vezes. Possuem uma frente fria e uma quente associadas. Em imagens de

satélite, as frentes frias ativas em uma zona baroclínica forte costumam apresentar bandas de nuvens pronunciadas em espiral, formadas como resultado da advecção térmica.

A ciclogênese pode ser considerada como o processo de formação de uma onda frontal, com um centro de baixa pressão, uma frente fria e uma frente quente, onde seu desenvolvimento tem como mecanismo a instabilidade baroclínica devido ao gradiente horizontal de temperatura em superfície (INPE, 2019).

Para Pereira (2013), os ciclones extratropicais são fundamentais na climatologia da precipitação sobre a região extratropical na América do Sul. Estes sistemas também são responsáveis por uma importante contribuição na manutenção do clima global, uma vez que são responsáveis por grande parte do transporte e distribuição de calor e umidade na atmosfera.

Os ciclones têm seu surgimento e desenvolvimento dependentes de condições de instabilidade fortes e seus ciclos de vida são formas de estabilização e homogeneização da atmosfera. Retiram sua energia de contrastes horizontais de temperatura, estando associados a sistemas frontais, onde há a ocorrência de um acentuado gradiente de temperatura ou espessura entre os níveis de 500 e 100 hPa e de temperatura de ponto de orvalho (Figura 2). Possuem, também, acentuado gradiente de pressão e jato polar (JP) bem definido em 250 hPa associado à frente fria em superfície (ROCHA et. al, 2016).

Segundo Sutil (2016), no oceano, a temperatura da superfície do mar (TSM) tem grande importância no mecanismo de interações, já que através dela ocorre o fluxo de calor entre o oceano e a atmosfera. As diferenças de temperatura entre massas oceânicas com características diferentes contribuem para um aumento dos fluxos turbulentos entre a atmosfera e o oceano, causando uma alteração na dinâmica e termodinâmica da atmosfera, sendo também fundamental para formar e desenvolver sistemas como os ciclones extratropicais, de escala sinótica.

Gan e Seluchi (2009), usando um estudo de Pettersen e Smebye de 1971, propuseram que os ciclones poderiam ser classificados em dois grupos principais, chamados de A e B, conforme sua ciclogênese. Suas características principais seriam:

Ciclones de tipo A:

- desenvolvimento inicial sob uma corrente de ar superior em uma zona de máxima baroclinia, não sendo essa corrente muito intensa;
- Sem cavados em altos níveis observáveis num primeiro momento, mas com o desenvolvimento do ciclone em baixos níveis, ocorre uma intensificação do cavado;
- Pequena advecção de vorticidade em altos níveis em um momento inicial e durante o desenvolvimento do ciclone, onde a principal contribuição para sua intensidade aumentar é a advecção térmica;
- Diminuição da baroclinia na troposfera inferior com a oclusão da onda;
- Finalmente se tem uma oclusão clássica.

Ciclones do Tipo B:

- Desenvolvimento inicial com um cavado de ar superior já existente que avança sobre uma área de advecção de ar quente em baixos níveis, com presença ou não de frente fria. O cavado superior já existente teria forte advecção de vorticidade junto a jusante;
- Cavado de ar superior e o sistema de baixos níveis tem sua distância de separação diminuída rapidamente enquanto o ciclone tem sua intensidade aumentada e seu eixo pode se posicionar na vertical, atingindo intensidade máxima;
- Em um momento inicial, a advecção de vorticidade em altos níveis é grande e diminui conforme a intensidade máxima do ciclone ocorre. A advecção térmica e a baroclinia aumentam com a intensificação do ciclone em baixos níveis;
- Ocorre uma oclusão do tipo clássica.

Os autores incluíram também uma proposta elaborada por Radinovic em 1985, que sugeriu a existência de mais um tipo de classificação de ciclones, chamados por ele de tipo “C”, sendo esses ciclones conhecidos como “ciclones a sotavento de montanhas”, associados à orografia. Conforme Gan (1992), forte influência na circulação atmosférica ocorre devido às montanhas e o contraste entre oceano e

continente. Isso afeta a distribuição espacial da frequência de ciclogêneses e suas trajetórias, sendo que as montanhas influenciam diretamente os modos de instabilidade baroclínica, pois modificam sua estrutura espacial e a taxa de crescimento e de propagação dos distúrbios baroclínicos.

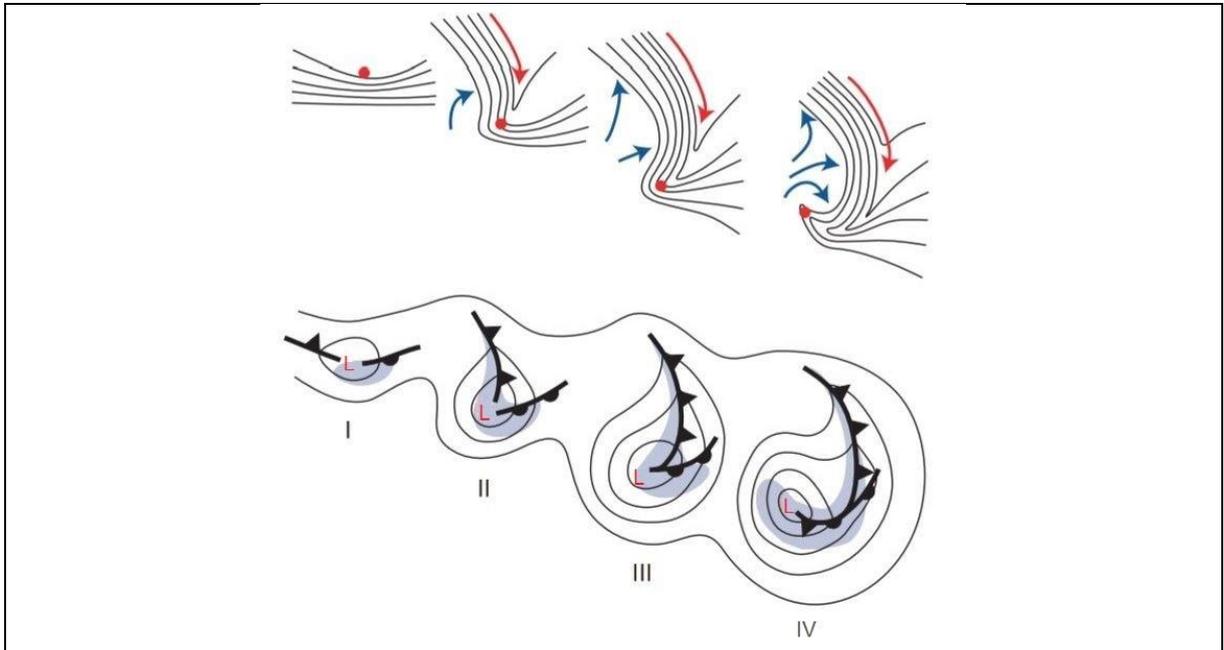


Figura 2 - Estágios do desenvolvimento de uma ciclogênese típica. As linhas de temperatura e as setas coloridas indicam as frentes fria e quente. Os painéis I, II, III e IV indicam os ciclos de vida de um ciclone com as configurações frontais e isóbaras. As sombras indicam áreas de precipitação.

Fonte: Schultz et al (1998), adaptado de Wallace e Hobbs (2006).

O modelo clássico de circulação da atmosfera associado à formação de ondas frontais na América do Sul apresenta o deslocamento de um cavado na troposfera média cruzando os Andes e relacionando-se com uma área baroclínica em superfície. Um exemplo disso seria um sistema frontal estacionário localizado próximo à região do Rio da Prata. Dessa interação, surge uma onda frontal polar determinada por uma área de baixa pressão atmosférica formada a partir da frente estacionária e com dois ramos frontais, onde a frente fria se desloca de sudeste a nordeste e a frente quente de norte a sul. Os ciclones possuem, de início, deslocamento para leste ou nordeste e posteriormente trajetória sudeste, influenciados pela direção da circulação na troposfera média e alta (INPE, 2019).

Ademais, a relação entre quantidade e intensidade dos ciclones é diretamente influenciada pelo El Niño - Oscilação Sul (ENOS), segundo Pezza e Ambrizzi (2003)

e pelo Modo Anular do Hemisfério Sul (SAM) na sua fase negativa (AQUINO, 2012; REBOITA *et al.* 2009).

2.1 Áreas ciclogênicas na América do Sul

Gan e Rao (1991) descreveram a região ciclogênica da América do Sul destacando a existência de duas áreas propícias para ciclogêneses (Figura 3), sendo uma situada no sudeste da região do Rio da Prata e outra na região leste da Patagônia Norte argentina. Essa região é conhecida como Northwestern Argentinean Low (NAL) ou Baixa do Noroeste Argentino (BNOA) e foi estudada mais amplamente por Lichtenstein (1980) e por Seluchi *et al.* (2003).

É localizada em torno de 30°S a sotavento da Cordilheira dos Andes e possui origem térmica no verão e uma forte influência orográfica no inverno (ESCOBAR E SELUCHI, 2012).

Bitencourt *et al.* (2013), consideram que existem dois fatores principais para as regiões citadas serem apontadas como regiões ciclogênicas. O primeiro é a instabilidade baroclínica, considerado fundamental para o desenvolvimento dos sistemas, principalmente no inverno. O segundo está relacionado com as trocas de energia entre a superfície e a atmosfera e que a corrente do Brasil pode contribuir para aumentar a frequência e intensificação dos ciclones no Atlântico Sul. Reboita (2008) identificou três regiões ciclogênicas: uma no sul da Argentina, ao leste da Patagônia, sendo que sua maior frequência acontece no verão, uma segunda região próxima do Rio da Prata e costa Sul do Brasil, com maior frequência no inverno, e uma terceira região na costa da região Sudeste do Brasil, próximo aos estados de São Paulo e Rio de Janeiro, com maior ocorrência no verão.

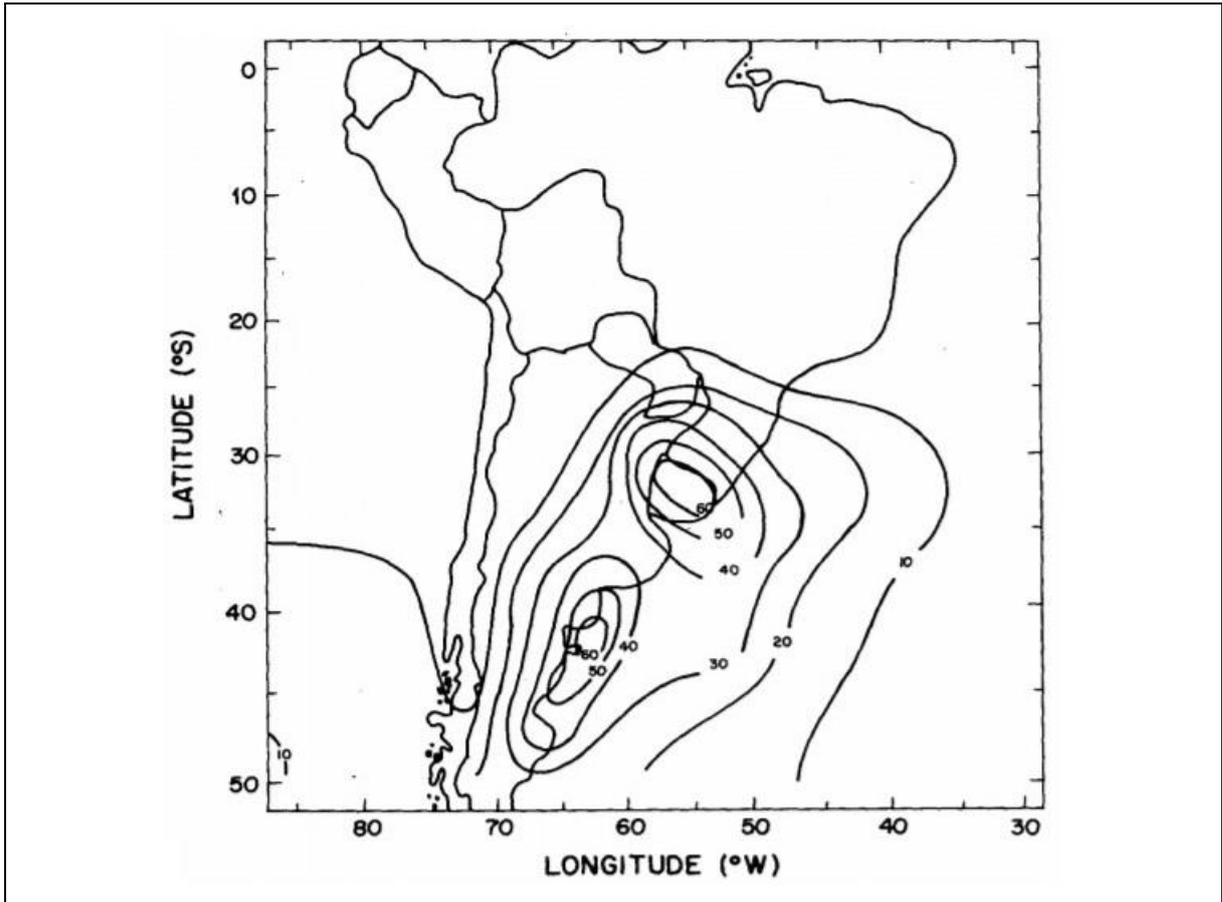


Figura 3 - Distribuição anual da frequência de ciclogêneses na América do Sul e Oceano Atlântico Sul (1979-1988).

Fonte: Gan (1992).

2.2 Ciclones explosivos

Os impactos que os ciclones extratropicais causam podem ser ainda maiores quando são classificados como “explosivos”. De acordo com Gan e Seluchi (2009), os ciclones extratropicais podem ser classificados também de acordo com sua intensidade, a partir da queda da pressão atmosférica no centro do ciclone. São considerados explosivos quando essa queda é de 24 hPa em 24 horas. Também chamados de ciclones “bomba”, costumam ocorrer mais frequentemente durante o inverno, quando a baroclinia é maior, e também em regiões de intenso contraste térmico, geralmente associados à passagem de um intenso cavado de onda curta na troposfera média e alta.

A rápida intensificação dos ciclones extratropicais explosivos geralmente é observada sobre o oceano, acima de correntes quentes e em áreas próximas a fortes gradientes horizontais de TSM. A ciclogênese explosiva demonstra estar associada a

gradientes fortes de temperatura da superfície do mar no inverno (BARRY E CHORLEY, 2013). Os autores afirmam também que a ciclogênese explosiva é favorecida por instabilidade na troposfera inferior, localizando-se costumeiramente a jusante de um cavado no nível de 500 hPa e que os ciclones explosivos tem como característica um forte movimento vertical, associados a um nível definido de não divergência perto de 500 mb, contando com uma liberação de calor latente em grande escala.

Segundo Bitencourt *et al.* (2013), a maior frequência de ciclones explosivos no HS ocorre no trimestre de junho, julho e agosto, sendo que ocorrem, em média, 26 eventos por ano. O autor realizou um estudo dentro da área 45°S e 15°S e entre 60°W e 20°W entre os anos de 1957 e 2010 com intenção de verificar as ocorrências de ciclones extratropicais explosivos. Foram identificados, aplicando as metodologias de Taxa Normalizada de Aprofundamento da pressão central (TNA_c) e Taxa Normalizada de Aprofundamento da pressão central relativa (TNA_r), 2,7 e 1,57 ciclogêneses explosivas por ano, respectivamente.

2.3 Ondas de Rossby

As ondas de Rossby, conhecidas também como "ondas planetárias", foram descobertas e estudadas por Carl Gustav Rossby em 1939 (ROSSBY, 1939). Elas são muito importantes para o entendimento da circulação oceânica e atmosférica em larga escala no planeta e podem ser observadas ao longo das correntes de jato de latitude média em forma de ondulação.

Conforme Shimizu (2012), as ondas de Rossby possuem movimentos ondulatórios no plano horizontal em escala sinótica e são caracterizados pela alternância de áreas com vorticidade ciclônica e anticiclônica, conforme propagam-se, sendo que a força restauradora dessas ondas é a força de Coriolis. A autora afirma também que as ondas de Rossby podem ser favorecidas pelo aquecimento diabático tropical, balanceado por movimento vertical ascendente e divergência em altos níveis, o que gera um distúrbio no campo de vorticidade absoluta, gerando as ondas.

A formação dos ciclones extratropicais está diretamente relacionada com as ondas de Rossby. Barry e Chorley (2013) afirmam que os ciclones são direcionados basicamente pelas Ondas de Rossby semiestacionárias nos ventos de oeste hemisféricos, sendo que suas posições são bastante influenciadas por grandes

barreiras orográficas e fortes contrastes entre a temperatura das áreas superficiais e oceanos. Com isso, a ciclogênese a sotavento de montanha tem seu processo explicado a partir da formação de Ondas de Rossby orográficas.

2.4 Modo Anular do Hemisfério Sul

Pode-se relacionar também com as Ondas de Rossby o Modo Anular do Hemisfério Sul (SAM). Os resultados encontrados por Aquino (2012), que estudou a conexão entre o SAM com a Península Antártica e o Sul do Brasil, mostraram que o SAM apresentou tendência positiva entre 1979 e 2009 e as maiores mudanças ocorreram no verão e no outono. O inverno foi a estação com a maior quantidade de casos positivos do SAM e a primavera de casos negativos.

O SAM tem importância na ocorrência dos ciclones extratropicais. A relação do SAM com as ciclogêneses acontece quando o índice é negativo. Com isso, a trajetória dos ciclones no HS move-se para o norte em relação ao período em que a fase é positiva. As correntes de jato então passam a circular em forma de meandros em torno da América do Sul, dando suporte para que as frentes ocorram em latitudes mais baixas. A América do Sul e o Oceano Atlântico sul são áreas com muitas ocorrências de frentes e com anomalias positivas de precipitação durante a fase negativa do SAM.

Quando o SAM está na sua fase positiva, as condições para que a trajetória dos ciclones extratropicais movam-se para o norte são contrárias. Com a configuração positiva do SAM, as frentes frias e ciclones passam a ser mais atuantes em latitudes mais altas, como no entorno da Antártica (AQUINO, 2012; REBOITA *et al.* 2009).

2.5 Correntes de Jato

Os ciclones extratropicais estão também relacionados com as correntes de jato e as ondas de Rossby, uma vez que essas correntes sinuosas influenciam na formação ciclones, com zonas de baixa pressão em seus cavados e zonas de alta pressão em suas cristas. As correntes de jato são uma banda concentrada e irregular de vento que podem influenciar os sistemas meteorológicos na superfície. São relativamente achatadas verticalmente, possuindo de 160 a 480 km de largura e de 900 a 2150 de altura, com velocidade no núcleo podendo estar acima dos 300 km/h (CHRISTOPHERSON, 2012).

Essas correntes de jatos nos níveis superiores estão associadas a intensos gradientes horizontais de temperatura em latitudes médias e mais altas, geralmente entre 300-200 mb, que também seguem o padrão de ondas longas. As correntes de jato possuem variações sazonais na velocidade dos seus ventos. Durante o inverno no Hemisfério Norte (HN), os ventos são muito fortes, pois é quando os gradientes de temperatura atingem o máximo. Já no HS, essa variação é menos acentuada (BARRY E CHORLEY, 2013).

