

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

MAIQUEL JANTSCH

**IDENTIFICAÇÃO DE CICLONES EXTRATROPICAIS NA REGIÃO SUL DO BRASIL  
EM 2018**

PORTO ALEGRE, JULHO DE 2019

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

**IDENTIFICAÇÃO DE CICLONES EXTRATROPICAIS NA REGIÃO SUL DO BRASIL  
EM 2018**

MAIQUEL JANTSCH

Orientador: Prof. Dr. Francisco Eliseu Aquino

Banca Examinadora: Dr. Denílson Ribeiro Viana – CPC/UFRGS  
MSc Pedro Teixeira Valente – CPC/UFRGS

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito parcial para  
a obtenção do grau de Bacharel em  
Geografia pela Universidade Federal do  
Rio Grande do Sul.

PORTO ALEGRE, JULHO DE 2019

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais pelo apoio que recebi desde o início do curso. Foi fundamental e eles sempre entenderam que eu me tornaria uma pessoa melhor e mais feliz com a Geografia.

Ao meu orientador, Francisco Eliseu Aquino, por mais essa etapa concluída com seu apoio e entusiasmo.

Aos amigos e colegas que conheci durante o curso e que também me ensinaram muito.

Aos amigos que fiz e que me apoiaram após eu me mudar para Porto Alegre.

Ao Instituto de Geociência e Universidade Federal do Rio Grande do Sul pela estrutura, apoio e recursos.

## RESUMO

Neste trabalho, foram identificados os ciclones extratropicais (CE) que ocorreram em 2018 na área de estudo delimitada em 15°S e 40°S e 30°W e 60°W. Os objetivos foram quantificar o número de CE ocorridos em 2018, avaliar as médias mensais e sazonais de pressão atmosférica ao nível médio do mar e a densidade de ocorrência. Para a identificação dos CE, foram utilizados dados da reanálise do *Climate Forecast System Reanalysis* (CFSR) da NOAA em dois horários diários (00:00 e 12:00 UTC). Utilizou-se o Python para gerar os campos de pressão atmosférica e densidade para a identificação de todas as ciclogêneses. Posteriormente, foi criado um banco de dados com a data e horário de todos os eventos, coordenadas geográficas do mínimo de pressão atmosférica de cada horário e os valores médios de pressão. Foram identificados 43 CE e média de 3,58 por mês. O mês com a maior ocorrência de CE foi março (6), e as estações com maior número de ciclogêneses foram verão (15) e inverno (13). Em maio observou-se a menor pressão atmosférica média mensal (992,9 hPa). Duas regiões concentraram a densidade de ocorrências dos CE: Rio da Prata e costa do Rio Grande do Sul e costa do Sudeste do Brasil.

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

## **ABSTRACT**

In this work, we identified the extratropical cyclones (EC) that occurred in 2018 in the study area delimited at 15°S and 40°S and 30°W and 60°W. The objectives of this study were to quantify the number of EC occurred in 2018, to evaluate the monthly and seasonal mean sea level mean air pressure and the density of occurrence. For the identification of CE, NOAA Climate Forecast System Reanalysis (CFSR) reanalysis data were used at two daily times (00:00 and 12:00 UTC). Python was used to generate the atmospheric pressure and density fields for the identification of all cyclogenesis. Subsequently, a database was created with the date and time of all events, geographical coordinates of the minimum atmospheric pressure of each time and the mean pressure values. We identified 43 EC and average of 3.58 per month. The month with the highest occurrence of EC was March (6), and the seasons with the highest number of cyclogenesis were summer (15) and winter (13). May showed the lowest monthly average atmospheric pressure (992.9 hPa). Two regions concentrated the occurrence density of the EC: Rio da Prata and the coast of Rio Grande do Sul and the southeastern coast of Brazil.

Keywords: Cyclogenesis; Climatology; Reanalysis; Climate Variability.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
1.1 Justificativa .....	10
1.2 Objetivo geral .....	10
1.3 Objetivos específicos .....	10
<b>2 CICLOGÊNESE .....</b>	<b>11</b>
2.1 Áreas ciclogénéticas na América do Sul .....	14
<b>3 MÉTODOS E TÉCNICAS.....</b>	<b>18</b>
3.1 Área de estudo .....	18
3.2 Dados de Reanálises .....	19
3.3 Cartas Sinóticas do Centro de Hidrografia da Marinha .....	20
3.4 Python .....	20
3.5 Critérios para a identificação das ciclogêneses.....	20
<b>4 RESULTADOS.....</b>	<b>22</b>
4.1 Quantidade, pressão média e média de duração mensal dos CE.....	22
4.1.1 Sazonalidade e pressão dos CE .....	25
4.2 Densidade das ciclogêneses.....	26
4.2.1 Sazonalidade da densidade das ciclogêneses.....	30
4.3 CE com os menores valores de pressão atmosférica .....	32
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>34</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>35</b>

## Lista de Figuras

Figura 1 – Ciclo de vida dos CE .....	11
Figura 2 - Estágios do desenvolvimento de uma ciclogênese típica. ....	13
Figura 3 - Distribuição anual da frequência de ciclogêneses na América do Sul e Oceano Atlântico Sul (1979-1988) .....	15
Figura 4 – Densidade de CE na América do Sul e Oceano Atlântico de 1990 a 1999 .....	16
Figura 5 – Densidade de CE de 2000 a 2016 na América do Sul. ....	17
Figura 6 – Imagem do satélite GOES 16 (Canal 1) identificando um CE em 19/03/2018 às 14:00 UTC .....	17
Figura 7 – Área de estudo .....	18
Figura 8 – A) Total mensal de CE; B) média mensal de pressão atmosférica (hPa); C) número de dias/mês com CE ativos e D) média de duração dias/mês dos CE.....	23
Figura 9 – A) Número sazonal de CE em 2018; B) Média sazonal de pressão atmosférica dos CE 2018. ....	26
Figura 10 – Densidade das ciclogêneses no ano de 2018.....	27
Figura 11 - Mapa da localização do ponto de mínima pressão atmosférica da primeira isóbara fechada de todas as ciclogêneses identificadas em 2018. ....	29
Figura 12 – Sazonalidade da densidade de ciclogêneses em 2018.....	31
Figura 13 – A) Localização da primeira isóbara fechada de todos os CE identificados com pressão atmosférica mínima menor que 990 hPa em pelo menos um horário. B) Localização de todas as pressões atmosféricas menores que 990 hPa. ....	33

## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Quantidade de CE identificados por latitude. ....	30
--	----



## Lista de abreviaturas

BNOA - Baixa do Noroeste Argentino

CE - Ciclone Extratropical

CFRS - *Climate Forecast System Reanalysis*

ERA-Interim - *European Reanalysis Agency*

hPa - Hectopascal

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

JP - Jato Polar

JST - Jato Subtropical

NAL - *Northwestern Argentinean Low*

NCEP - *National Center for Environmental Prediction*

NetCDF - *Network Common Data Form*

UTC - Tempo Universal Coordenado

## 1 INTRODUÇÃO

Os ciclones extratropicais (CE) são fundamentais quando falamos sobre a climatologia das regiões Sul e Sudeste do Brasil. Mas, a importância de estudar os CE não está apenas na relação com o clima. São fenômenos frequentes na América do Sul e que podem causar muitos e diversos impactos. Nas regiões costeiras, os CE podem gerar marés de tempestade, que causam diversos problemas. Além disso, estão relacionados com taxas de precipitação elevadas em curtos períodos de tempo e ventos com forte intensidade. Todos esses impactos relacionados com os CE podem causar ainda diversos outros impactos secundários, como prejuízos na agricultura, afundamento de embarcações e geadas após o avanço de massas de ar polar. O ano de 2018 foi escolhido por ser o mais recente.

Conforme definição de Barry e Chorley (2013), os CE têm uma dimensão espacial que normalmente varia entre 1500 a 3000 km de diâmetro e duração de quatro a sete dias, além de estarem associados a uma frente fria e uma quente. Nas imagens de satélite, os CE costumemente apresentam bandas de nuvens em formatos espiral.

A definição de CE depende da área de formação. Segundo Wallace e Hobbs (2006), a formação dos CE geralmente acontece nas áreas extratropicais, enquanto que os CE que se formam nos trópicos possuem gênese distinta.

Para Gan e Seluchi (2009), a formação e o desenvolvimento de CE são chamados de ciclogênese, sendo que os estudos sobre o assunto iniciaram ainda no século XIX por possuírem grande importância para a compreensão do transporte de calor e umidade, além de poderem causar mudanças no tempo nas áreas em que ocorrem.

Considerando a importância dos CE para o entendimento do tempo e do clima, a identificação dos CE ocorridos em 2018 utilizando dados de reanálise do CFSR pode auxiliar na identificação de variações de ocorrência, distribuição e intensidade dos CE nas últimas décadas, colaborando com trabalhos futuros que venham a utilizar diferentes dados ou metodologias para uma ampliação dos conhecimentos do tema.

## **1.1 Justificativa**

Os CE são sistemas que podem influenciar diretamente as condições do tempo quando estão atuantes e possuem grande escala sinótica. Podem causar diversos impactos, como precipitação intensa, fortes ventos, marés de tempestade, prejuízos econômicos e ambientais. Com isso, aprimorar o conhecimento sobre os CE é fundamental para tentar mitigar os impactos que ocasionalmente geram. Além disso, considerando o momento atual em que se debate muito sobre as mudanças climáticas, Marengo (2007) afirma que no futuro pode ocorrer CE mais intensos e/ou com maior frequência.

A importância do estudo do clima e do tempo tem se tornado cada vez mais importante, além de ser tema central das ciências ambientais e Geografia nos dias atuais. Novos estudos e pesquisas sobre as diversas áreas da Climatologia contribuem para um aumento do conhecimento e da divulgação da importância desses avanços. Dentro disso, aprimorar o entendimento sobre os CE representa compreender melhor como funciona a atmosfera, como o clima está sendo alterado e quais as consequências que isso pode causar para sociedade e o meio ambiente.

## **1.2 Objetivo geral**

Fazer a identificação dos CE ocorridos próximos à costa das regiões Sul e Sudeste do Brasil no ano de 2018.

## **1.3 Objetivos específicos**

- Quantificar as ciclogêneses ocorridas em 2018 na área de estudo;
- Avaliar o campo de pressão atmosférica média dos CE;
- Determinar a densidade anual e sazonal das ciclogêneses.