2.5.1 Tipos de Correntes de Jato

O Jato Subtropical (JST) e o JP são os dois tipos de correntes de jato existentes. O JST tem uma certa constância na sua posição em determinada estação do ano, tendo predomínio em campos médios sazonais do vento, aparecendo comumente acima de 13.000 metros no HS e entre as latitudes 20°S a 40°S. Já o JP tem sua posição bastante variável sobre uma ampla faixa de latitudes médias e subtropicais, estando localizado entre 8.000 e 10.000 metros de altitude, variando entre 30°S e 70°S e com velocidades entre 150 a 300 km/h. O JP tem também grande relação com a previsão do tempo, já que quando se desloca para o norte, essa movimentação é acompanhada pelos sistemas de baixa e alta pressão e pelas frentes frias e quentes. A relação entre uma frente fria e o JP aparece na Figura 4. O ar frio tem seu deslocamento para norte, atuando na formação das nuvens e precipitação. O JP está localizado atrás das nuvens (ESCOBAR, 2009).

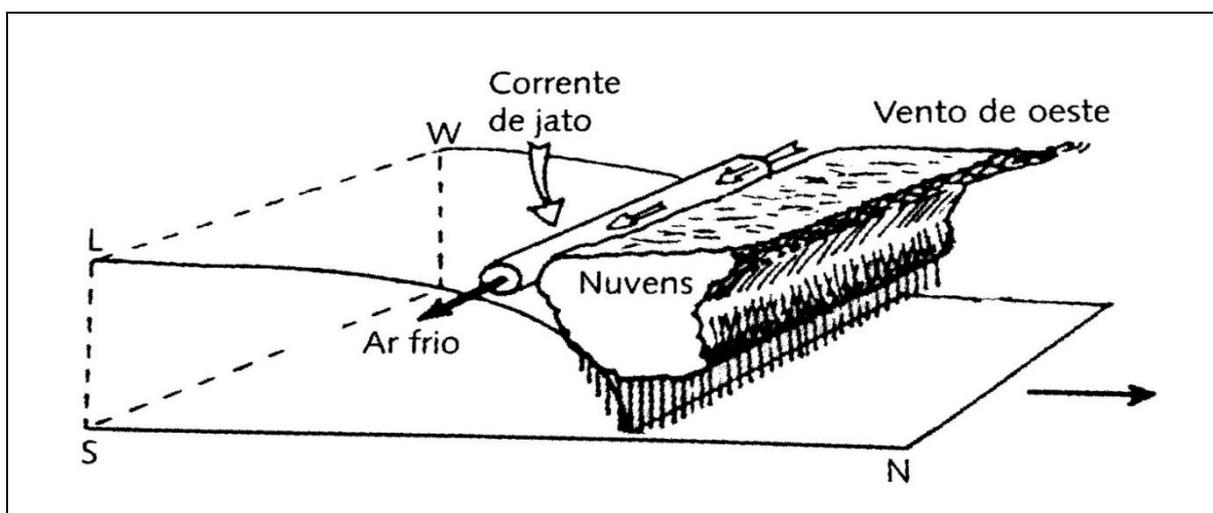


Figura 4 – Posição do JP em relação à frente fria.
Fonte: Escobar (2009).

Os JP tem associação direta com os processos ciclogênicos. Na Figura 5, observa-se como ocorre essa relação através de um padrão típico de vento em altitude com o JP e um processo de ciclogênese. No primeiro estágio (1), o JP, representado pelo traço grosso, contorna um cavado que se aproxima das frentes fria e quente. Na segunda imagem (2), a ciclogênese continua se desenvolvendo com as frentes e com o cavado se associando ao JP. Já no terceiro estágio (3), tem-se a formação de uma baixa pressão em altitude e dentro do cavado, estando na frente a baixa em superfície em oclusão (ESCOBAR, 2009).

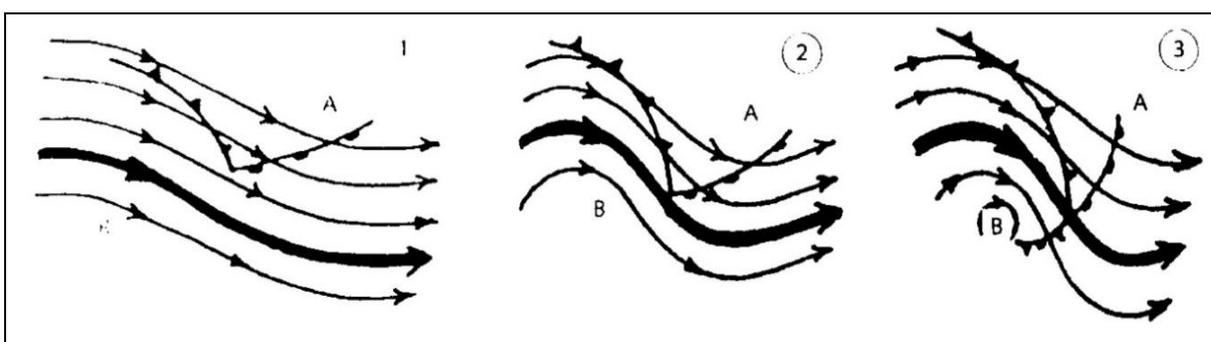


Figura 5 - Posição do JP em relação às frentes em superfície. Legenda: 1) JP contornando um cavado e sistema de frentes; 2) JP associado ao cavado e 3) Baixa fechada em altitude e dentro do cavado e oclusão.

Fonte: Escobar (2009).

2.6 El Niño - Oscilação Sul

Segundo Kayano *et al.* (2016), o El Niño - Oscilação Sul (ENOS) é uma das mais importantes relações oceânico-atmosféricas conhecidas, que contribui para uma grande variabilidade climática em uma escala global. A influência do ENOS no clima da América do Sul ocorre através das alterações nas células de Walker e Hadley e no padrão de ondas de Rossby, sendo que o evento oscila entre dois extremos: o El Niño em sua fase quente e o La Niña em sua fase fria.

Um estudo realizado por Pezza e Ambrizzi (2003) com dados de reanálise do *National Centers for Environmental Prediction–National Center for Atmospheric Research* (NCEP–NCAR) mostrou que os anos com eventos de El Niño e La Niña durante o período de 1973 a 1996 não mudaram a quantidade de ciclogêneses encontradas no HS em relação aos anos Neutros. Porém, as observações indicaram uma concentração maior de ciclogêneses no HS no Pacífico Subtropical, oeste da

América do Sul e sul da Argentina durante os anos de El Niño, enquanto que nos anos de La Niña a densidade é maior no Atlântico Subtropical e sudeste da Austrália.

Durante a La Niña, a diminuição da temperatura da superfície do mar na costa leste do oceano Pacífico enfraquece o gradiente meridional de temperatura, o que leva a um enfraquecimento do jato subtropical. Em geral, uma redução da circulação zonal é acompanhada por um incremento na circulação meridional e, portanto, na frequência e intensidade de incursões frontais (e, conseqüentemente, das friagens). O contrário ocorre durante episódios de El Niño, quando o fortalecimento do jato subtropical contribui para o estacionamento dos sistemas frontais na região Sul, com um menor aporte de ar frio para as latitudes médias e baixas, e a decorrente diminuição da incidência de geadas no centro-sul do Brasil (SELUCHI, 2009). Na Tabela 1 estão listados os eventos de El Niño e La Niña ocorridos no período de 1986 a 2015 e suas respectivas intensidades.

Tabela 1 – El Niño e La Niña ocorridos entre 1986 e 2015 e suas intensidades.

El Niño	Intensidade	La Niña	Intensidade
1987-1987	Moderado	1988-1989	Forte
1991-1992	Moderado	1995-1996	Fraco
1994-1995	Fraco	1998-2001	Moderado
1997-1998	Muito forte	2007-2008	Moderado
2002-2003	Moderado	2010-2011	Moderado
2004-2005	Fraco	2011-2012	Fraco
2006-2007	Fraco		
2009-2010	Moderado		

Fonte: Kayano *et al.* (2016).

3 MÉTODOS E TÉCNICAS

Após a revisão bibliográfica, foi estabelecido um banco de dados e a forma de visualização dos dados para a elaboração desse estudo. Posteriormente, definiu-se quais os critérios e procedimentos para a identificação dos ciclones extratropicais para a escala temporal (2000 - 2016), seguindo as etapas das referências consultadas sobre o tema, conforme apresentado nos próximos itens desse capítulo.

3.1 Área de estudo

A área de estudo da pesquisa localiza-se entre a América do Sul e o Oceano Atlântico Sul. É limitada por 15°S e 40°S de latitude e 30°W e 60°W de longitude (Figura 6). Considerando que os ciclones extratropicais são eventos de grande dimensão espacial e que a área de interesse eram as regiões Sul e Sudeste do Brasil, foi incluída a região da bacia do Rio da Prata na área de estudo. Os ciclones que ocorrem nessa região, apontada como ciclogênica em estudos anteriores (GAN E RAO, 1991; REBOITA, 2008), pela proximidade e dimensão, podem ter influência no tempo e no clima do Brasil.

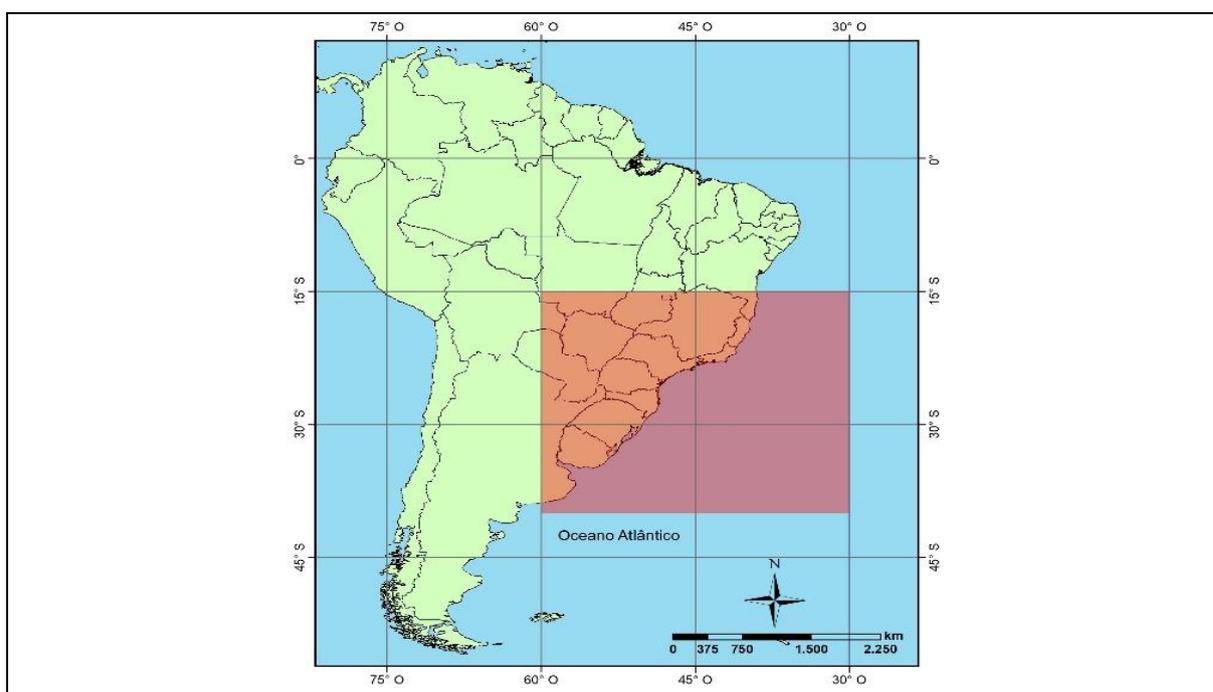


Figura 6 – Área de estudo, localizada no quadro em vermelho no mapa da América do Sul e do setor oeste do Oceano Atlântico Sul.

Fonte: elaboração do autor (2018).

A inclusão dessa área fora da região de interesse, que é o sul do Brasil, ocorreu porque essa localização e os seus arredores são destacados em estudos anteriores como ciclogênicos (Gan e Rao, 1991; Reboita 2008).

3.2 Dados de Reanálises

Segundo Stüker *et al.* (2016), a reanálise meteorológica são um conjunto de informações obtidas a partir de modelos de circulação global com valores medidos, sendo que os dados disponíveis são resumidos em um contexto físico. Recentemente, novos produtos de reanálise proporcionaram um avanço, devido ao desenvolvimento operacional na previsão do tempo e nos esforços feitos em busca de melhorias com base nas reanálises anteriores, incluindo o Climate Forecast System Reanalysis (CFSR) do NCEP (*National Center for Environmental Prediction*).

Dessa forma, a análise dos processos ciclogênicos deste estudo utilizará como base de dados o CFSR do NCEP, que é um produto de reanálise resultante da avaliação das condições atmosféricas e da superfície dentro do período de 31 anos, entre janeiro de 1979 a dezembro de 2010. Uma segunda versão do CFSR, chamada de CFSRv2, foi lançada em março de 2011 (SAHA *et al.*, 2014). Essa versão atualmente possui dados de janeiro de 2011 e são atualizados constantemente.

O CFSR possui resolução vertical e horizontal da atmosfera superior, evoluindo em relação a reanálises mais antigas. Tem resolução temporal de seis horas, com resolução espacial de aproximadamente 38 km na horizontal com 64 níveis na vertical (STÜKER *et al.*, 2016). O modelo oceânico tem espaçamento latitudinal de 0,25° próximo do Equador e até 0,5° próximo dos trópicos, com 40 níveis de profundidade de 4737 m. Os dados utilizados para se obter o CFSR são capturados de diversas formas, como radiossonda, observações de superfície através de equipamentos e sensores, micro-ondas, imagens de satélite, entre outros (MIERES, 2012).

Foi escolhido o CFSR por sua facilidade de acesso, sendo disponibilizados dados para toda a superfície do planeta, alcançando também bons resultados nos trabalhos consultados. Além disso, possui um banco de dados bastante atualizado, o que facilita as análises mais recentes. O CFSR também possui todas as opções necessárias para o *download* dos dados, conforme os critérios estabelecidos na metodologia deste trabalho para a definição da ciclogêneses, de acordo com a

bibliografia consultada. De forma geral, o CFSR possui vantagens e desvantagens, conforme a Tabela 2:

Tabela 2 – Vantagens e desvantagens do CFSR.

Pontos fortes do CFSR	Pontos fracos do CFSR
É superior às reanálises anteriores do NCEP em relação ao fato de ser um modelo melhorado, ter uma maior resolução, esquema de assimilação de dados avançado, acoplamento entre atmosfera-oceano-gelo, assimilação das radiações dos satélites ao invés da recuperação.	Existem ainda poucas avaliações sobre o CFSR, logo seu desempenho ainda não é bem conhecido.
Considera as mudanças nos gases traços como CO ₂ , aerossol e variação solar.	As interações entre oceano e atmosfera não são usadas diretamente, ou seja, a reanálise atual está desacoplada.
Sua resolução horizontal é próxima a de reanálises regionais, como a North American Regional Reanalysis e a Arctic System Reanalysis.	

Fonte: UCAR, 2015. Adaptado de Moraes (2016).

Para a montagem do banco de dados, serão selecionadas as características disponíveis pelo CFSR e CFSRv2 com base nos trabalhos realizados por Rocha *et al.* (2016) e Gan (1992), que desenvolveram métodos eficientes para obterem as datas, localização e a intensidade dos ciclones.

Dessa forma, serão coletados os dados de pressão ao nível médio do mar, definida pelo glossário da *American Meteorological Society* - AMS como o resultado da força transmitida por unidade de área pelas moléculas de ar para certa superfície, ou seja, é o peso que o ar exerce sobre essa superfície. Em meteorologia também se define como a pressão exercida pela atmosfera, como consequência da atração gravitacional exercida sobre a coluna de ar que se encontra acima de um dado ponto. (MORAES, 2016).

As demais características selecionadas são a resolução horizontal de 0,5° de latitude por 0,5° de longitude e resolução temporal de 12 horas, levando em

consideração os horários de 00 e 12 UTC. O formato selecionado será NetCDF (Network Common Data Form), que posteriormente é reconhecido pelo Python e onde é possível visualizar também os dados por latitude e longitude em uma tabela, o que facilita a identificação dos mínimos de pressão após a visualização dos mapas. Os dados foram levantados por mês.

Dessa forma, os passos para o download no site do CFSR e CFSRv2 são os seguintes:

- Data Access – Get a Subset.
- Selecionar o período. Seleção dos parâmetros: Pressure reduced to MSL. Continue.
- Output Format: Converted to netCDF.
- Valid Data Range: selecionar o período, que nesse caso será por mês.
- Parameter(s): Pressure reduced to MSL.
- Gridded Product: Analysis.
- Grid: 0,5° x 0,5°.
- Spatial Selection: bounding box = Latitudes (North, South) -15 / -40. Longitudes (West, East) = -60 / -30.
- Download Method: Web download. Submit Request.

Os dados foram também baixados em formato suportado pelo *Microsoft Excel*. Com isso, os dados de pressão ao nível médio do mar puderam ser visualizados em uma tabela. Cada horário selecionado possuía colunas e linhas com os valores para cada longitude e latitude, respectivamente. Após a identificação da ciclogênese no Python, pode-se consultar nessa tabela o valor exato do mínimo de pressão.

3.3 Cartas Sinóticas do Centro de Hidrografia da Marinha

Foram utilizadas cartas sinóticas do Centro de Hidrografia da Marinha para auxiliar na identificação dos ciclones extratropicais. As cartas foram obtidas após solicitação com a Marinha. Como em alguns casos a identificação da primeira isóbara fechada do ciclone não estava clara com os dados do CFSR, as cartas sinóticas ajudaram a determinar o horário correto. Os valores de pressão ao nível médio do mar das cartas sinóticas da Marinha não foram utilizados no arquivo com todos os ciclones encontradas. Para esses valores foram utilizados apenas com os dados do CFSR.

Foram feitas comparações entre os dados gerados pela reanálise para pressão ao nível médio do mar e as cartas sinóticas da Marinha nos mesmos horários. Ficou perceptível que esses dois dados são correspondentes. Abaixo, exemplo de caso de ciclone extratropical identificado pelos dados de reanálise do CFSR e de carta sinótica da marinha (Figuras 7 e 8). A data dos dois mapas das figuras é 27 de outubro de 2016 para o horário de 00h UTC.

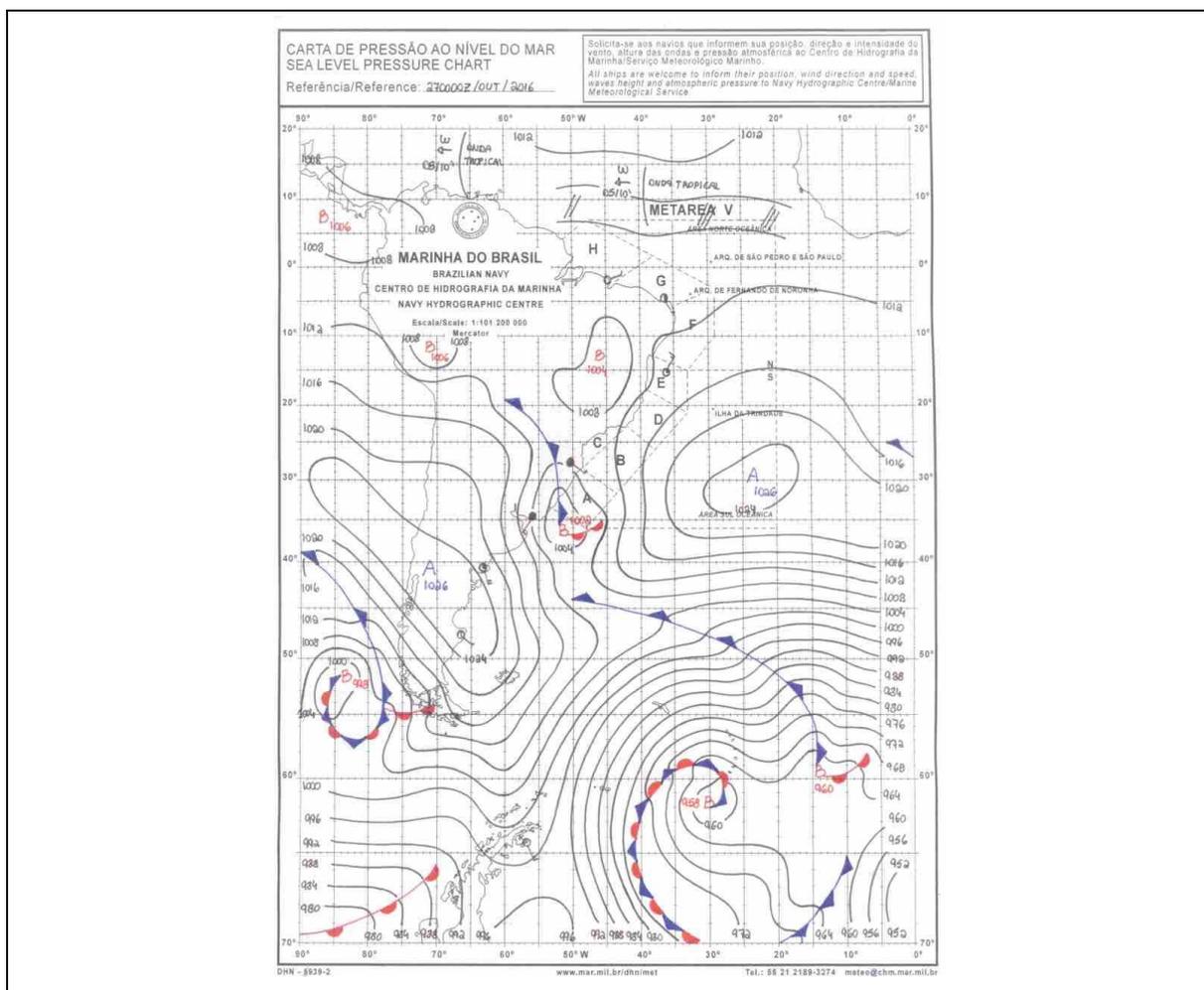


Figura 7 – Carta sinótica, em superfície, do dia 27 de outubro de 2016 no horário de 00h - UTC. Na carta é possível identificar uma zona de baixa pressão localizada entre a região Rio da Prata e o Rio Grande do Sul.

Fonte: CHM – Marinha.

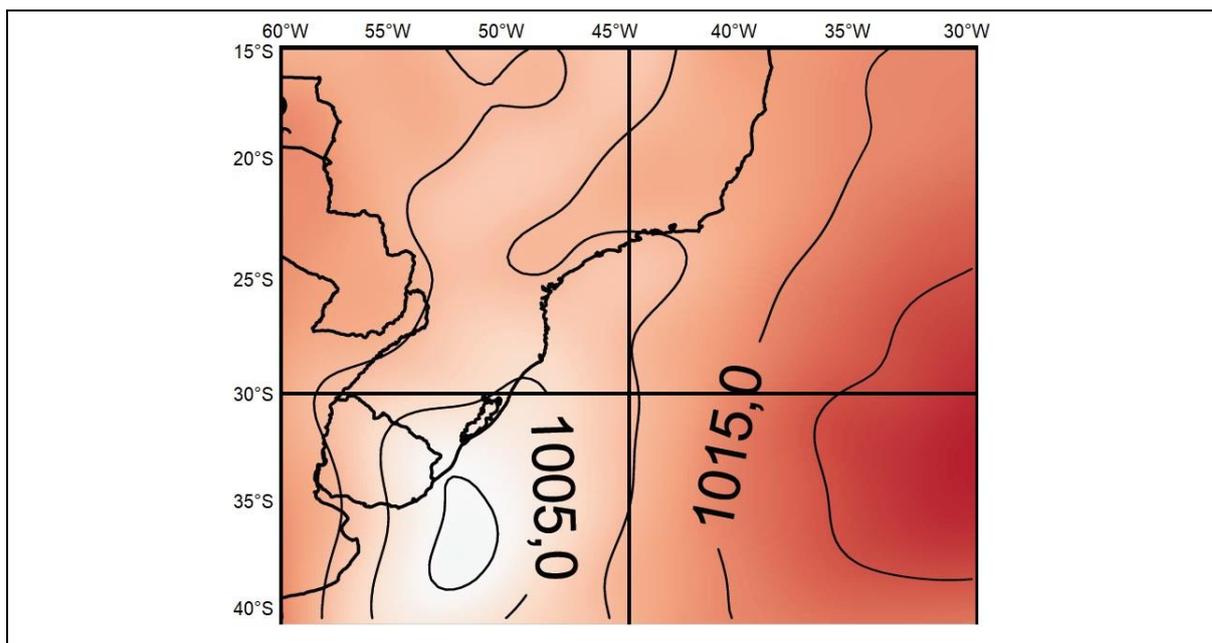


Figura 8 – Dados do CFSR para o dia 27/10/2016 no horário de 00h UTC. Assim como na carta sinótica da Marinha, observa-se uma baixa pressão entre a região do Rio da Prata e o Rio Grande do Sul.

Fonte: CFSR.

3.4 Python

Após o levantamento dos dados de pressão ao nível do mar disponíveis na reanálise do CFSR e CFSRv2, foi gerado um arquivo NetCDF. A partir disso, é possível gerar os mapas e fazer a análise dos dados baixados fazendo uso da linguagem de programação Python. Essa linguagem de programação é considerada uma das mais fáceis de serem aprendidas e bastante útil na geração de análises climáticas e de produtos científicos.

Foi criada em 1991 por Guido Van Rossum, na Holanda. Uma das principais características que diferencia o Python das outras linguagens é a sua facilidade. Enquanto as outras usam comumente marcações e marcadores (ponto, ponto e vírgula, chaves, colchetes e/ou parênteses), o Python faz uso reduzido desses recursos, o que torna a linguagem mais compreensível (GRUPO PET-ADS, 2016).

Optou-se pelo uso dessa linguagem de programação para a geração dos produtos em virtude de ela ser livre, de ter uma comunidade online grande, da sua facilidade de aprendizagem e da disponibilidade de scripts em bibliotecas online, onde existem novas ferramentas para a elaboração dos mapas, caso seja necessário.

Através de um *script*, os dados coletados no CFSR são plotados e visualizados em mapas, que podem ser elaborados conforme a necessidade. Dessa forma, é possível estudar e reconhecer a presença e a rota de ciclones extratropicais, assim como suas características de dimensão e intensidade.

3.5 Identificação das ciclogêneses

Como os dados do CFSR foram baixados por mês, após a plotagem dos dados de reanálise no Python e da geração dos campos atmosféricos, foi feita a análise dos ciclones extratropicais dentro do período temporal escolhido.

A área selecionada para análise foi a compreendida entre 40°S e 15°S de latitude e 60°W e 30°W de longitude, próximo à costa das Regiões Sul e Sudeste do Brasil. Sendo assim, os procedimentos para identificação dos ciclones e suas características nos mapas foram baseados em referências bibliográficas anteriores e estão mencionadas a seguir.

Conforme a metodologia apresentada por Gan (1992):

- A ocorrência de uma ciclogênese em superfície ocorre com o aparecimento da primeira isóbara fechada;
- Essa isóbara deve ter o intervalo de ao menos 2 hPa;
- Deve persistir por pelo menos 24 horas, ou cinco cartografias seguidas.

Conforme a metodologia apresentada por Rocha *et al.* (2016):

- O mínimo local de pressão ao nível médio do mar deve ser inferior a 1015 hPa;
- O mínimo de pressão deve estar dentro de uma área de 5° x 5°.

Sendo essas as definições, foram levantados os horários das ciclogêneses, os mínimos de pressão atmosférica registrados no evento em cada horário e a latitude e longitude desses mínimos. Para salvar os dados das ciclogêneses, foi criado um arquivo no *Microsoft Excel*. Cada ciclogênese identificada teve seu mínimo de pressão em cada horário preenchido no banco de dados gerais de uma tabela no *Excel*. Com

isso, foi possível criar as tabelas com dados de pressão de acordo com as variações de interesse, como média da pressão atmosférica por ano, média da primeira isóbara fechada por ano, média para períodos do ano de todas as isóbaras de cada ciclone e das primeiras isóbaras fechadas de cada ciclone e média em anos agrupados. Como o parâmetro de pressão ao nível médio do mar do CFSR não apresenta valores arredondados e sim com 3 casas após a vírgula, nesta pesquisa foi utilizado dois números após a vírgula. O objetivo foi perceber melhor as variações nas médias de pressão do que aconteceria caso os valores fossem arredondados.

Os mapas com os resultados criados para o capítulo de resultados foram elaborados através do *software* ArcGIS. Para os mapas de densidade das primeiras isóbaras fechadas, foram filtrados os dados de reanálise do arquivo *Excel* para que se utilizasse apenas o primeiro dado. Posteriormente foram inseridos no ArcGIS, onde um ponto foi criado no mapa para cada ciclogênese conforme sua latitude e longitude. Após isso, distribuídos nos mapas através da ferramenta “Densidade de Kernel”. Os dados de pressão atmosférica do capítulo de resultados foram elaborados através de médias calculadas pelo *Microsoft Excel*.

Os gráficos de sazonalidade da quantidade de ciclones e das médias de pressão atmosférica e o mapas sazonais foram apresentados em estações do ano, sendo que para o verão considerou-se os meses de dezembro a fevereiro, para o outono os meses de março a maio, para o inverno os meses de junho a agosto e para a primavera os meses de setembro a novembro.

Ao final, foram elaborados dois estudos de caso. O primeiro, de dois ciclones extratropicais que ocasionaram marés de tempestade que causaram destruição na praia da Armação, em Florianópolis, no estado de Santa Catarina. Os ciclones ocorreram de 4 a 6 e 18 a 20 de maio de 2010. O segundo estudo de caso é referente a um ciclone que ocorreu entre 26 e 29 de outubro de 2016 e ocasionou uma maré de tempestade que gerou diversos estragos em várias pontos do litoral das regiões Sul e Sudeste do Brasil. Os dados utilizados para os estudos de caso são do CFSR. Foram gerados mapas no Python para comparação com imagens de satélite dos dias de ocorrência e tabelas com os dados de data, localização e pressão de cada ciclone, elaboradas com os dados da reanálise obtidos na pesquisa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir são apresentados e discutidos os dados dos ciclones extratropicais identificados através da reanálise do CFSR para o período de 2000 a 2016. Dados estatísticos relativos à quantidade, tempo de duração dos ciclones e mapas com a densidade e áreas de ocorrência espacial dos eventos foram debatidos, assim como os valores de pressão atmosférica dos ciclones identificados.

4.1 Dados gerais

As ciclogêneses encontradas na área de estudo tiveram variações de duração ao longo do período analisado. Muitas delas tiveram tempo de vida de 24 horas dentro da área pesquisada. Algumas tiveram tempo menor que 24 horas e não foram incluídas por não se adequarem à metodologia. Ocorreram também casos em que o ciclone teve vida maior que 24 horas, mas seus valores mínimos de pressão atmosférica estavam acima de 1015 hPa e, portanto, foram descartados.

Em outros casos, o tempo de vida dos ciclones chegou a 8 dias, como foi o caso do ciclone ocorrido em dezembro de 2011 entre os dias 13 e 21 (o primeiro e último registro foram no horário de 00 UTC), do evento entre 07 (00 UTC) e 15 (00 UTC) de março de 2000 e do Furacão Catarina, que ocorreu entre 20 (00 UTC) e 28 (12 UTC) de março de 2004 (Tabela 3). Outros ciclones com tempo de vida longo ocorreram em 2008 (março e setembro), 2007 (entre novembro e dezembro), 2005 (fevereiro) e um outro caso também em março de 2004, sendo que todos eles tiveram tempo de vida de 7 dias no mínimo. Nenhum outro ciclone com mais de 7 dias foi encontrado no período de análise.

Durante a análise dos dados, constatou-se que na década passada, principalmente entre os anos de 2000 a 2008, ocorriam casos de ciclones com tempo de vida mais longos com uma frequência maior do que nos anos posteriores a 2008. Como comparação, os anos 2004 e 2000 tiveram 5 e 8 casos, respectivamente, de ciclones com no mínimo 4 ou mais dias dentro da área de estudo. Já os anos de 2014 e 2013 tiveram apenas um caso, enquanto que 2016 e 2015 tiveram 3 casos de ciclones com duração mínima de 4 dias.

O total de ciclogêneses identificadas, e que estavam de acordo com a metodologia empregada foi de 684, uma média de 40,24 casos anuais. A quantidade

de ciclogêneses variou anualmente, sendo que o ano com mais casos foi 2011 (50 ciclones) e seis anos apresentaram a menor quantidade, todos com 36 ciclones (Figura 9). Além disso, o ano de 2006 teve 37 casos.

Os níveis do parâmetro de pressão ao nível médio do mar mostraram oscilações na média entre os anos. Avaliando os valores de pressão atmosférica média anuais de todos os ciclones e em todos os horários de cada sistema, o ano com a menor média foi 2007, tendo média de 1001,81 hPa. Já o ano com a maior média foi 2005, com 1005,50 hPa. A menor pressão encontrada em todas os ciclones foi de 967,19 hPa em 10 de dezembro de 2003 no horário de 00h. Entretanto, valores abaixo de 970 hPa e, portanto, próximos ao menor valor de pressão entre todas as ciclogêneses, foram encontrados em outros casos também.

O ano de 2016 foi um dos anos com maior ocorrência de ciclogêneses no total, com 47, mas a média de pressão atmosférica foi uma das mais elevadas (1003,42 hPa).

Tabela 3 – Ciclones extratropicais identificados com maior ciclo de vida na área de pesquisa entre os anos de 2000 a 2016.

Mês e ano	Primeiro e último do ciclone (dia e hora)
Dezembro de 2011	Dia 13 – 00h a 21 – 00h
Março de 2008	Dia 01 – 12h a 07 – 12h
Setembro de 2008	Dia 12 – 00h a 19 – 00h
Novembro/Dezembro de 2007	Dia 26 – 12h a 04 – 00h
Fevereiro de 2005	Dia 10 – 12h a 17 – 12h
Março de 2004	Dia 14 – 12h a 21 – 00h
Março de 2004	Dia 20 – 00h a 28 – 12h
Março de 2000	Dia 07 – 00h a 15 – 00h

4.2 Quantidade de ciclogêneses ocorridas

A Figura 9 exibe a quantidade de ciclones extratropicais identificados em cada ano. É notável a existência de períodos com menos ciclones e alguns anos com uma quantidade consideravelmente maior. Os períodos de menor ocorrência foram identificados em seis anos, com 36 ciclones extratropicais em cada. Isso ocorreu em

2000, 2001, 2004, 2008, 2014 e 2015, apresentando uma moda. Ao mesmo tempo, os anos com mais casos foram períodos mais curtos mas com um visível aumento, como 2009, 2010 e 2016.

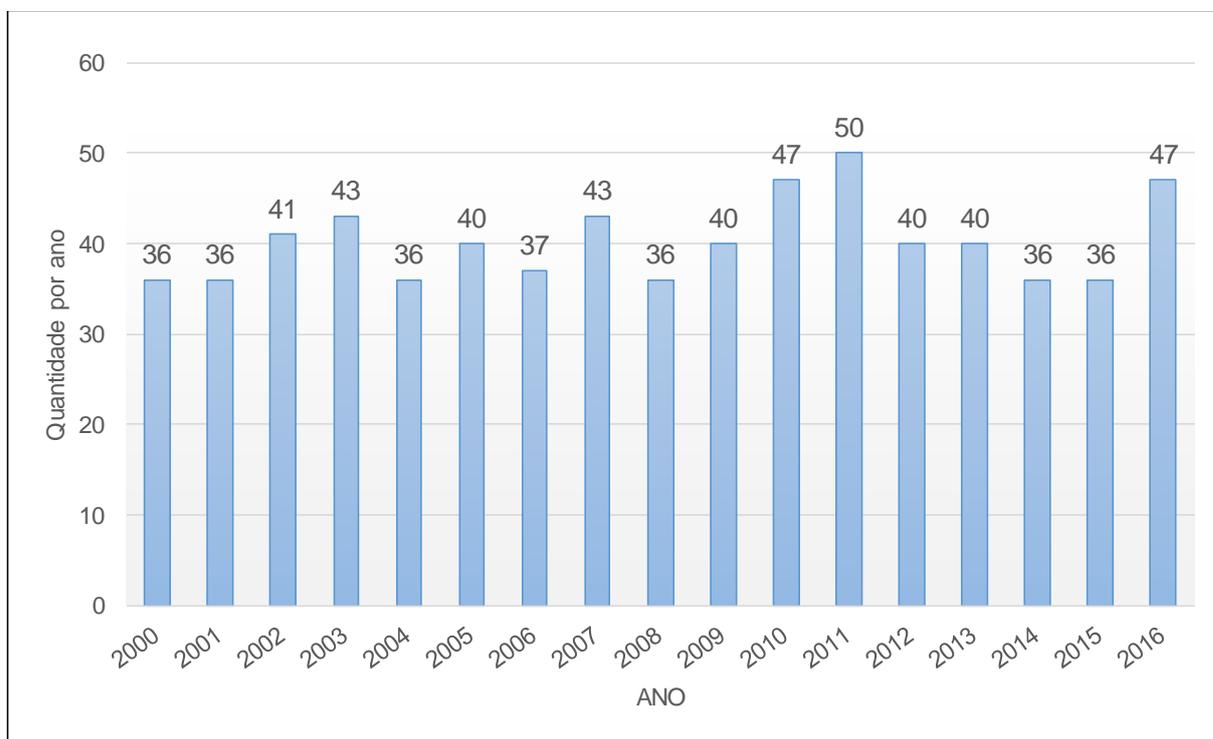


Figura 9 – Total de Ciclogêneses encontradas por ano entre 2000 e 2016.

Em 2002 e 2003 houve um aumento de casos, com 41 e 43 respectivamente. Após isso, houveram variações anuais pequenas até 2009, quando houve um aumento repentino, com 47 em 2010 e 50 em 2011, o ano com mais casos. Posteriormente, os eventos voltaram a ocorrer em uma média próxima ao período anterior de 2010. Em 2016 houve novamente um aumento de ciclones (47).

O aumento da quantidade de ciclones identificados em 2002, 2003, 2007, 2009, 2010 e 2016 corrobora com Gan e Rao (1991), que afirmaram que a ocorrência de ciclogêneses na América do Sul é maior durante os anos de El Niño e menor durante os anos de La Niña. Porém, o ano com mais casos identificados (2011) foi ano de La Niña. Conforme Rocha (2014), o ONI (Oceanic Niño Index) apresenta uma imagem com valores que indicam anos de Evento Neutro e anos com El Niño ou La Niña (Figura 10). Na figura é possível comparar os anos em que ocorreram El Niño ou La Niña e os anos neutros com a quantidade de ciclones ocorridos anualmente da Figura 9.