## 2 CICLOGÊNESE

Os primeiros estudos mais aprofundados sobre CE ocorreram no início do século XX por Bjerkness (1919) e por Bjerkness e Solberg (1922), sendo que no trabalho de 1922 foi desenvolvida a Teoria da Frente Polar, definida como uma espécie de linha através da qual o ar frio polar e o ar quente subtropical são separados. Bjerkness e Solberg propuseram um modelo (Figura 1) que demonstra as fases do desenvolvimento de uma ciclogênese, iniciando com uma pequena perturbação que evolui para uma perturbação ciclônica. Após isso, ocorre a fase de oclusão, logo sucedida pela fase de maior intensidade do CE. Na fase final, ocorre o enfraquecimento e a dissipação do sistema.

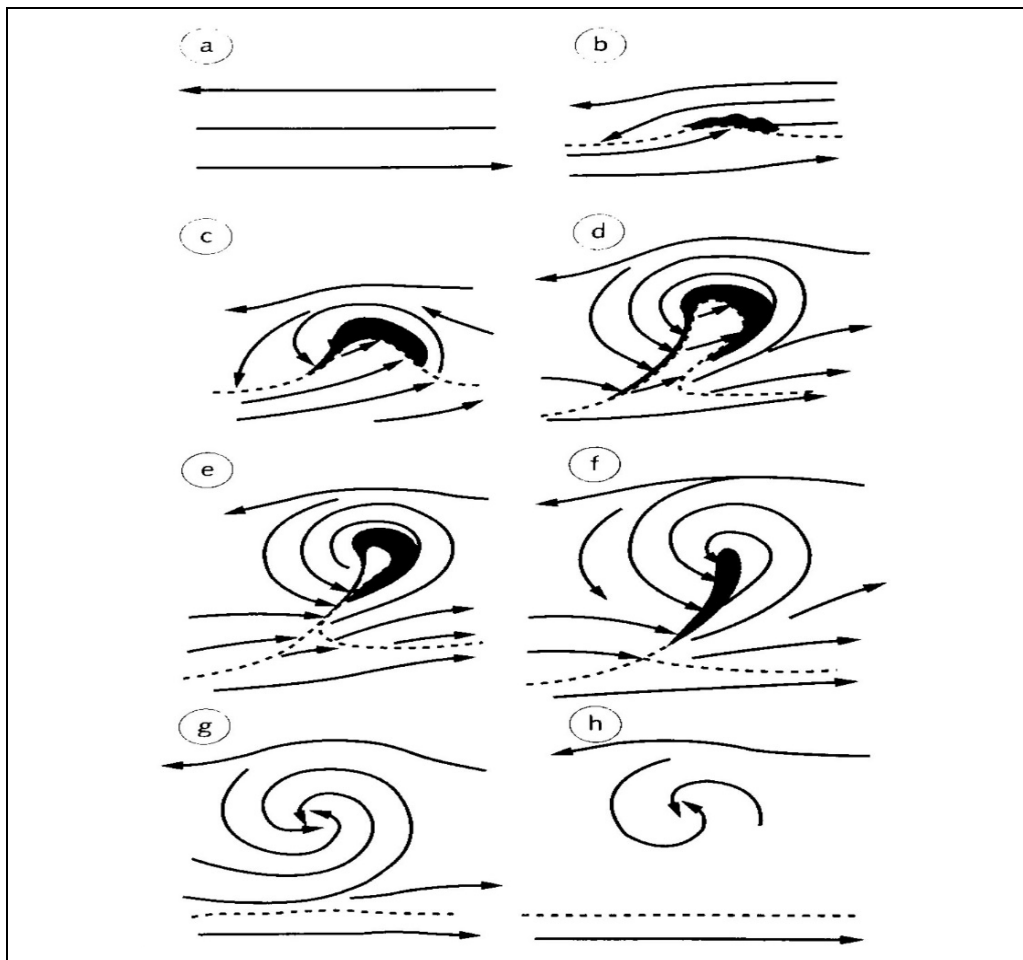


Figura 1 – Ciclo de vida dos CE. Legenda: a) Escoamento inicial; b) Perturbação inicial; c-d) Perturbação ciclônica; e) Início de oclusão; f) Máxima intensidade da oclusão; g) CE ocluído e h) CE em fase final. Fonte: Bjerkness e Solberg (1922).

Posteriormente, diversos outros autores contribuíram ao longo do tempo para a evolução dos conhecimentos sobre os CE, como Taljaard (1972), Shapiro e Keyser (1990), Gan (1992) e mais recentemente Reboita (2008), entre outros.

Os CE têm grande importância no clima das latitudes médias e altas, pois exercem influência direta na precipitação, nebulosidade, radiação e sua variação no tempo e no espaço, além de serem importantes na circulação geral da atmosfera através da influência vertical e troca horizontal de calor e vapor de água. Qualquer alteração que ocorra na intensidade, frequência e no deslocamento dos CE pode ter influência nos mais diversos climas regionais (BENGTSSON et al., 2006).

Descrevendo mais detalhadamente as ciclogêneses, Mendes et al. (2009) afirmam que os CE são sistemas que possuem como característica grandes regiões de circulação ciclônica de baixa pressão atmosférica e a América do Sul, considerando principalmente as áreas de médias latitudes, é um continente propício para o desenvolvimento de CE por possuir características favoráveis e uma fonte de energia para a formação desses sistemas (FIGURA 2).