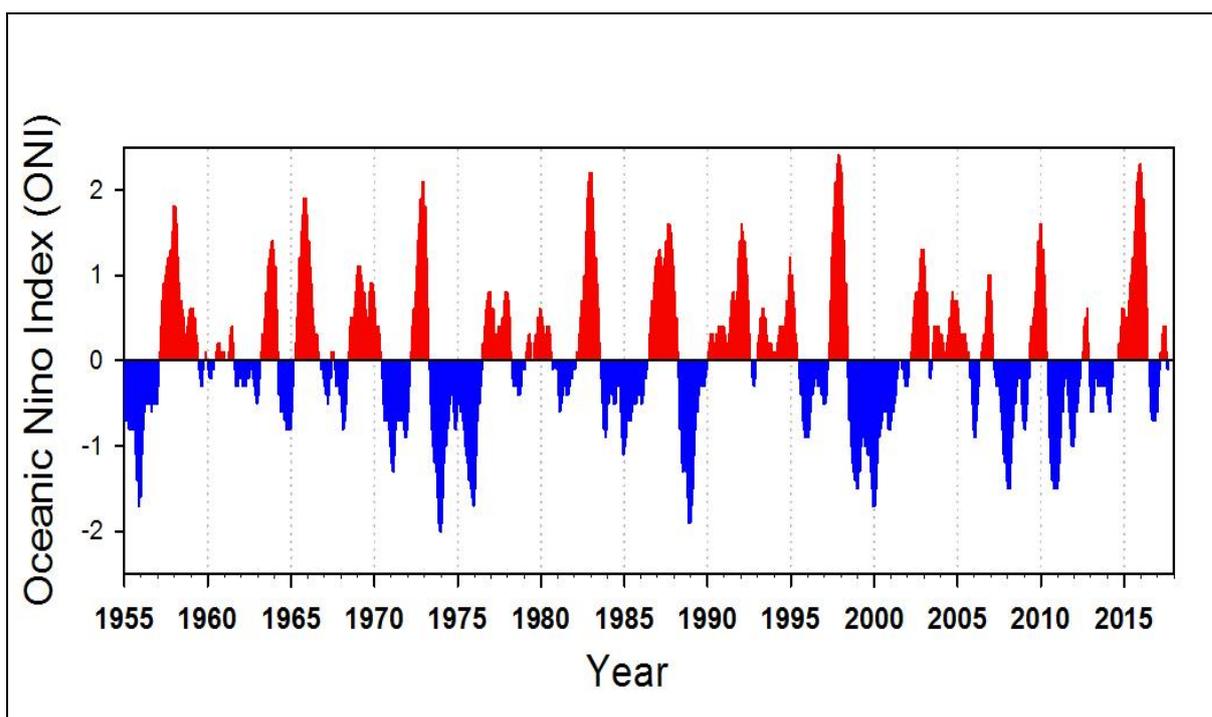


Figura 10 – Oceanic Niño Index (ONI), índice que exibe as variações de intensidade do El Niño anualmente. Valores em vermelho indicam anos com El Niño e valores em azul indicam anos com La Niña. O tamanho das barras indica a intensidade. Fonte: NOAA (2018).

4.2.1 Sazonalidade das ciclogêneses

Os dados foram também divididos nas quatro estações do ano e exibidos em tabelas com a quantidade anual de ciclogêneses para cada um dos períodos (Figura 11). Já no subcapítulo 4.4 é apresentado a variação de pressão ao nível médio do mar para os mesmos períodos. Na gráfico A da Figura 11, é possível avaliar a quantidade de ciclones ocorridos no verão anualmente. De 2004 a 2015, a quantidade se manteve em pequena variação anual, com 9 a 12 ciclogêneses ocorrendo durante os três meses juntos em cada ano. Porém, nos anos anteriores a 2004 a variação anual foi diferente, com 7, 8 e 6 ciclones identificados nos anos 2000, 2001 e 2003, respectivamente, e 15 no ano de 2002.

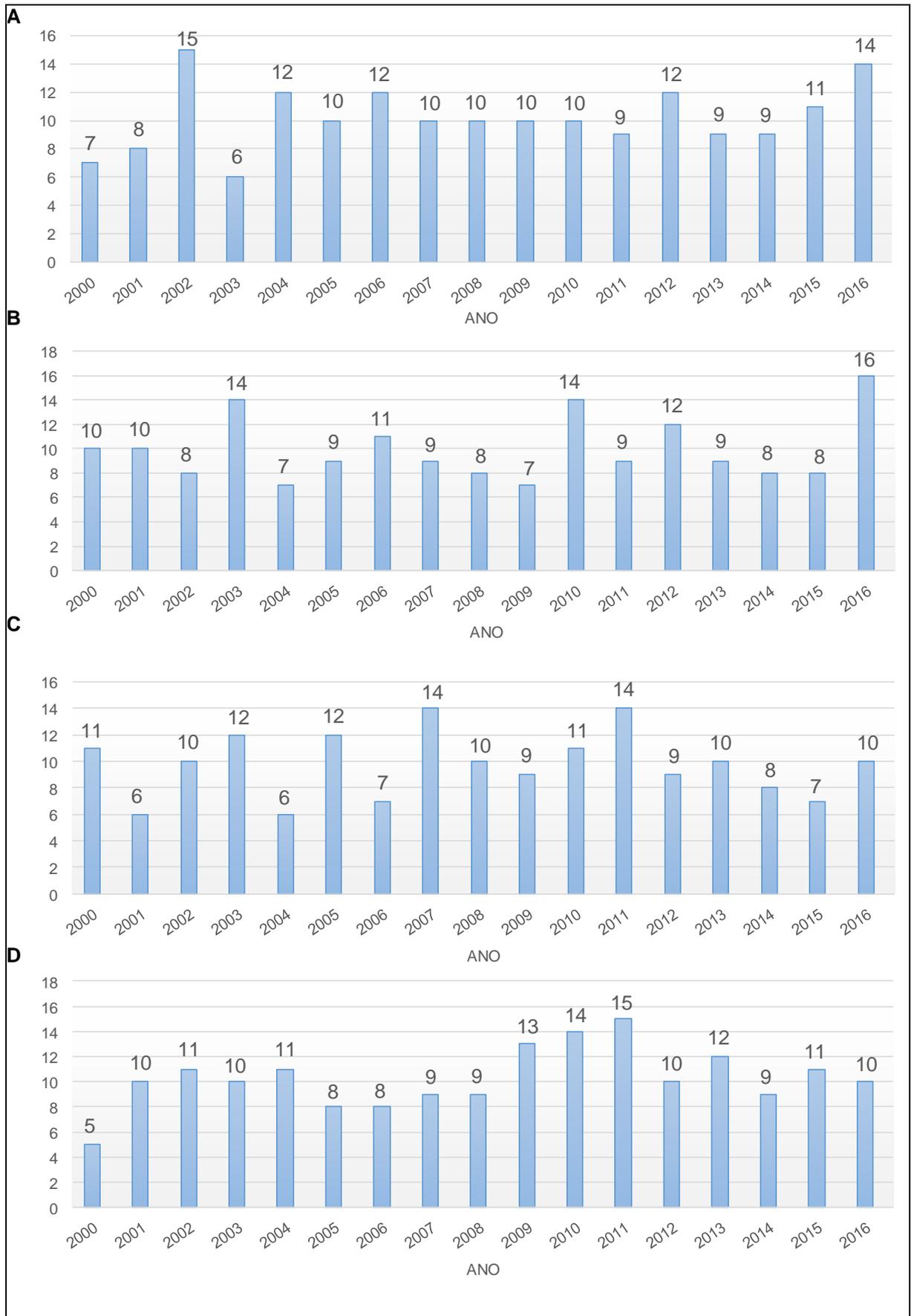


Figura 11 – Total de ciclones nas estações do ano entre 2000 e 2016. A) Verão; B) Outono; C) Inverno e D) Primavera.

Durante o outono houve uma variação anual maior do que a ocorrida no verão, conforme o gráfico B da Figura 11. Como o outono é um momento de transição entre os meses mais quentes do verão e os meses mais frios do inverno, o período entre essas duas estações tende a causar uma maior quantidade de ciclogêneses. Os anos com mais ciclones identificados foram 2003 (14), 2010 (14) e 2016 (16). Esses três anos foram, também, alguns dos anos com mais ocorrências de ciclones no total anual (Figura 9).

Apesar da menor quantidade de ciclones em 2004 no outono (7), em março de 2004 ocorreu o "Furacão Catarina", evento anômalo e de maior duração temporal entre todos os ciclones identificados.

Enquanto o ano de 2002 apresentou uma grande quantidade de ciclones nos meses de verão (15) e uma diminuição considerável em 2003 (6), no período do outono ocorreram 14 ciclones em 2003 e uma queda brusca em 2004 (7). Já entre os anos de 2005 a 2009 as médias do verão e do outono se mantiveram próximas nas duas estações.

Entre os meses de inverno foi identificado uma variação anual na quantidade de ciclogêneses ocorridas ainda maior do que nos meses de outono (Figura 11). No ano de 2004 foram identificadas poucas ciclogêneses no inverno da mesma forma como ocorreu no outono.

Ocorreram variações constantes na quantidade de ciclones entre 2000 a 2012 no inverno. Enquanto um ano apresentava uma diminuição de ciclones em relação ao mesmo período do ano anterior, no ano seguinte ocorria uma elevação, que algumas vezes chegou a dobrar a quantidade de sistemas de um ano para o outro. Foi o caso de 2004 (6) para 2005 (12) e de 2006 (7) para 2007 (14). Entre os anos de 2013 a 2016 também ocorreram variações anuais mas em menores quantidades do que entre 2000 a 2012.

Nos meses da primavera, foi identificado um máximo de ocorrências no ano de 2011, com 15 ciclogêneses (Figura 11). Com isso, o ano de 2011 teve a maior quantidade de ciclones no inverno e na primavera. A linha de variação anual de ciclones da primavera foi parecida com o gráfico da quantidade anual (Figura 9) em vários anos, como podemos observar na pequena elevação entre os anos de 2002 e 2003, na diminuição nos anos posteriores e na grande quantidade de ciclones nos anos de 2009 a 2011, além de uma nova queda nos anos seguintes.

4.2.2 Média de ciclogêneses em cada estação

Na média das ciclogêneses ocorridas em cada estação do ano (Figura 12), a primavera teve o maior valor, com 10,29 ciclones por ano e 175 no total, alta quantidade possivelmente relacionada com fato da primavera ser uma estação de transição entre o períodos mais frios do ano e quentes, que podem gerar instabilidades barotrópicas.

O verão teve a segunda maior média de ciclogêneses, com 10,24 sistemas por ano, sendo que foram identificados 174 ciclones nessa estação. Já o período do outono teve média de 9,94 ciclones por ano e 169 sistemas no total.

No inverno foram identificados 166 ciclones. A menor quantidade de ciclogêneses nos meses de inverno, com média de 9,76 ciclones por ano, parece estar relacionada com a maior quantidade de ciclones na região do Rio do Prata nesse período e a delimitação da área de pesquisa em 40° S de latitude, o que fez com que alguns ciclones formados nessa área percorressem uma rota que os afastava da área de estudo, não permanecendo 24 horas ou mais dentro da área limitada de estudo. Com isso, não atendiam aos requisitos estabelecidos na metodologia para que os ciclones fossem incluídos. Além disso, durante as análises no Python notou-se a proximidade de ciclones formados na região da Patagônia argentina com a parte sul da área pesquisada (40°S), especialmente no inverno. Pode-se mencionar neste ponto o estudo de Pezza e Ambrizzi (2003), que observou que uma redução de ciclogêneses no HS no final da década de 1970 durante o período do inverno e que isso pode estar acompanhado por ciclones com mais intensidade e maior dimensão.

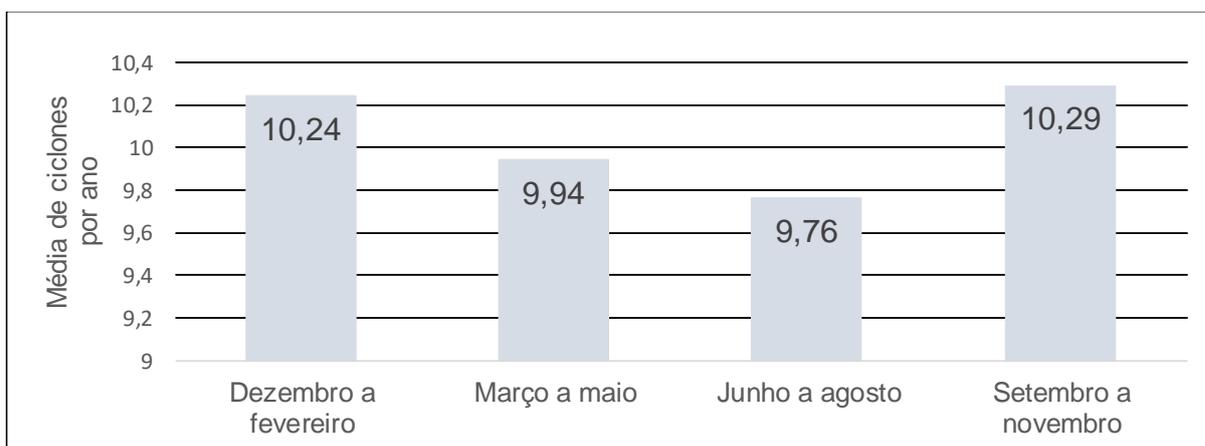


Figura 12 – Média de ciclones anuais em cada estação do ano entre 2000 a 2016.

4.3 Densidade de ciclones

No subcapítulo 4.3 constam os mapas de densidade de localização das ciclogêneses ocorridas. As densidades foram apresentadas em uma série de mapas para que se possa observar onde os ciclones aconteceram e em períodos de interesse diferentes, assim como os períodos temporais em que a ocorrência de ciclogêneses foi apresentada no subcapítulo 4.2. Essas variáveis incluem a densidade de ocorrências em mapas de calor, a densidade com pontos iniciais de cada ciclone e a densidade de ocorrências entre todas as estações do ano.

A partir dos mapas de densidade, foi possível analisar onde os ciclones ocorreram com mais frequência e verificar se os resultados encontrados estavam de acordo com pesquisas anteriores.

A Figura 13 apresenta o mapa de densidade de ciclogêneses ocorridas entre 2000 e 2016. Os mapas sazonais estão na Figura 15. Foi considerado apenas a localização da primeira isóbara fechada de cada ciclone para a elaboração do mapa. Com a identificação de todas as coordenadas iniciais de cada ciclone, foi utilizado o *software* ArcGIS para a elaboração do mapa de calor de densidade dentro da área delimitada.

É possível notar duas áreas principais de ocorrência de ciclogêneses pelas cores mais escuras: uma próxima ao Rio da Prata e do litoral do Rio Grande do Sul e outra no Oceano Atlântico próxima aos estados de São Paulo e Rio de Janeiro, na costa do Sudeste. Essas áreas já haviam sido identificadas como ciclogênicas em outros trabalhos (GAN, 1992; REBOITA, 2008).

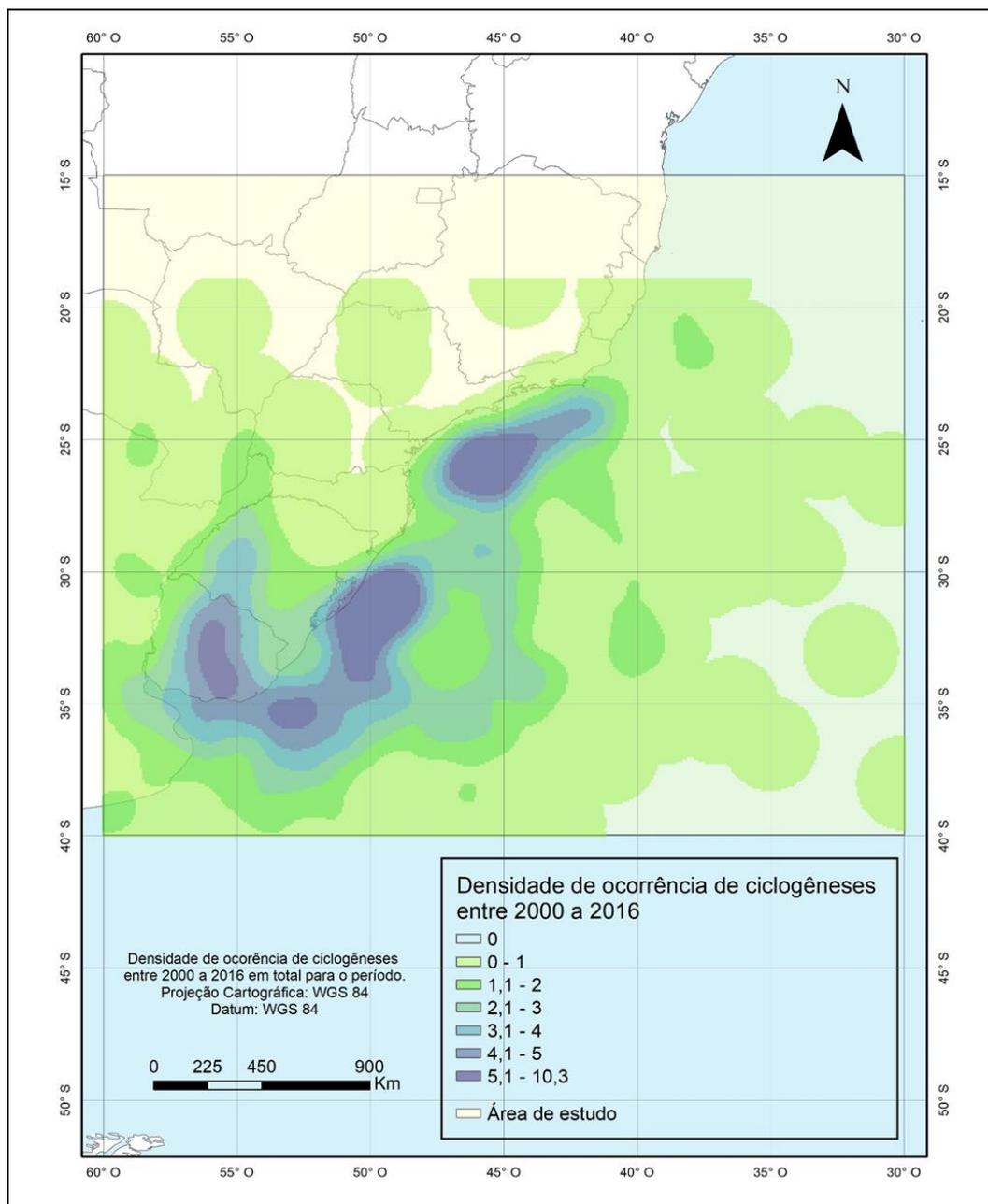


Figura 13 – Densidade de ocorrência de ciclôgeneses entre 2000 e 2016.

O trabalho de Gan e Rao (1991) relaciona a instabilidade baroclínica como um dos principais motivos para a região do Rio da Prata ser altamente ciclogénica e associada ao fato de ser uma região que se encontra a sotavento da Cordilheira dos Andes, possuindo efeito de montanha.

Reboita (2008) afirma em seu estudo que a atividade ciclogénica na região da costa do Sudeste do Brasil é maior quando os distúrbios em níveis superiores são mais fracos, o que ocorre principalmente no verão. Entretanto, essa é a estação de maior disponibilidade de umidade, o que torna esse fator fundamental para que ocorram ciclogêneses nessa região.

É perceptível que a densidade na região do rio do Prata é maior do que a região ciclogénica oceânica próxima à região da costa do Sudeste, que é mais concentrada. Este fator explica por que a densidade dessa região é mais dispersa no mapa. Pode-se perceber, também, que a densidade na região foi bastante circundante ao litoral do Rio Grande do Sul e à desembocadura do Rio da Prata.

Na Figura 14 consta um mapa elaborado apenas com as coordenadas do mínimo de pressão de cada primeira isóbara identificada de cada ciclone extratropical. Diferente da Figura 13, que é um mapa de densidade de calor das ocorrências, a Figura 14 pode-se considerar um mapa de localização de cada primeira isóbara fechada identificada com formato de ponto. Cada ponto representa, então, a coordenada do mínimo de pressão da primeira isóbara fechada de cada ciclogênese. Com isso, tem-se uma melhor noção da espacialidade de ocorrências das ciclogêneses.