Conforme Gan (1992), as montanhas e o contraste entre o oceano e o continente resultam em uma forte influência na circulação atmosférica. Com isso, a distribuição espacial da frequência de ciclogêneses e suas trajetórias é afetada diretamente. As montanhas influenciam de forma direta a instabilidade baroclínica pois modificam sua estrutura espacial e a taxa de crescimento e propagação dos distúrbios baroclínicos.

O Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais – INPE (2019) afirma que a circulação atmosférica associada ao desenvolvimento de ondas frontais na América do Sul no modelo conceitual clássico mostra o deslocamento de um cavado na troposfera média e alta que cruza a Cordilheira dos Andes, interagindo com uma região baroclínica em superfície. Um exemplo disso é um sistema frontal estacionário localizado entre o nordeste da Argentina e o sul da Região Sul do Brasil. Com essa interação, acontece o surgimento de uma onda frontal polar determinada por um sistema de baixa pressão que se forma a partir da frente estacionária, além de dois ramos frontais, sendo um ramo frio que se desloca de sudoeste a nordeste e um ramo quente que se move de norte a sul.

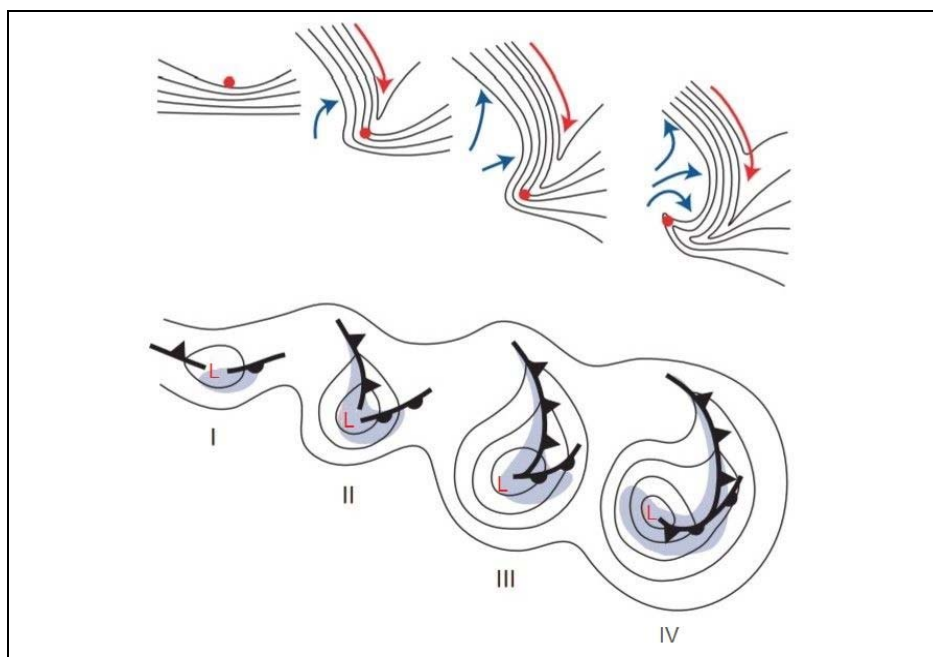


Figura 2 - Estágios do desenvolvimento de uma ciclogênese típica. As linhas de temperatura e as setas coloridas indicam as frentes fria e quente. Os painéis I, II, III e IV indicam os ciclos de vida de um CE com as configurações frontais e isóbaras. As sombras indicam áreas de precipitação.

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

Os CE têm também relação direta com as correntes de jato em altos níveis, que podem ser o Jato Subtropical (JST) e o Jato Polar (JP). O JP tem grande relação com a previsão do tempo, pois quando se descola para o norte a sua movimentação é acompanhada pelos sistemas de baixa e alta pressão e pelas frentes frias e quentes (ESCOBAR, 2009).

Segundo Bengtsson et al. (2009), CE têm sua formação e crescimento relacionado com a instabilidade baroclínica e sua principal energia cinética resultado de uma conversão de energia potencial disponível, sendo que essa energia pode ocorrer também através de liberação de calor latente e que a energia potencial disponível é proporcional à variação de temperatura da troposfera. Na mesma pesquisa, verificaram como os CE podem mudar em um clima mais aquecido através de um estudo com dois períodos de 32 anos do final dos séculos XX e XXI, observando que no século XXI as mudanças na distribuição de tempestades são parecidas com os estudos realizados anteriormente. Encontraram uma pequena diminuição na quantidade de CE, mas não mudanças significativas em outros parâmetros, como extremos do vento e vorticidade. Além disso, encontraram

mudanças em níveis regionais maiores do que em estudos anteriores, sendo que essas mudanças foram notadas na precipitação total.

Para Gan e Rao (1991), a formação dos CE acontece devido aos gradientes meridionais de temperatura e de processos como a liberação de calor latente por convecção, considerando ainda que o deslocamento de um CE do continente para um oceano com temperatura mais elevada pode intensificar o CE.

Já para Rocha et al. (2016), os CE têm seu surgimento e desenvolvimento dependentes de condições de instabilidade fortes e seus ciclos de vida estabilizam e acabam por homogeneizar a atmosfera. A sua energia surge de contrastes horizontais de temperatura em associação com sistemas frontais, quando há a ocorrência de um acentuado gradiente de temperatura ou espessura entre os níveis de 500 a 100 hPa, e de temperatura de ponto de orvalho, além de possuírem um acentuado gradiente de pressão e JP bem definido em 250 hPa associado à frente fria em superfície.