Na zona entre 15°S e 20°S de latitude praticamente não foram identificadas ciclogêneses. Foram apenas seis casos ocorrido nessa área entre 2000 a 2016, todas próximas ao litoral do Espírito Santo.

A região do Rio da Prata e da costa do Rio Grande do Sul apresentaram uma quantidade de ciclogêneses visivelmente maior do que a região da costa do Sudeste do Brasil, onde os ciclones foram mais concentrados.

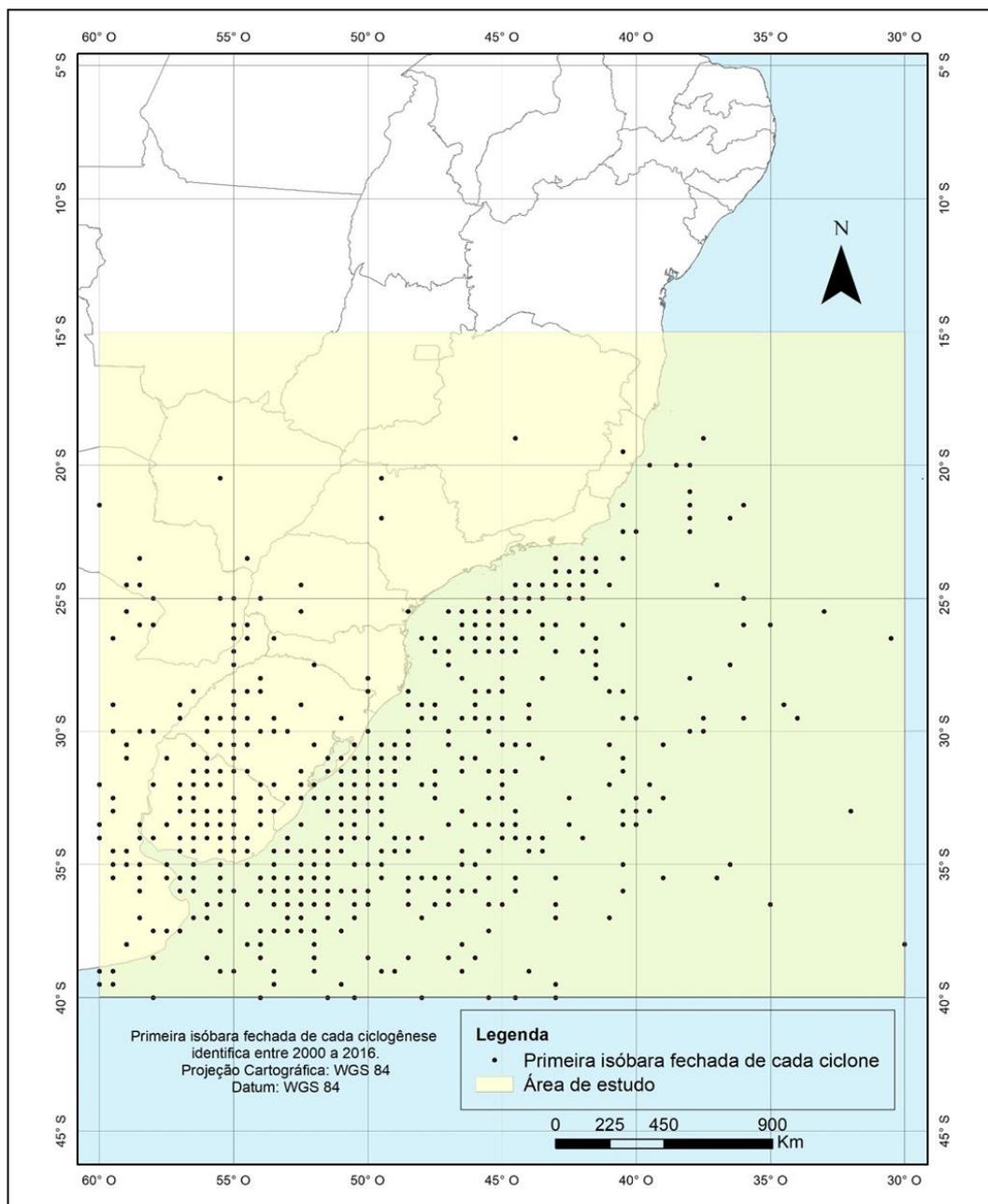


Figura 14 - Mapa da localização do ponto de mínima pressão atmosférica de cada primeira isóbara fechada de todas as ciclogêneses identificadas entre 2000 e 2016.

4.3.1 Sazonalidade da densidade de ciclogêneses

Como os mapas das Figuras 13 e 14 mostram a densidade de ocorrências durante todo o período de estudo, foram elaborados mapas com dados para períodos sazonais determinados iguais ao do subcapítulo 4.2 para comparação.

A Figura 15 mostra a densidade das ciclogêneses ocorridas entre as estações do ano. Assim como no mapa de densidade de todos os ciclones (Figura 13), duas áreas principais são identificadas como ciclogenéticas quando analisados todos os mapas: a região do Rio da Prata e costa do Rio Grande do Sul e a costa do Sudeste do Brasil.

Uma maior densidade foi notada na região da costa do Sudeste nos meses de verão em relação à outros períodos do ano. A maior quantidade de ciclogêneses nessa região nos meses de verão está relacionado com a maior disponibilidade de umidade do período mais quente do ano, como já comentando anteriormente. A atividade ciclogenética nessa região é resultante também de distúrbios mais fracos em níveis superiores, o que ocorre com maior frequência no verão, segundo Reboita (2008).

Entre os meses de outono (Figura 15), a densidade de ciclogêneses na região da costa do Sudeste diminuiu em relação ao verão. Já na região da costa do Rio Grande do Sul houve um aumento da densidade, junto com um aumento na região do Rio da Prata. Além do aumento da densidade nas áreas mencionados, notou-se uma distribuição espacial maior de ciclogêneses no sul do Brasil, se comparando ao período dos meses de verão.

Foi durante o período dos meses de outono que ocorreram eventos anormais, como foi o caso do Furacão Catarina (2004) e da tempestade tropical Anita (2010). O furacão Catarina foi notável pelo fato desse evento não ter precedentes no Oceano Atlântico Sul e ter atingido o continente, provocando desastres. No caso da tempestade Anita, Rocha e Santos (2011) apontaram que foi a primeira tempestade do ano de 2010 em todo o Oceano Atlântico e que ela teve trajetória de leste para oeste (assim como o Catarina após determinado momento), sendo que existe a possibilidade de Anita ter sido a tempestade tropical mais ao sul no Oceano Atlântico até o momento do estudo, atingindo a latitude do Chuí, no Rio Grande do Sul.

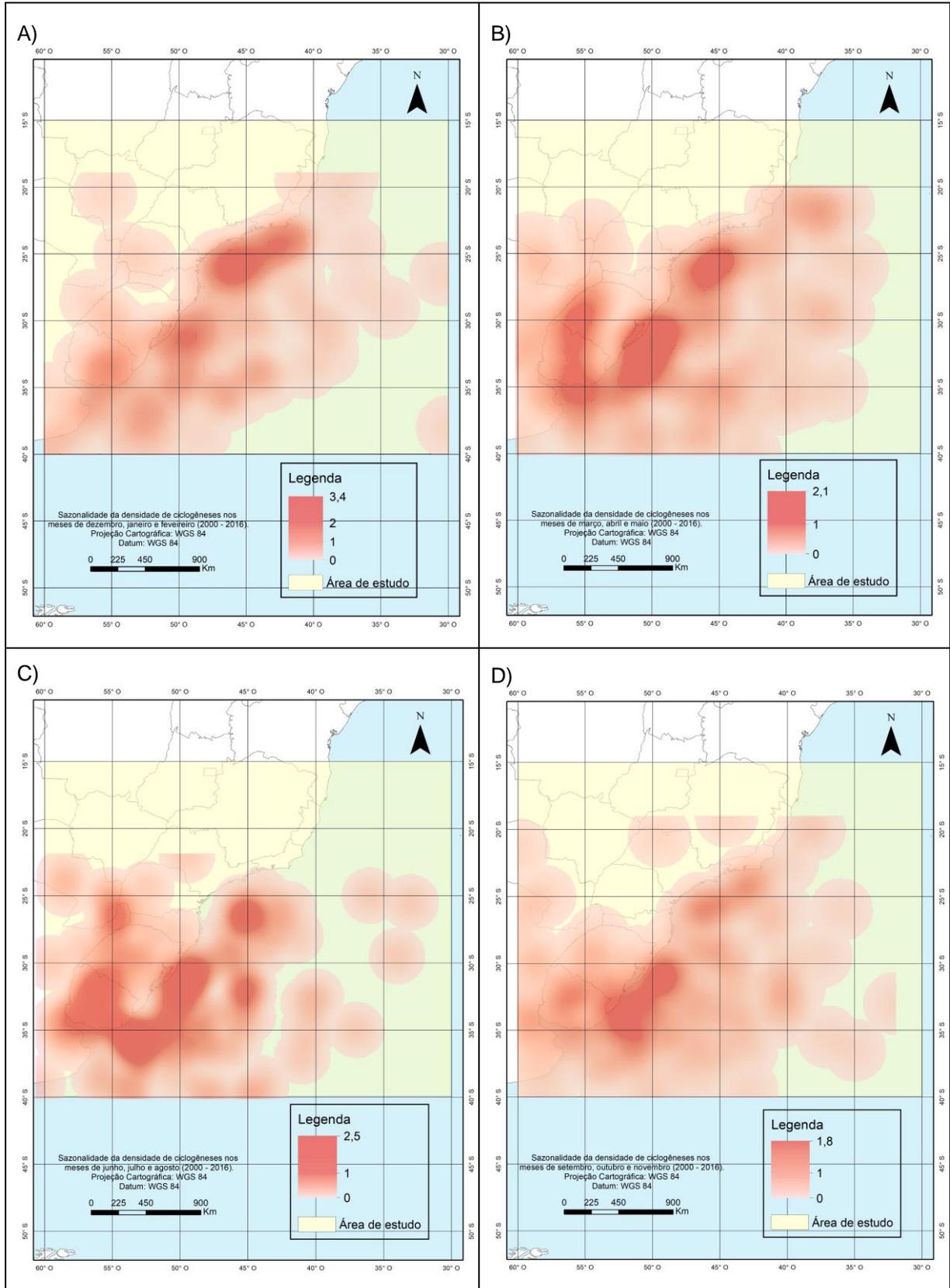


Figura 15 – Sazonalidade da densidade de ciclogêneses entre 2000 a 2016. A) Verão; B) Outono; C) Inverno e D) Primavera.

No presente estudo, a tempestade tropical Anita teve início em 07 de março de 2010 no horário das 12 horas, com pressão de 1006,11 hPa e fim no dia 12 de março de 2010 no horário das 12 horas, com pressão mínima de 990,20 hPa.

Como esperado, com a mudança de estação do verão para o outono, a quantidade de ciclogêneses na região do Rio da Prata e costa do Rio Grande do Sul aumentou. Ao mesmo tempo, com o fim do verão ocorreu uma diminuição de ciclogêneses na região da costa do Sudeste.

No período de inverno (Figura 15), as ciclogêneses na região da costa do Sudeste diminuíram consideravelmente, ao ponto dessa região praticamente não se destacar mais como uma região isolada com grande densidade de ciclogêneses. É possível notar outros pontos ao sul com densidade superior ao ocorrido no período de junho a agosto na região da costa do Sudeste do Brasil.

Já na região do Rio da Prata e costa do Rio Grande do Sul a densidade de ocorrência de ciclones aumentou consideravelmente nos meses de inverno, como esperado. Toda a faixa que vai do Rio da Prata ao litoral de Santa Catarina aparece com uma densidade alta de ciclogêneses entre os meses de inverno, sendo que dentro desta alta faixa ainda se destacaram duas outras regiões com densidade ainda maior: uma próxima ao litoral do Uruguai e outra próxima ao litoral norte do Rio Grande do Sul.

A ocorrência de ciclogêneses para nos meses de primavera (Figura 12) mostra que a estação foi o que teve a maior quantidade totais de ciclones, com 178 nos 17 anos de pesquisa. Com isso, era esperado que houvesse uma distribuição maior da densidade dos eventos (Figura 15).

A região da costa do Sudeste reaparece com uma densidade mais visível entre os meses de primavera. A densidade no período de inverno foi mais concentrada nessa região do que nos meses de setembro a novembro. Porém, na primavera ocorreram mais ciclones e de forma mais distribuída, diminuindo a intensidade da densidade no mapa mas aumentando a área de distribuição.

A costa do Rio Grande do Sul teve uma grande quantidade de ciclogêneses no período da primavera, assim como sua distribuição espacial. Isso foi observado no mapa da densidade da Figura 15. Toda a faixa litorânea do Rio Grande do Sul ao sul catarinense aparece com uma densidade alta de ciclogêneses, o que mostra que o litoral gaúcho é muito suscetível a ciclones extratropicais e, conseqüentemente, seus impactos na primavera, assim como no inverno.

4.4 Pressão ao nível médio do mar dos ciclones identificados

No subcapítulo 4.4 estão apresentados os dados de pressão atmosférica das ciclogêneses identificadas entre 2000 a 2016. O parâmetro utilizado do CFSR para alcançar os valores foi a pressão ao nível médio do mar (pressure reduced to MSL).

A Figura 16 apresenta a média de pressão atmosférica de todos os ciclones por ano, considerando todos os horários de cada ciclone. O ano com a maior média de pressão foi 2005, com 1005,51 hPa. Já o ano com a menor média foi 2007 (1001,81 hPa), valor próximo ao do ano 2003, que teve 1001,97 hPa de média. Esses dois anos foram também o quarto e o quinto com a maior quantidade de ciclogêneses totais.

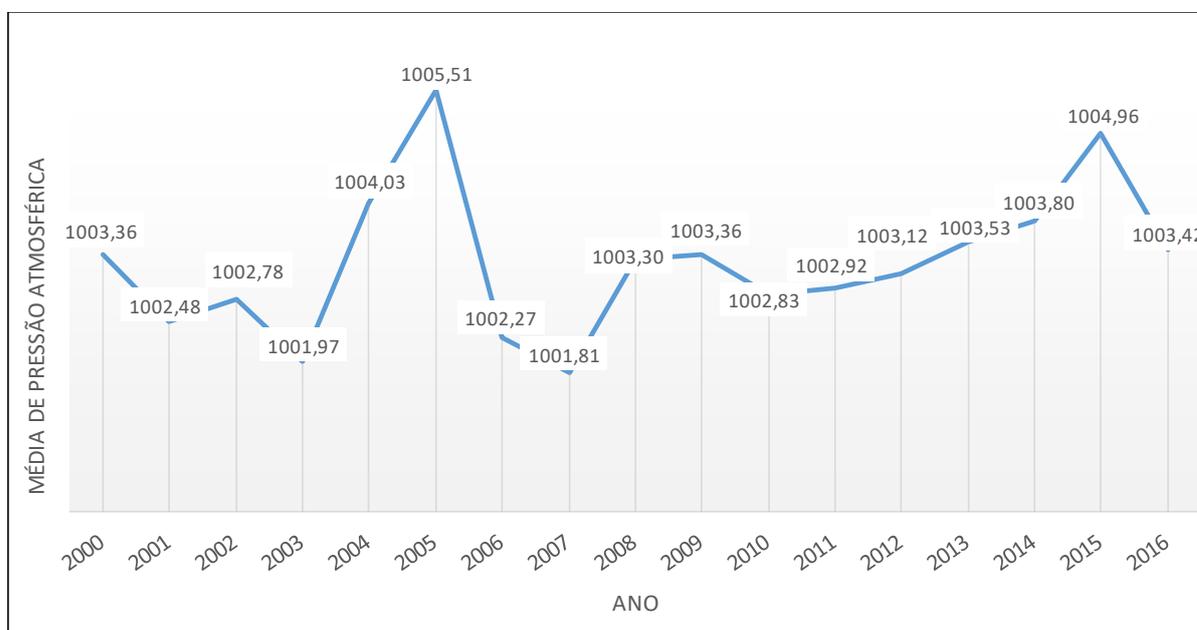


Figura 16 – Média anual de pressão atmosférica (hPa) de todos os ciclones estudados.

Considerando que os anos de 2010 e 2011 foram os dois anos com a maior quantidade de ciclones totais (Figura 9) e que a média de pressão atmosférica desses anos estão entre as mais baixas, nota-se que esses foram realmente dois anos atípicos. A elevada quantidade de ciclones no período de 2010 a 2011 e a maior densidade de ocorrência desses ciclones na região do Rio da Prata diminuíram a média da pressão atmosférica nesses dois anos, já que os ciclones que ocorrem nessa latitude costumam ter pressão atmosférica menor do que os que ocorrem na

região da costa do Sudeste. Com isso, a média de pressão atmosférica diminuiu quando ocorrem mais ciclones na região do Rio da Prata.

Em relação a média da pressão atmosférica considerando apenas a primeira isóbara fechada de cada ciclone (Figura 17), houve uma constante variação nas médias a cada ano. A maior média foi a do ano de 2016, com 1008,23 hPa. Já a menor média foi identificada nos anos de 2004 e 2009, com 1006,27 hPa em cada ano.

Os anos de 2006 (média de 1006,34 hPa) e 2007 (1006,8 hPa) foram os anos em que a média da primeira isóbara fechada de cada ciclone e a média anual de pressão de todos os horários dos ciclones (Figura 16) ficaram entre os anos com menores valores. Os demais anos tiveram variações maiores entre a média de pressão de todas os horários e a média da primeira isóbara fechada.

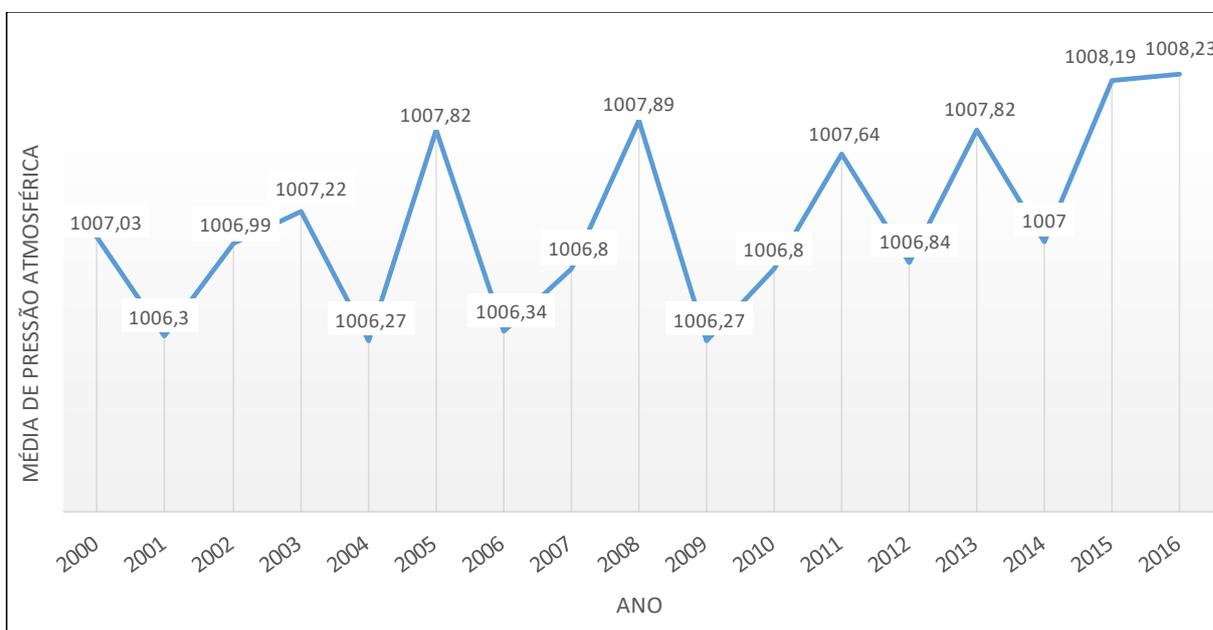


Figura 17 – Média anual de pressão atmosférica (hPa) da primeira isóbara fechada de cada ciclone identificado entre 2000 a 2016.