## **2.1 Áreas ciclogênicas na América do Sul**

Na América do Sul é reconhecida uma região ciclogênica ao sul de 15°S, compreendendo o Paraguai, centro norte da Argentina e o Sul do Brasil (GAN e RAO, 1991; REBOITA, 2008). Um dos primeiros estudos realizados sobre o tema foi o de Taljaard (1972), que identificou a área ao sul do Paraguai e norte da Argentina como uma região ciclogênica.

Gan e Rao (1991) apontaram duas áreas principais na América do Sul com melhores condições para que as ciclogêneses ocorram (FIGURA 3), sendo uma situada na foz do Rio da Prata e outra na região leste da Patagônia Norte argentina, nas proximidades do Oceano Atlântico. Essa região foi nomeada como Northwestern Argentinean Low (NAL) ou Baixa do Noroeste Argentino (BNOA) e foi estudada mais largamente por Lichtenstein (1980) e por Seluchi *et al.* (2003).

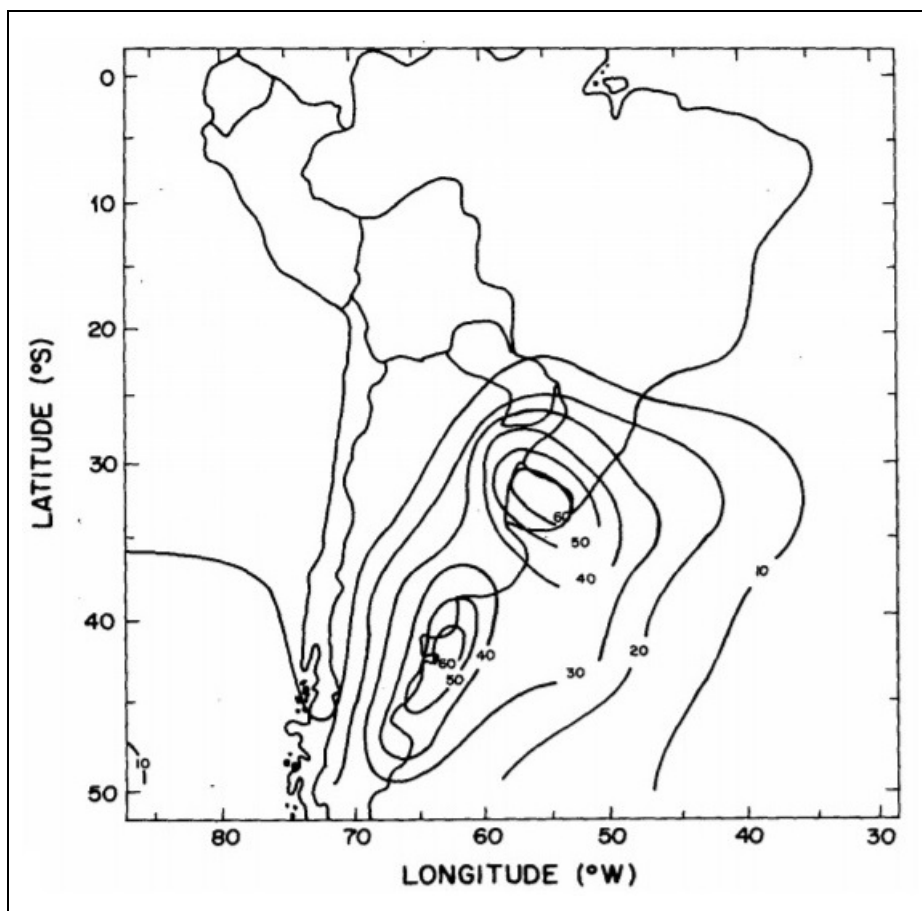


Figura 3 - Distribuição anual da frequência de ciclogêneses na América do Sul e Oceano Atlântico Sul (1979-1988).  
Fonte: Gan (1992).

No estudo de Gan e Rao (1991) foram analisadas quatro cartas sinóticas diárias de pressão atmosférica entre janeiro de 1979 e dezembro de 1988. Eles definiram a ciclogênese como sendo o aparecimento da primeira isóbara fechada. Com essas definições, puderam identificar as duas principais áreas ciclogenéticas mencionadas. O mês com maior ocorrência de CE foi maio (134) e o mês com menor ocorrência foi dezembro (71).

Para Bitencourt et al. (2013), essas regiões podem ser consideradas como ciclogenéticas por causa da instabilidade baroclínica que possuem, sendo que esse ponto é fundamental para que ocorram a formação dos CE, e também porque nessas regiões ocorrem trocas de energia entre a superfície e a atmosfera e entre o Polo Sul e as áreas tropicais, influenciadas diretamente pelo Oceano Atlântico.

Em um estudo realizado por Reboita (2008), utilizando dados do National Centers for Environmental Prediction (NCEP) entre 1990 a 1999, a autora identificou três regiões ciclogenéticas principais na América do Sul e Oceano Atlântico (FIGURA



4): uma no sul da Argentina, ao leste da Patagônia, com maior frequência no verão, uma segunda região próxima do Rio da Prata (NAL) e costa do Rio Grande do Sul, com maior ocorrência no inverno, e uma terceira região na costa da região Sudeste do Brasil, com mais identificações no verão.