4.4.1 Média de pressão sazonal dos ciclones

Os dados médios de pressão atmosférica foram divididos também em estações do ano, como feito anteriormente com a quantidade e densidade dos ciclones. Os gráficos foram divididos em dois subcapítulos. No subcapítulo 4.4.1 estão as médias sazonais de pressão atmosférica considerando a pressão mínima em todos

os horários de cada ciclone. No subcapítulo 4.4.2 constam as médias sazonais de pressão considerando apenas o horário da primeira isóbara fechada de cada ciclone.

A média anual da pressão atmosférica considerando todos os horários de cada ciclone no verão está na Figura 18 no gráfico A. O ano com a menor média foi 2010 (1000,35 hPa), sendo que 2010 teve 10 ciclones para o período. O segundo ano com a menor média foi 2009, com 1001,11 hPa. 2009 teve 10 ciclones no período do verão. 2014 foi o ano com a maior média para o período, com 1008,54 hPa e nove ciclones no total. A média geral para no verão, considerando todos os anos, foi de 1003,91 hPa.

No outono, a média de pressão entre todos os anos foi de 1003,55 hPa. No gráfico B da Figura 18 estão as médias por ano nessa estação. O ano de 2003 teve a menor média, com 1000,75 hPa, seguido de 2013, com 1000,78 hPa. 2003 teve 14 ciclones no período e 2013 nove. Os anos com as maiores médias de pressão foram 2015 e 2005, com 1006,21 e 1006,06 hPa, respectivamente. Enquanto que 2015 teve 8 ciclones, 2005 teve 11 casos no período. Os anos com as maiores e menores médias nos meses de outono foram diferentes das maiores e menores médias do verão.

No período de inverno a média da pressão atmosférica foi de 1003,62 hPa, ligeiramente superior à média do outono. No gráfico C da Figura 18 observamos que o ano com a menor média para no período foi 2006, com 995,93 hPa, e a segunda menor média aconteceu em 2007, também abaixo de 1000 hPa, com 999,6 hPa. Enquanto 2006 teve oito ciclones no período de inverno, em 2007 ocorreram 12 ciclones. O ano com a maior média foi 2002, com 1006,27 hPa, e 10 ciclones no total.

O estação da primavera, no gráfico D da Figura 18, teve a menor média de pressão atmosférica entre todas as estações, com 1002,13 hPa. Como neste período aconteceram mais ciclones na região do Rio da Prata do que nos outros períodos do ano, a média de pressão diminuiu.

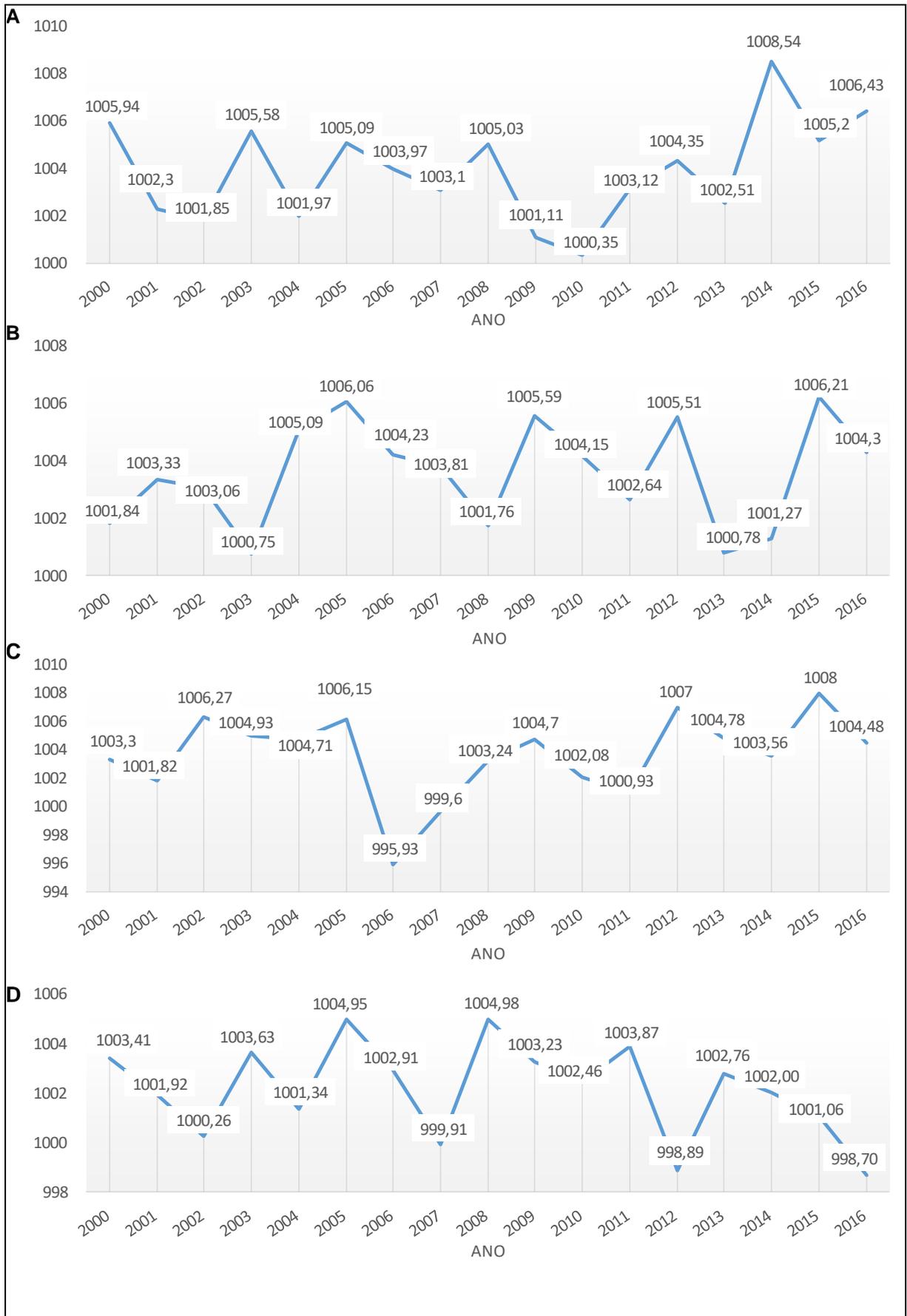


Figura 18 – Média anual de pressão atmosférica (hPa) dos ciclones nas estações do ano. A) Verão; B) Outono; C) Inverno e D) Primavera.

O ano com a menor média de pressão atmosférica na primavera foi 2016, com 998,70 hPa e 10 ciclones no total. O segundo ano com a menor média foi 2012, com 998,89 hPa e também 10 ciclones. Outro ano com média abaixo de 1000 hPa na primavera foi 2007 (999,91 hPa). Esses três anos e os períodos de inverno de 2006 (995,96 hPa) e 2007 (999,6 hPa) foram os únicos cinco em que a média da pressão atmosférica dos ciclones ficou abaixo de 1000 hPa em alguma estação do ano.

4.4.2 Média de pressão sazonal da primeira isóbara fechada dos ciclones

No subcapítulo 4.4.2 estão as médias de pressão atmosférica encontradas para as estações do ano quando considerado apenas a primeira isóbara fechada de cada ciclogênese, diferentemente do subcapítulo 4.4.1, onde constam as médias de todos os horários dos ciclones. Os períodos foram também divididos em estações do ano. Em geral, as médias de pressão mínima apenas da primeira isóbara foram mais altas do que a média de todos os horários.

Na Figura 19 constam as médias de pressão atmosférica da primeira isóbara de cada ciclone no verão. O ano com a média mais baixa foi 2001, quando o valor foi de 1004,01 hPa, tendo ocorrido 8 ciclones nesse período. O ano de 2010, que foi o ano com a menor média para o período dezembro a fevereiro quando considerado todos os horários dos ciclones (Figura 18), teve também a segunda menor média da primeira isóbara fechada no verão (1004,17 hPa). A maior média da primeira isóbara fechada no verão ocorreu em 2014 (1008,71 hPa), sendo que foram identificados nove ciclones no período.

Durante o período do outono, os dois anos que tiveram as menores médias de pressão para a primeira isóbara fechada foram 2014 (1005,07 hPa) e 2013 (1005,18 hPa), respectivamente, conforme o gráfico B da Figura 19. Estes dois anos tiveram também algumas das médias mais baixas no outono quando considerado todos os horários dos ciclones (Figura 18). Após 2013 e 2014, as médias de aumentaram consideravelmente, sendo 2015 (1010 hPa) e 2016 (1009,72 hPa) os anos com as médias mais elevadas do outono.

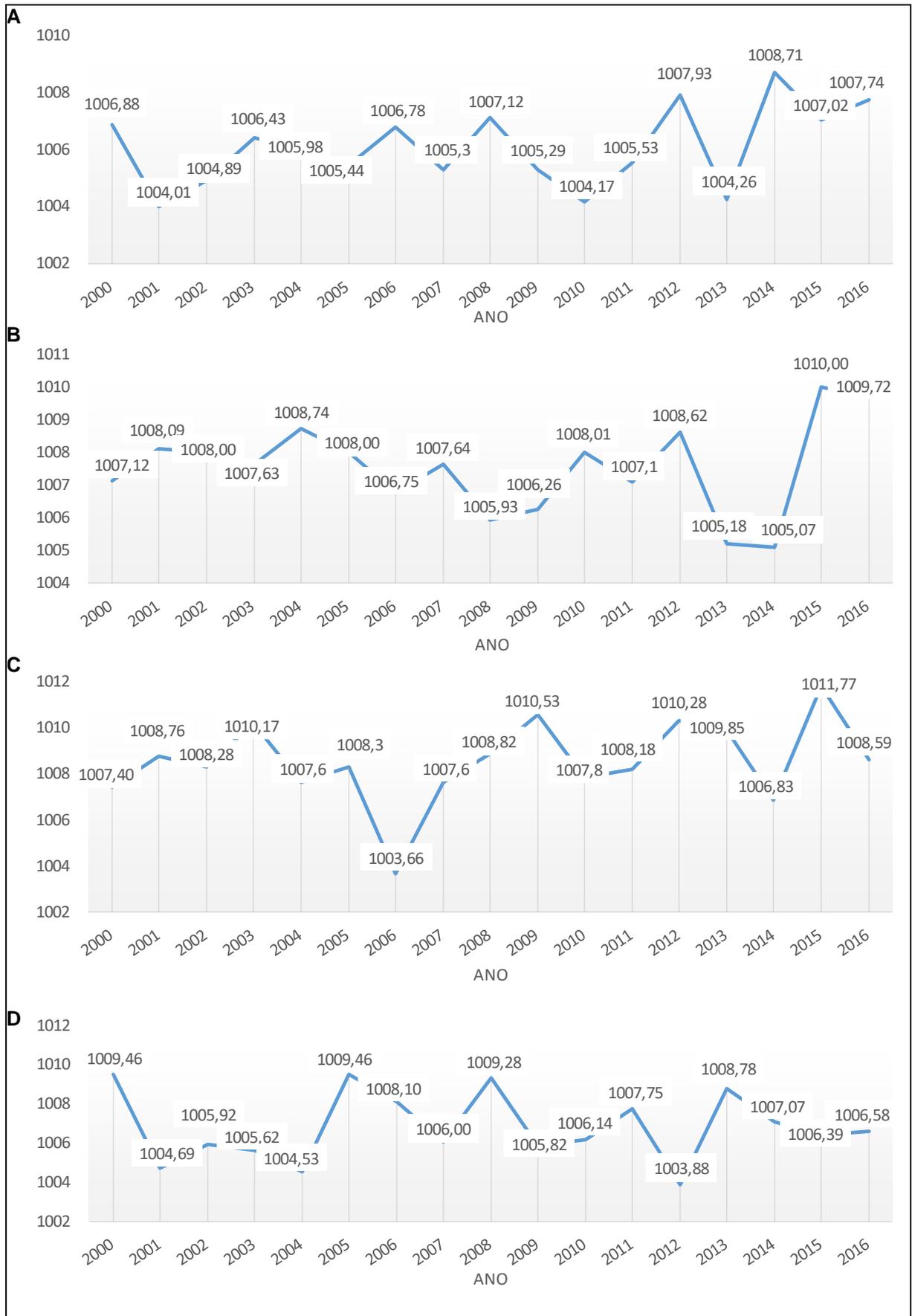


Figura 19 – Média anual de pressão atmosférica (hPa) da primeira isóbara fechada de cada ciclone nas estações do ano. A) Verão; B) Outono; C) Inverno e D) Primavera.

No gráfico C da Figura 19, nota-se que nos meses do inverno as médias de pressão da atmosférica da primeira isóbara fechada variaram bastante anualmente, sendo que foi nessa estação que a menor e a maior média em um ano foram identificadas, considerando todas as estações. O ano de 2006 registrou a menor média (1003,66 hPa) e 2015 a maior (1011,77 hPa). Em muitos anos do inverno foi observado que a média anual foi mais alta do que a maioria das médias identificadas nas outras estações.

Na primavera (gráfico D da Figura 19), o ano com a menor média foi 2012 (1003,88 hPa) e o ano com a maior média foi 2000 (1009,46 hPa). Quando considerado todos os horários dos ciclones, a estação com a menor média de pressão atmosférica foi a primavera e quando considerado apenas a primeira isóbara fechada de cada ciclone a menor média foi identificada no verão. Porém, ao analisar todos os horários dos ciclones, o verão teve a pressão atmosférica média mais elevada entre todas as estações.

A média de pressão atmosférica da primeira isóbara fechada de cada ciclone nas estações do ano, considerando os 17 anos de pesquisa, foram os seguintes: o verão teve média de 1006,09 hPa, o outono 1007,52 hPa, o inverno 1008,05 hPa e a primavera 1006,79 hPa.

4.4.3 Ciclones com os menores valores de pressão atmosférica

Foram avaliados também os ciclones que tiveram as menores pressões no geral, independente do horário em que foi registrado. Para isso, na Figura 20 foi exibido a quantidade de ciclones por ano que tiveram pressão atmosférica mínima menor que 981 hPa em pelo menos um horário. O mínimo de 981 hPa foi utilizada porque em muitos casos os ciclones com os menores valores de pressão tiveram mínimas próximas de 981 hPa.

O ano com a maior quantidade de ciclones com pelo menos um horário onde o mínimo de pressão foi inferior a 981 hPa foi 2016, com 4 ciclones. Apesar de o período entre 2009 a 2011 ter sido o mais elevado em quantidade de ciclones ocorridos, apenas 6 ciclones tiveram um ou mais horários com pressão inferior a 981 hPa. O ano de 2008 foi o único com zero eventos. De forma geral, os valores subiram e desceram em todo o período de pesquisa, variando de 1 a 3 ciclones por ano, com exceção dos já mencionados anos de 2016 e 2008.

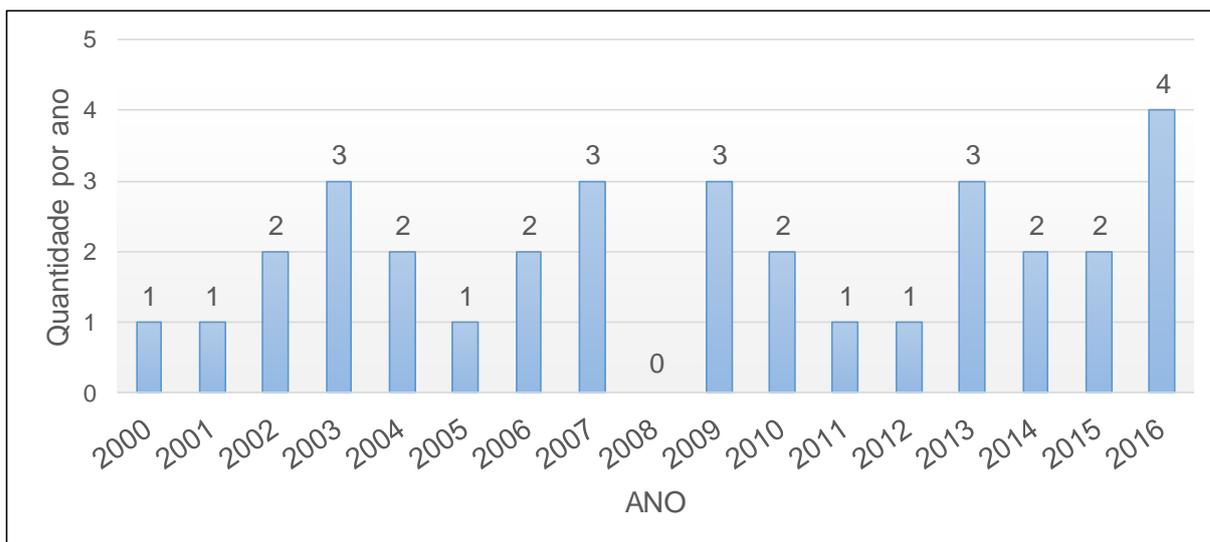


Figura 20 – Ciclones com pressão atmosférica menor que 981 hPa em um ou mais horários por ano.

Dois mapas de localização dos ciclones com um ou mais horários com pressão menor que 981 hPa foram criados. No primeiro mapa, (Figura 21), foram marcados pontos dentro da área de pesquisa que mostram a localização do primeiro horário de cada ciclone que teve pressão menor que 981 hPa em pelo menos um horário. Quase todos as ciclogêneses ocorreram na região do Rio da Prata ou nas proximidades. Nenhum ciclone teve início na região da costa do Sudeste do Brasil.

No mapa da Figura 22 estão os pontos em que foram registradas as mínimas de pressão inferiores a 981 hPa. Alguns pontos ocorreram próximos da região do Rio da Prata, mas já com relativa distância do continente. A maioria dos casos foram registrados mais a leste e sul da costa, seguindo o deslocamento normal dos ciclones, e já longes do continente, sendo que em muitos horários as mínimas inferiores a 981 hPa foram registradas já na latitude de 40°S.