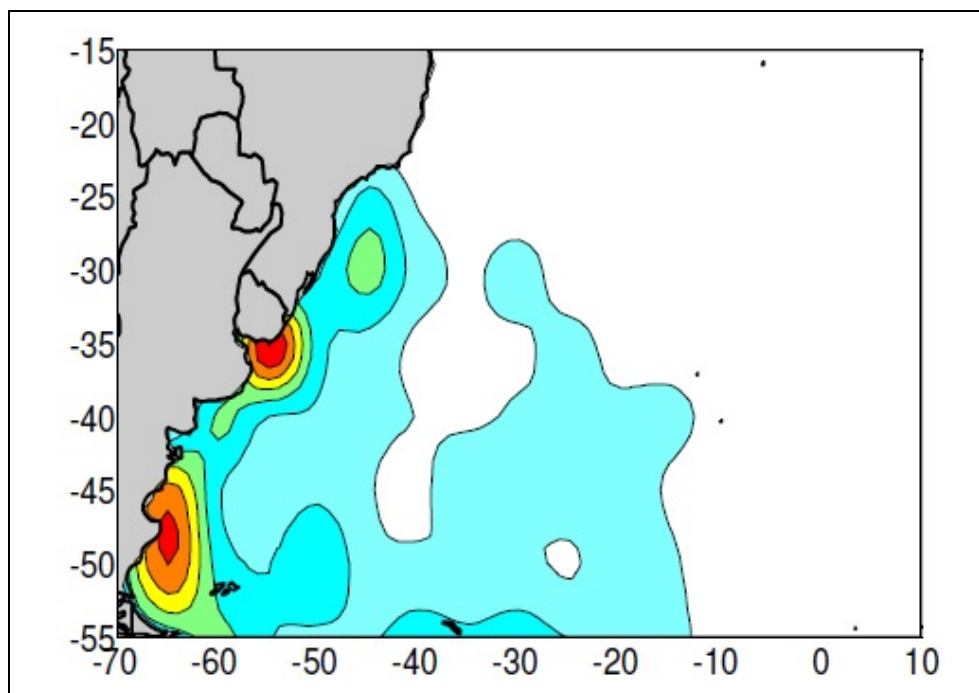


Figura 4 – Densidade de CE na América do Sul e Oceano Atlântico de 1990 a 1999.

Fonte: Reboita, 2008.

Rocha (2014) realizou um estudo utilizando dados do *European Reanalysis Agency* (ERA-Interim) entre os meses de outubro a abril durante os anos de 2003 a 2013, definindo uma área entre o continente e o oceano próximo das regiões Sul e Sudeste do Brasil. Os resultados apontaram a ocorrência de 169 CE no período pesquisado. Para essa pesquisa, foram utilizados os mesmos métodos de Gan e Rao (1991), definindo uma ciclogênese quando ocorria o aparecimento da primeira isóbara fechada e que esse sistema deveria durar ao menos 24 horas.

Jantsch (2019) utilizou dados do CFSR para identificar os CE ocorridos entre 2000 e 2016 no sul do Brasil, na área de 15°S a 40°S e 30°W a 60°W. Identificou 684 CE no período, sendo que as áreas com mais ocorrências foram observadas na foz do Rio da Prata e na costa da Região Sudeste do Brasil (Figura 5).

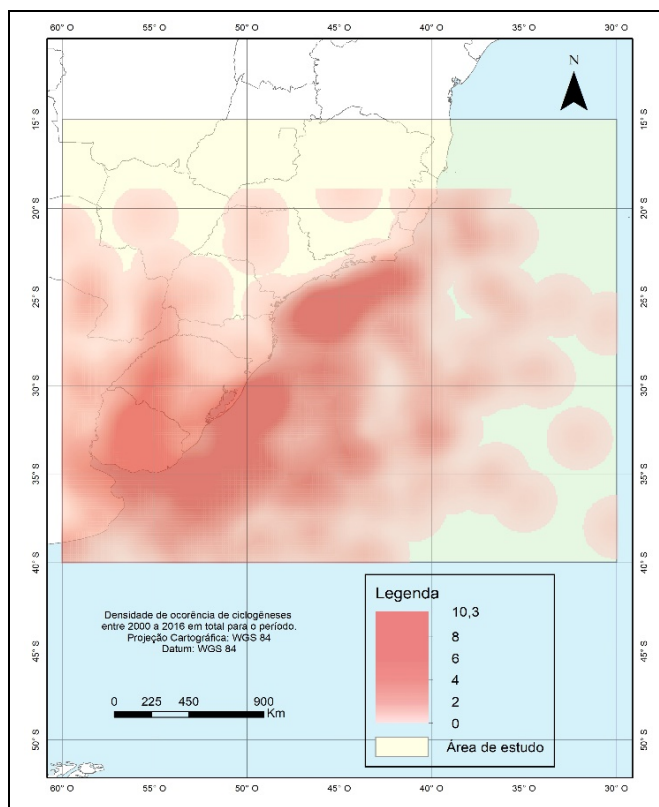


Figura 5 – Densidade de CE de 2000 a 2016 na América do Sul.  
 Fonte: Jantsch (2019).

Os CE na América do Sul são normalmente visualizados em imagens de satélite. Na Figura 6, imagem do satélite GOES 16 (19/03/2018 – 14:00 UTC), pode-se identificar um CE a leste da região do Rio da Prata, se já afastando da costa, e uma frente fria associada ao sistema avançando pelo Rio Grande do Sul.

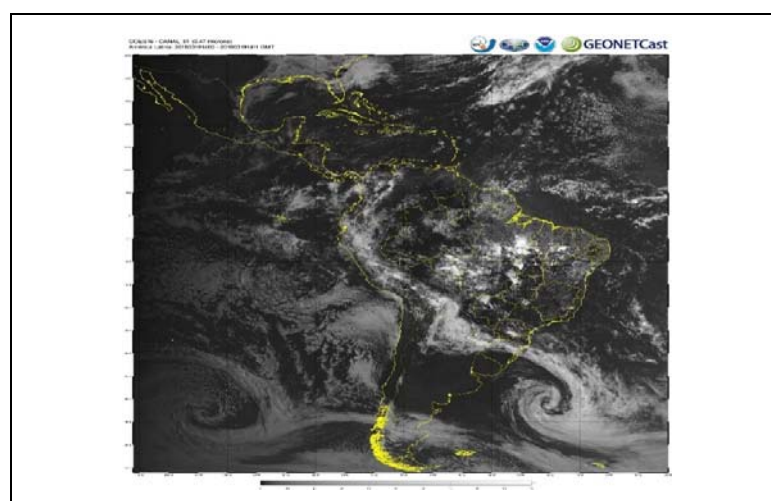


Figura 6 – Imagem do satélite GOES 16 (Canal 1) identificando um CE em 19/03/2018 às 14:00 UTC.  
 Fonte: CPTEC/INPE.

### 3 MÉTODOS E TÉCNICAS

#### 3.1 Área de estudo

A área de estudo da pesquisa localiza-se na América do Sul e no Oceano Atlântico Sul. Foi delimitada em 15°S e 40°S e 30°W e 60°W (Figura 7). Inclui o litoral das regiões Sul e Sudeste do Brasil, Uruguai, a maior parte do Paraguai, parte do norte da Argentina e também a Região do Rio da Prata, envolvendo, assim, duas das três regiões apontadas por Reboita (2008) como ciclogênicas na América do Sul: o Rio da Prata e adjacências e o litoral da região Sudeste do Brasil.

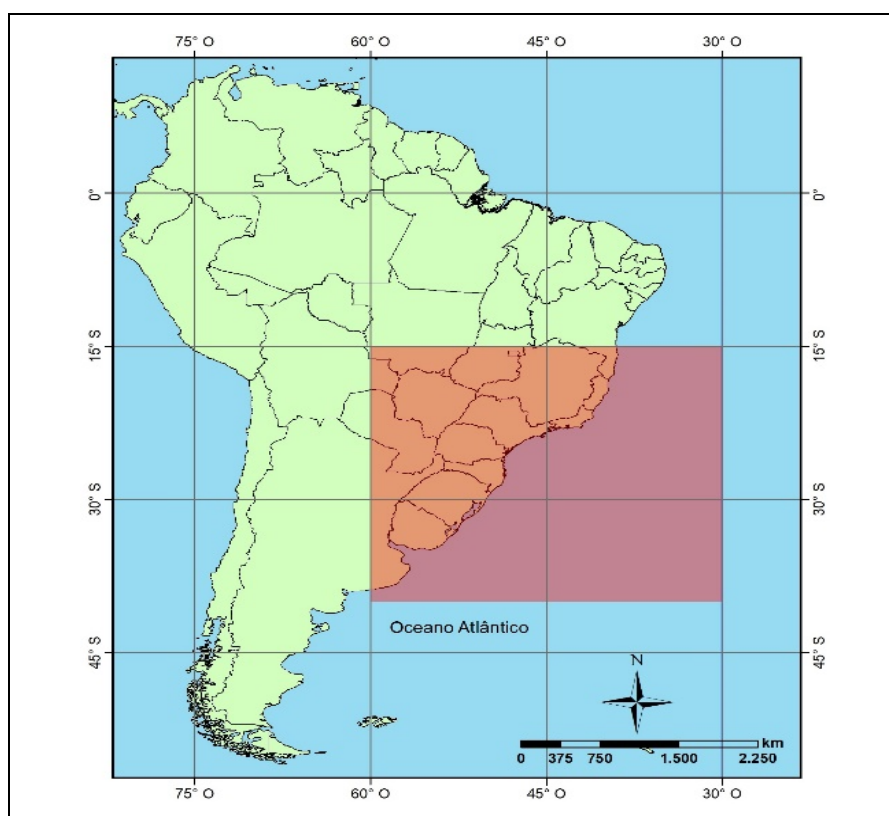


Figura 7 – Área de estudo demarcada em vermelho no mapa da América do Sul e do setor oeste do Oceano Atlântico Sul. Fonte: elaboração do autor (2019).

### 3.2 Dados de Reanálises

Os dados de reanálise são um conjunto de dados obtidos partindo de modelos de circulação da atmosfera em escala global, sendo que esses dados combinam conjuntos medidos diretamente e informações dos institutos nacionais de meteorologia, entre outros. Nos últimos anos, novos produtos de reanálise proporcionaram um desenvolvimento operacional na previsão do tempo, nos estudos sobre climatologia e nos esforços feitos em busca de melhorias com base nas reanálises anteriores (STÜKER *et al.*, 2016). Dentro disso, pode-se citar a reanálise do *Climate Forecast System Reanalysis* (CFSR) do NCEP, utilizado como fonte nessa pesquisa.