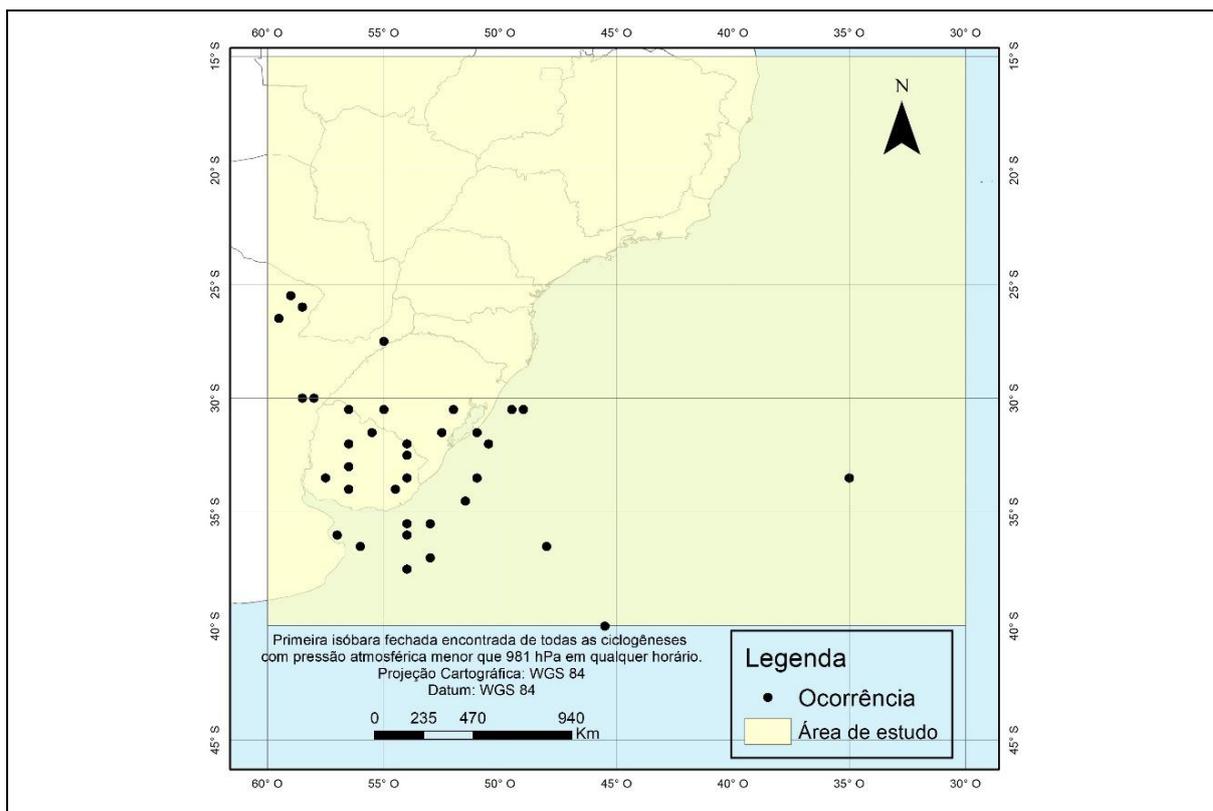


Figura 21 – Localização da primeira isóbara fechada de todas os ciclones identificados com pressão atmosférica mínima menor que 981 hPa em pelo menos um horário.

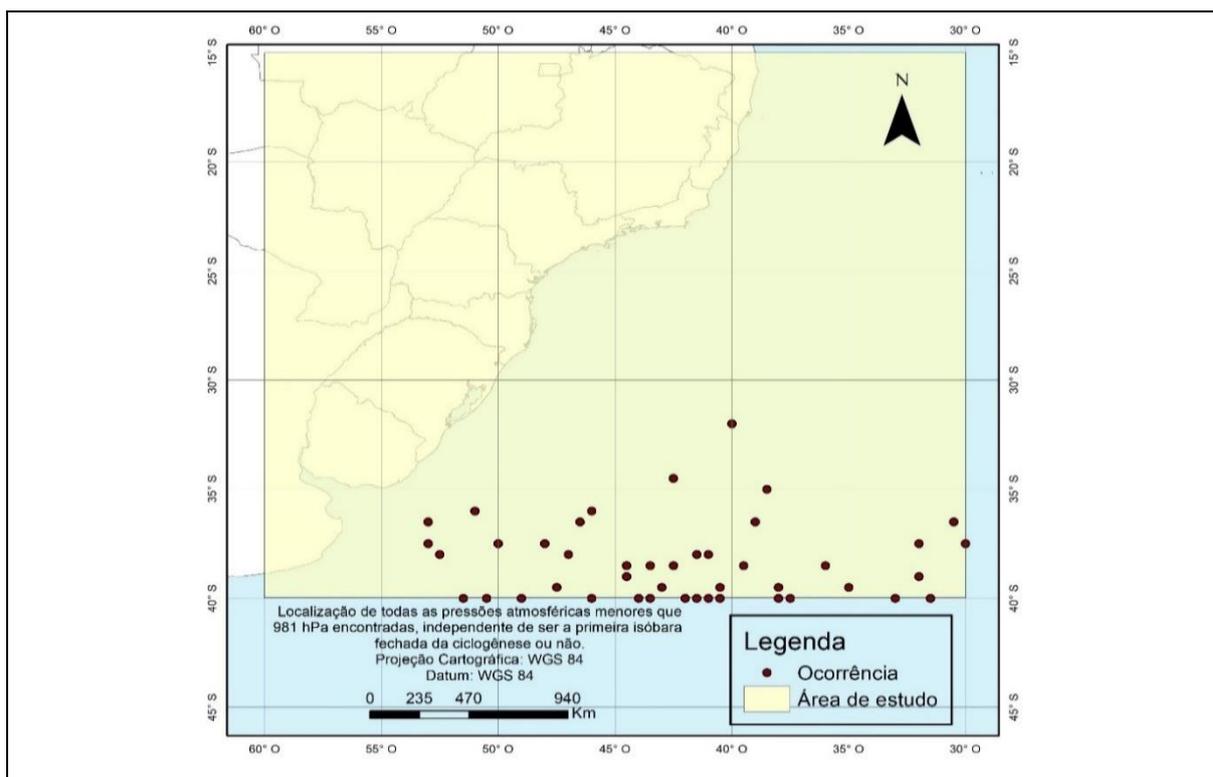


Figura 22 – Localização de todas as pressões atmosféricas menores que 981 hPa independentemente de ser a primeira isóbara fechada da ciclôgenese ou não.

5 ESTUDOS DE CASO

Neste capítulo são apresentados dois estudos de caso. No subcapítulo 5.1, um estudo sobre dois ciclones extratropicais que causaram duas marés de tempestade na praia da Armação do Pântano do Sul, em Florianópolis/SC, em maio de 2010. No subcapítulo 5.2, um outro estudo sobre um ciclone ocorrido próximo da costa do Rio Grande do Sul em outubro de 2016 e que causou uma forte ressaca com estragos nos litorais Sul e Sudeste do Brasil, sendo a praia do Hermenegildo, em Santa Vitória do Palmar no Rio Grande do Sul, uma das mais afetadas. São apresentados os dados encontrados na pesquisa sobre os ciclones ocorridos e os mapas com a pressão atmosférica para cada horário.

5.1 Ciclones de maio de 2010

A praia da Armação está localizada na costa sudeste da ilha de Santa Catarina, com uma extensão de 3.200 metros. O setor sul da praia da Armação é bastante urbanizado, com uma estreita faixa de areia, enquanto que no setor norte situa-se o Parque Municipal da Lagoa do Peri (PEIXOTO, 2010). Em maio de 2010 duas fortes marés de tempestade atingiram a praia influenciadas por ciclones extratropicais. Nesta pesquisa, dois ciclones foram encontrados em dias próximos aos dias em que as ressacas ocorreram. O primeiro evento com ressaca registrada ocorreu entre 2 e 5 de maio de 2010 e a segunda maré de tempestade entre os dias 18 e 20. Os dados do Programa Nacional de Boias (PNBOIA), que poderiam colaborar na identificação de alterações marítimas nas datas dos ciclones, não foram localizados no estado de Santa Catarina no período.

Na pesquisa com dados do CFSR, os dois ciclones encontrados em datas próximas aos dias em que aconteceram as ressacas ocorreram entre 4 e 6 de maio de 2010 e entre 18 e 20 de maio de 2010. Na Tabela 4 estão os dados dos dois ciclones. O primeiro evento teve o primeiro horário identificado no dia 4 de maio e o horário foi 00 UTC, com pressão atmosférica de 1009,23 hPa. A localização do mínimo de pressão foi na latitude de 29,5°S e longitude de 55,5°W. As coordenadas da praia da Armação em Florianópolis são de 27,7°S de latitude e 48,5°W de longitude. O último horário observado do ciclone dentro da área de estudo foi no horário 00 UTC do dia 6 de maio na latitude 37°S e longitude 34°W, com pressão de 1003,84 hPa.

O segundo ciclone teve início no dia 18 de maio às 12 horas, com pressão mínima de 1010,97 hPa, pressão identificada nas coordenadas 29°S e 55°W. Nos dois horários do dia 19 o mínimo de pressão foi localizado próximo à a praia da Armação. Os dois horários identificados do ciclone no dia 20 de maio também tiveram mínimas próximas das coordenadas da praia da Armação.

Tabela 4 – Dados dos dois ciclones identificados em maio de 2010 e que ocasionaram marés de tempestade na praia da Armação em Florianópolis/SC.

Evento	Data (Dia/Mês/Ano/Hora UTC)	Latitude	Longitude	Pressão Mínima (hPa)
1	04/05/2010 – 00h	-29,5	-55,5	1009,23
	04/05/2010 – 12h	-30,5	-55	1009,79
	05/05/2010 – 00h	-34,5	-45	1007,61
	05/05/2010 – 12h	-35,5	-40,5	1007,09
	06/05/2010 – 00h	-37	-34	1003,84
2	18/05/2010 – 12h	-29	-55	1010,97
	19/05/2010 – 00h	-27	-49	1010,58
	19/05/2010 – 12h	-28	-47	1009,25
	20/05/2010 – 00h	-24,5	-43	1011,78
	20/05/2010 – 12h	-28,5	-44	1010,07

Nas Figuras 23 e 24 estão os mapas com a identificação dos dois ciclones e as suas trajetórias. Nota-se que o ciclone com atuação entre 4 a 6 de maio de 2010 (Figura 23) ocorreu próximo ao litoral do Rio Grande do Sul e teve trajetória no sentido sudeste. Já o ciclone que ocorreu entre 18 a 20 de maio de 2010 (Figura 24) teve seu deslocamento mais ao norte do que o primeiro ciclone, sendo que na terceira imagem da Figura 24 é perceptível que o centro de baixa pressão do ciclone atuou junto à costa catarinense, próximo da ilha da Santa Catarina. Apesar de não intenso em relação a pressão atmosférica, esse ciclone influenciou a ressaca que atingiu a praia da Armação em Florianópolis, uma praia já fragilizada.

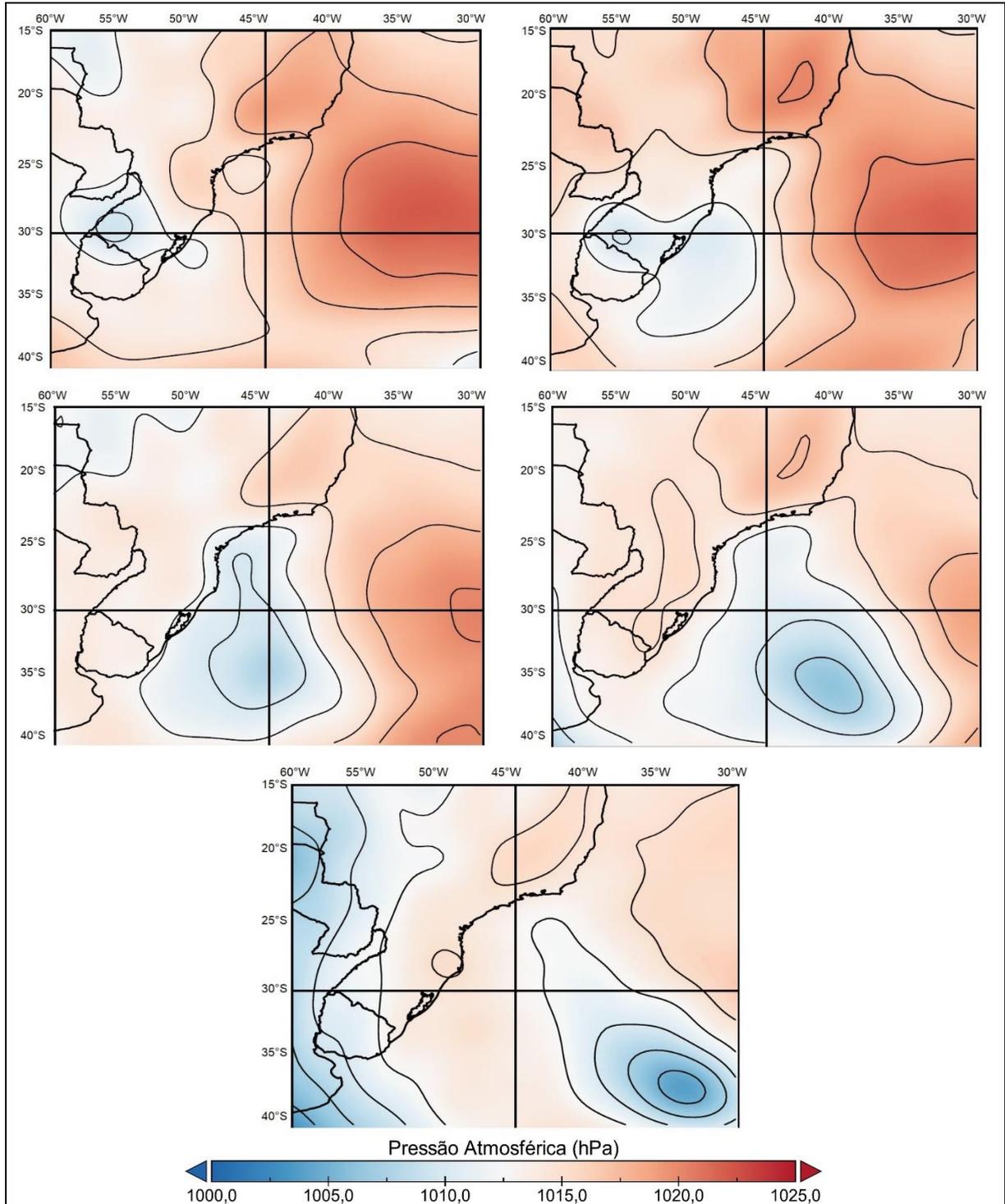


Figura 23 – Campos das isóbaras e o deslocamento do ciclone entre 4 e 6 de maio de 2010. As datas e horários de cada campo (dia/mês/ano/hora): A) 04/05/2010 – 00h; B) 04/05/2010 – 12h; C) 05/05/2010 – 00h; D) 05/05/2010 – 12h e E) 06/05/2010 – 00h.

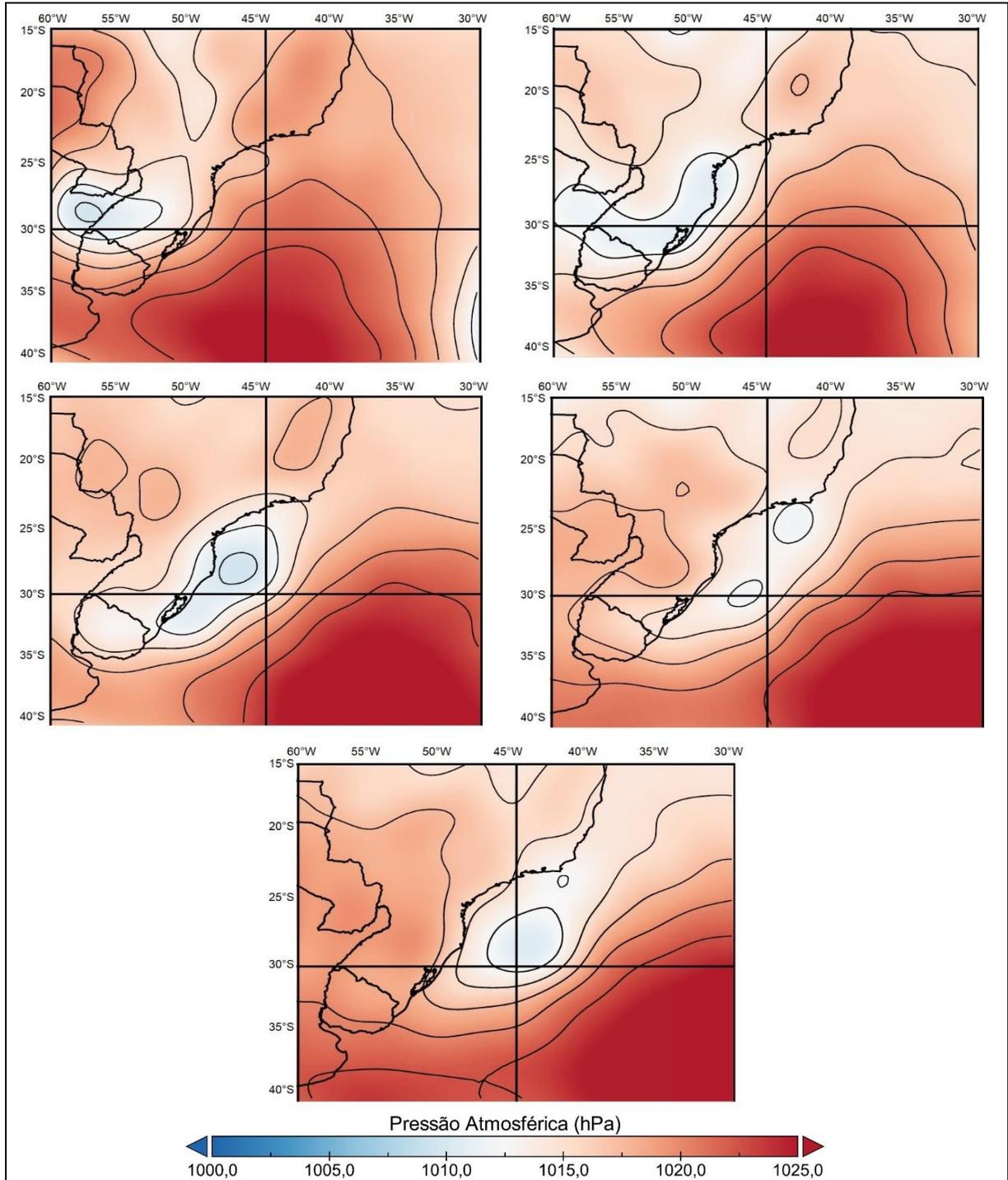


Figura 24 – Campos das isóbaras e o deslocamento do ciclone entre 18 e 20 de maio de 2010. As datas e horários de cada campo (dia/mês/ano/hora): A) 18/05/2010 – 12h; B) 19/05/2010 – 00h; C) 19/05/2010 – 12h; D) 20/05/2010 – 00h e E) 20/05/2010 – 12h.

5.2 Ciclone de outubro de 2016

A praia do Hermenegildo, localizada em Santa Vitória do Palmar no Rio Grande do Sul, sofreu em 2016 com uma forte maré de tempestade que causou muitos impactos negativos. Essa ressaca atingiu toda a costa gaúcha, o restante do Sul do Brasil e a costa dos estados de São Paulo e Rio de Janeiro. Segundo Paula (2017), nos 27 e 28 de outubro de 2016 ocorreu a mais forte ressaca da história recente do balneário Hermenegildo, com mais de 100 casas danificadas e 80 destruídas.

No mesmo período foi identificado um ciclone extratropical na pesquisa com os dados do CFSR próximo da costa do estado do Rio Grande do Sul. O evento ocorreu entre 26 de outubro de 2010 e 29 de outubro de 2010. A primeira mínima de pressão foi localizada na latitude 34°S e longitude 56,5°W, que é muito próxima das coordenadas do balneário Hermenegildo, localizado em 33,3°S de latitude e 53,1 de longitude. No segundo horário identificado, a localização do ciclone continuou próxima do balneário, na latitude 37°S e 52°W (Tabela 5).

Tabela 5 – Dados do ciclones identificado em outubro de 2010 e que ocasionou uma maré de tempestade que provocou estrago na praia do Hermenegildo, em Santa Vitória do Palmar no Rio Grande do Sul, e nos litorais Sul e Sudeste do Brasil.

Evento	Data (Dia/Mês/Ano/Hora UTC)	Latitude	Longitude	Pressão Mínima (hPa)
1	26/10/2016 – 12h	-34	-56,5	1007,98
	27/10/2016 – 00h	-37	-52	998,89
	27/10/2016 – 12h	-37	-51	982,24
	28/10/2016 – 00h	-35	-46,5	979,48
	28/10/2016 – 12h	-36,5	-40,5	985,82
	29/10/2016 – 00h	-38,5	-35	991,38

A pressão mínima dos três primeiros horários mostram que foi um ciclone intenso, com rápido queda de pressão. No quarto horário identificado, a pressão mínima foi de 979,47 hPa, segundo o que o CFSR apresenta (queda de 28,50 hPa em 36 horas). A intensificação do ciclone em um curto período de tempo parece ter influenciado fortemente a maré de tempestade que atingiu o balneário. Quando consideramos a proximidade do sistema com a costa e a sua intensidade, temos características com potencial grande de ter gerado impactos negativos na praia do

Hermenegildo. A proximidade do ciclone com a costa e o balneário Hermenegildo e a baixa pressão atmosférica pode ser observada nos mapas da Figura 25.

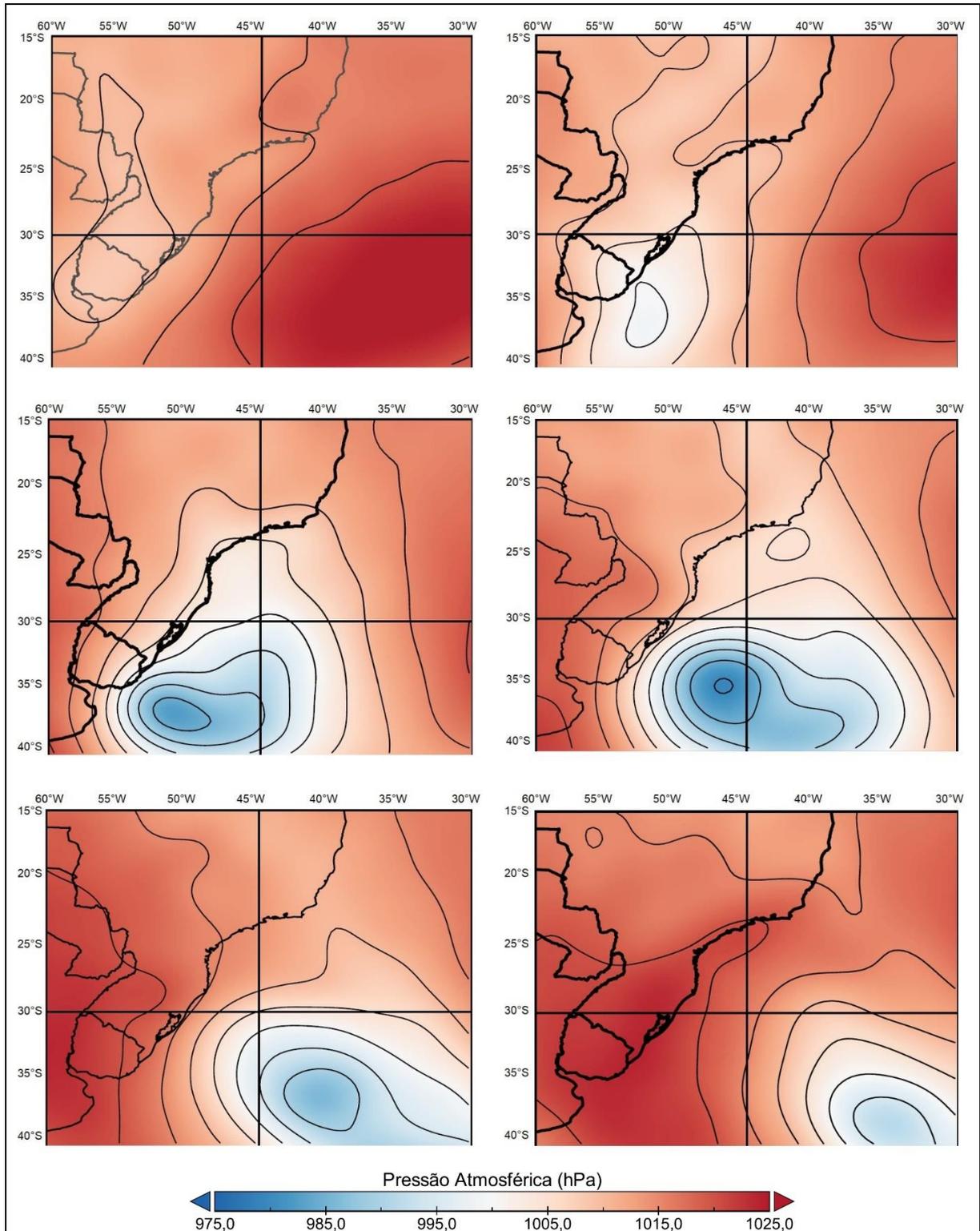


Figura 25 – Campos das isóbaras e o deslocamento do ciclone entre 26 e 29 de outubro de 2016. As datas e horários de cada campo (dia/mês/ano/hora): A) 26/10/2016 – 12h; B) 27/10/2016 – 00h; C) 27/10/2016 – 12h; D) 28/10/2016 – 00h; E) 28/10/2016 – 12h e F) 29/10/2016 – 00h.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste estudo foi fazer a climatologia dos ciclones extratropicais que ocorreram no Sul do Brasil entre os anos de 2000 a 2016, assim como as variações anuais de quantidade, áreas de maior ocorrência e pressão atmosférica.

O total de ciclogêneses identificadas foi de 684. A média foi de 40,24 anuais. Aconteceram picos intercalados com períodos de menor ocorrência. O ano com maior registro de ciclones extratropicais foi 2011 (50 eventos) e os anos 2000, 2001, 2004, 2008, 2014 e 2015 foram os que tiveram o menor número de ciclones identificados (36). A média anual de ciclones por estação foi de 10,24 no verão (174 no total nos 17 anos de pesquisa), 9,94 no outono (169 no total), 9,76 no inverno (166 no total) e 10,29 na primavera (174 no total).

A densidade de localização dos ciclones mostrou que existem duas áreas principais de ocorrência dentro da área de estudo. A principal na região do Rio da Prata e costa do Rio Grande do Sul e a segunda na costa do Sudeste do Brasil. No verão (dezembro a fevereiro) houve uma densidade maior de ocorrência nas proximidades da costa da Sudeste em relação a outros períodos do ano, sendo que uma maior disponibilidade de umidade na região nesses meses do ano pode ter influenciado a densidade maior na área. O outono (março a maio) foi marcado pela diminuição da densidade na costa do Sudeste e aumento no litoral gaúcho e no Rio da Prata. No inverno (junho a agosto), a densidade aumentou e se concentrou na costa do Rio grande do Sul e na região do Prata. Na primavera (setembro a novembro), a maior densidade novamente ocorreu na região do Rio da Prata e costa do Rio Grande do Sul, mas com mais ciclones tendo sido registrados na costa do Sudeste do Brasil em relação ao inverno. Isso, aliado ao fato da primavera ter sido a estação do ano com mais ciclogêneses e as menor média de pressão atmosférica, indicam que este período é o mais preocupante em relação aos impactos dos ciclones, juntamente com os meses de inverno.

A menor pressão atmosférica encontrada entre todos os ciclones foi de 967,19 hPa na data de 10 de dezembro de 2003 no horário de 00 horas UTC. O ano com a menor média, considerando todos os horários de cada ciclone, foi 2007, com média de 1001,81 hPa. 2005 foi o ano com a média de pressão mais elevada (1005,51 hPa). A média de pressão atmosférica de todos os horários dos ciclones apresentou uma elevação após 2008 em relação aos anos anteriores, com exceção

de 2004 e 2005. Considerando apenas a média da primeira isóbara fechada de cada ciclone, 2004 e 2009 foram os anos com os menores valores, com 1006,27 hPa em casa ano. O ano de 2016 teve média de 1008,23 hPa, a mais elevada. Na média anual de pressão atmosférica da primeira isóbara fechada de cada ciclone, aconteceram elevações seguidas de diminuições a cada ano durante todo o período de pesquisa. A média sazonal da pressão atmosférica dos ciclones em todos os seus horários foi de 1003,91 hPa no verão, 1003,55 hPa no outono, 1003,62 hPa no inverno e 1002,13 hPa na primavera. Considerando apenas a média da primeira isóbara fechada, os valores foram de 1006,09 hPa no verão, 1007,52 hPa no outono, 1008,50 hPa no inverno e 1006,79 hPa na primavera.

Nos estudos de caso, foi observado que dois ciclones extratropicais ocorridos em maio de 2010 próximo ao litoral do estado de Santa Catarina geraram marés de tempestade que causaram destruição de casas na orla da praia da Armação do Pântano do Sul, em Florianópolis. No segundo estudo de caso, foi verificado que um ciclone que ocorreu entre 26 a 29 de outubro de 2016 causou a destruição de mais de 80 casas na praia do Hermenegildo, em Santa Vitória do Palmar no Rio Grande do Sul, além de ter afetado o litoral Sul e Sudeste do Brasil. O centro de baixa pressão do ciclone teve trajetória próxima à praia do Hermenegildo, tendo sido um ciclone de forte intensidade.

Como sugestão de trabalhos futuros, pode-se incluir outras variáveis e parâmetros para aprimorar os resultados da pesquisa e investigar os parâmetros de precipitação, vento, vorticidade e as alterações marítimas relacionadas com cada ciclone para identificar os impactos de cada evento ao longo de uma série temporal. Como o estudo identificou uma moda (36) na quantidade de ciclones em vários anos e um aumento grande em outros, pode-se procurar entender quais os fatores que contribuíram para o aumento nas ciclogêneses em alguns anos.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, A. M.; POELKING E. L.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FILHO, E. I. F. e JUSTINO, F. B. Mudanças climáticas regionais e seus reflexos nas variações da frente da geleira Polar Club, Península Potter, Ilha Rei George entre 1986 e 2009. **XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. P. 5624-5631. 2011.
- AQUINO, FRANCISCO ELISEU. **Conexão climática entre o modo anular do Hemisfério Sul com a Península Antártica e o Sul do Brasil**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2012.
- BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. **Atmosfera, tempo e clima**. Tradução por: Ronaldo Cataldo Costa. Porto Alegre: Editora Bookman, 9. ed., 512 p. 2013.
- BITENCOURT, D. P.; FUENTES, M. V.; CARDOSO, C. S. Climatologia de ciclones explosivos para a área ciclogênica da América do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.28, n.1, 43-56. 2013.
- BJERKNES, J.; H. SOLBERG. Life Cycle of Cyclones and the Polar Front Theory of Atmospheric Circulation. **Geofysike Publikasjoner**, v. III, pg. 393-400, 1922.
- BLANK, DIONIS MAURI PENNING. **Relação entre a concentração de gelo marinho antártico e a temperatura mínima na América do Sul**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pelotas. 2009.
- CARPENEDO, C. B. **Climatologia das massas de ar formadas sobre o Mar de Weddell - Antártica, entre 1949 e 2008**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. p. 73. 2009.
- CHRISTOPHERSON, ROBERT W. **Geossistemas: uma introdução à geografia física**. Tradução por: Francisco Eliseu Aquino *et al.* Porto Alegre: Editora Bookman, 7. ed., 728 p. 2012.
- CHWEDORZEWSKA K. J. **Terrestrial Antarctic ecosystems in the changing world: an overview**. Polish Polar Research, v. 30, nº 3, p. 263–276. 2009.
- ESCOBAR, G. C. J. Jatos de altos níveis. 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. 127-134. 2009.
- ESCOBAR, G. C. J.; SELUCHI, M. E. Classificação sinótica dos campos de pressão atmosférica na América do Sul e sua relação com as baixas do chaco e do noroeste argentino. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, n.3, p. 365-375. 2012.
- GAN, MANOEL ALONSO. **Ciclogênese e ciclones sobre a América do Sul**. Tese de Doutorado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 1992.
- GAN, M. A., RAO, V. B. Surface cyclogenesis over South America. **American Meteorological Society**. Notes and correspondence, 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.

GRUPO PET-ADS. **Introdução à programação com Python**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP): São Carlos - SP. 2016. (Apostila). Disponível em: <http://www.ifspsaocarlos.edu.br/portal/arquivos/2016.05.04_Apostila_Python_-_PET_ADS_São_Carlos.pdf>. Acesso em 22 fev. 2018.

INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC). Grupo de Previsão do Tempo (GPT). **Meteorologia sinótica prática – Ciclogêneses na América do Sul**. 2019. Disponível em: <http://dca.iag.usp.br/material/ritaynoue/aca-0523/referencias/Met_Pratica_SBMET_Parte2.pdf>. Acesso em 12 jan. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Análise das anomalias das temperaturas no ano de 2015**. Nota técnica. Brasil. 2016. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/notas_tecnicas/2015/nota_tecnica_temperaturas_2015.pdf>. Acesso em 11 de jan. 2019.

KAYANO, Mary T.; ANDREOLI, RITA V.; SOUZA, RODRIGO A. F. de; GARCIA, SÂMIA R.; CALHEIROS, ALAN J. P. **El Niño e La Niña dos últimos 30 anos: diferentes tipos**. Artigo científico, pg. 7-12. 2016.

LICHTENSTEIN, E. R. **La Depresion del Noroeste Argentino**. Tese de Doutorado. Universidad of Buenos Aires. 1980.

LIMA, DANIELA CATARINA ANDRÉ. **Climatologia de Ciclones Extratropicais num Clima em Mudança: cenário RCP8.5**. Dissertação de Mestrado. Universidade de Lisboa. 2013.

MARINHA DO BRASIL. Centro de Hidrografia da Marinha (CHM). **Solicitação de Cartas Sinóticas** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <maiquel.j@hotmail.com> em 04 dez. 2018.

MENDES, D., SOUZA, E. P., TRIGO, I. F., MIRANDA, P. M. A. **On Precursors of South-American Cyclogenesis**. V. 59, n. 1, p. 114-121. 2007.

MENDES, D., MOURA, R. G., MENDES, M. C. D. Estudo de caso de ciclone extratropical sobre a América do Sul: Sensibilidade das análises. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n.4, 309-406. 2009.

MIERES, LUCIANA DA SILVA. **Reanálise CFSR-NCEP aplicada ao modelo SiB2 na simulação de fluxos de CO₂ sobre o cultivo de soja em Cruz Alta**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2012.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. O Brasil e o Meio Ambiente Antártico. **Coleção Explorando o Ensino**. Brasília: ME. v. 10. pg. 28. 2006.

MORAES, FLÁVIA DIAS DE SOUZA. **Ambiente atmosférico favorável ao desenvolvimento de Complexos Convectivos de Mesoescala no Sul do Brasil.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2016.

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration. **Climate at a Glance - Global Time Series.** Disponível em: <<https://www.ncdc.noaa.gov/cag/global/time-series>>. Acesso em 27 fev. 2019.

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration. **Ocean Ecosystem Indicators.** Disponível em: <<https://www.nwfsc.noaa.gov/research/divisions/fe/estuarine/oeip/cb-mei.cfm>>. Acesso em 19 dez. 2018.

PAULA, LUIZA SOUZA DE. **Relação dos eventos extremos com a variação da linha de costa da praia do Hermenegildo (RS).** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Pelotas. p. 42. 2017.

PEIXOTO, Janice Rezende Vieira. **Interação praia-duna e sua influência sobre a vegetação de duna frontal da costa leste da Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil.** Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina. 2010.

PEREIRA, NADIARA. **Impactos dos ciclones extratropicais em eventos extremos de precipitação na bacia do Rio da Prata.** Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. 2013.

PEZZA, A. B.; AMBRIZZI, T. Variability of Southern Hemisphere Cyclone and Anticyclone Behavior: Further Analysis. *Journal of Climate*, 16. 1075-1083. 2003.

REBOITA, MICHELLE SIMÕES. **Ciclones Extratropicais sobre o Atlântico Sul: Simulação Climática e Experimentos de Sensibilidade.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2008.

REBOITA, M., AMBRIZZI, T., 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.

ROCHA, FÁBIO PINTO DA. **Estudo de ciclones e de padrões de circulação atmosférica no Oceano Atlântico sul próximo à costa das regiões Sul e Sudeste do Brasil usando da reanálise do ERA-INTERIM.** Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). 2014.

ROCHA, F. P; ARAVÁQUIA, J. A.; RIBEIRO, B. Z. Estudo de ciclones e de padrões de circulação atmosférica no Oceano Atlântico Sul próximo à costa das regiões Sul e Sudeste do Brasil usando dados da reanálise do Era-Interim. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 2, 141-156. 2016.

ROCHA, FÁBIO PINTO DA; SANTOS, ISIMAR DE AZEVEDO. **Previsibilidade de trajetória e intensidade de tempestades e ciclones tropicais na costa brasileira: análise e uso da técnica de ciclones sintéticos.** p. 1-5. 2011.

ROSSBY, CARL GUSTAF. Relation between variations in the intensity of the zonal circulation of the atmosphere and the displacements of the semi-permanent centers of action. **Journal of Marine Research**, v. 2, n. 1, p. 38–55. 1939.

SAHA, S., *et al.* **NCEP Climate Forecast System Reanalysis (CFSR) Selected Hourly Time-Series Products, January 1979 to December 2010**. Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory. 2010. Disponível em <<https://doi.org/10.5065/D6513W89>>. Acesso em: 28 mar. 2019.

SAHA, S., *et al.* **NCEP Climate Forecast System Version 2 (CFSv2) 6-hourly Products**. Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory. 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.5065/D61C1TXF>>. Acesso em: 28 mar. 2019.

SAHA, S.; MOORTHY, S.; XINGREN, W.; WANG, J.; NADIGA, S.; TRIPP, P.; BEHRINGER, D.; *et al.* 2014. The NCEP Climate Forecast System Version 2. **Journal of Climate**, v. 27, p. 2185–2208. Disponível em: <<http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/JCLI-D-12-00823.1>>. Acesso em: 28 fev. 2018.

SELUCHI, MARCELO E. Geadas e Friagens. 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. 149-167, 2009.

SELUCHI, M.E.; SAULO, C. A.; NICOLINI, M.; SATYAMURTY, P. The Northwestern Argentinean Low: a study of two typical events. **Monthly Weather Review**, v. 131, p. 2361-2378, 2003.

SHIMIZU, MARÍLIA HARUMI. **Fontes de ondas de Rossby: aspectos observacionais, simulações numéricas projeções futuras**. Tese de Doutorado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2012.

SILVA, MARIA CRISTINA LEMOS DA. **Simulações numéricas do ciclone Catarina: impactos dos efeitos subgrade, resolução e assimilação de dados**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2014.

STÜKER, E.; SCHUSTER, C. H.; SCHUSTER, J. J.; SANTOS, D. C.; MEDEIROS, L. E.; COSTA, F. D.; DEMARCO, G.; PUHALES, S. Comparação entre os dados de vento das reanálises meteorológicas ERA-INTERIM e CFSR com os dados das estações automáticas do INMET no Rio Grande do Sul. **IX Workshop Brasileiro de Micrometeorologia**, p. 284-290. 2016.

SUTIL, UESLEI ADRIANO. **O Estudo da Interação Oceano-Atmosfera em um Ciclone Extratropical no Atlântico Sudoeste: uma abordagem numérica em altíssima resolução**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2016.

WALLACE, M., J.; HOBBS, P., V. Atmospheric Sciences: An Introduction Survey. New York: **Academic Press**. 2006.