O CFSR 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 (SAHA *et al.*, 2010). Em março de 2011, uma segunda versão, chamada de CFSRv2, foi lançada. Essa segunda versão tem dados atualizados quase que diariamente e é uma importante ferramenta para os estudos sobre os CE. O CFSR tem resolução vertical e horizontal da atmosfera superior, resolução temporal de seis horas e resolução espacial de, aproximadamente, 38 km na horizontal com 64 níveis na vertical. O modelo oceânico tem espaçamento latitudinal de  $0,25^\circ$  próximo ao Equador e até  $0,5^\circ$  nos trópicos. O CFSR é considerado superior em relação às análises anteriores do NCEP por ter um modelo melhorado e maior resolução (SAHA *et al.*, 2014).

Pelas qualidades e atualizações citadas, além da fácil disponibilidade e por ter um banco de dados atualizado, optou-se por utilizar o CFSRv2 para identificar os CE que ocorreram em 2018 na área de estudo. O parâmetro utilizado foi a de pressão ao nível médio do mar (*pressure reduced to MSL*). As demais características selecionadas foram a resolução horizontal de  $0,5^\circ$  de latitude por  $0,5^\circ$  de longitude e a resolução temporal de 12 horas, levando em consideração os horários de 00 e 12 UTC. Os dados foram baixados no formato *Network Common Data Form* (NetCDF), que posteriormente permite a plotagem e visualização dos dados em Python. Visualizar os dados em mapas tornou possível identificar as ciclogêneses, a posição inicial, o deslocamento, o tempo de vida e os mínimos de pressão atmosférica de cada CE.

### **3.3 Cartas Sinóticas do Centro de Hidrografia da Marinha**

As cartas sinóticas do Centro de Hidrografia da Marinha foram utilizadas para aprimorar a identificação da primeira isóbara fechada de algumas ciclogêneses que não ficavam totalmente claras nos dados do CFSR. Essas cartas são disponibilizadas em dois horários diários, sendo eles 00 e 12 UTC, os mesmos selecionados no CFSR. Porém, os valores de pressão atmosférica das cartas não foram considerados nas médias e mínimos de pressão apresentados nos resultados, sendo apenas o CFSR utilizado para esse fim. As cartas sinóticas estão disponíveis no *site* do Centro de Hidrografia da Marinha a partir de 2016. Para períodos anteriores, devem ser solicitadas diretamente.

### **3.4 Python**

Os dados da reanálise do CFSR foram visualizados através da linguagem de programação Python, que é útil em análises de variabilidade climática, além da facilidade de uso e de acesso, comparando com outras linguagens, pois dispõe de diversas bibliotecas online.

Através de um rotina, foram gerados mapas para cada um dos dois horários diários definido. Com esses mapas foram identificadas as ciclogêneses, assim como os valores de pressão atmosférica de cada CE. Os dados foram anotados em um arquivo de acordo com as datas de ocorrência de cada CE, o mínimo de pressão em cada horário e as coordenadas geográficas do mínimo de pressão em todos os horários. Posteriormente, foi possível verificar a quantidade anual de CE identificados, assim como as médias de pressão atmosférica. Com as coordenadas geográficas de cada mínimo de pressão foi possível elaborar os mapas de densidade anual e sazonais de ocorrência dos CE. Os dados do CFSR foram também baixados para visualização no Excel, o que permitiu identificar os mínimos de pressão exatamente.

### **3.5 Critérios para a identificação das ciclogêneses**

Os critérios para a identificação dos CE e suas características nos mapas foram baseados nas seguintes referências:

De acordo com a metodologia apresentada por Gan (1992), a ocorrência de uma ciclogênese em superfície é definida com o aparecimento da primeira isóbara fechada. Essa isóbara deve ter o intervalo de ao menos 2 hPa e deve persistir por, pelo menos, 24 (ou em três mapas seguidos no Python).

Conforme a metodologia utilizada por Rocha (2014), o mínimo de pressão atmosférica deveria ser inferior a 1015 hPa e esse mínimo estar dentro de uma área de 5° x 5°.

Como o parâmetro de pressão ao nível médio do mar do CFSR apresenta valores com três casas decimais após a vírgula, os dados foram utilizados dessa forma na planilha de dados gerais sobre os CE em 2018. Nas médias de pressão apresentadas nos resultados as três casas decimais foram arredondadas para uma. Os mapas de densidade foram elaborados com o software ArcGIS. Para estações do ano considerou-se os meses de dezembro de 2017, janeiro e fevereiro de 2018 para o verão, março, abril e maio para o outono, junho, julho e agosto para o inverno e setembro, outubro novembro para a primavera.

## **4 RESULTADOS**

A quantidade de CE identificados utilizando os dados da reanálise do CFSR em 2018 na área de estudo foi de 43. Desse total, 13 CE tiveram 24 horas de duração (ou 3 horários seguidos), sendo que em alguns casos o deslocamento continuou fora da área de estudo e em outros houve a dissipação do sistema. Já o CE com maior tempo de vida foi identificado entre 30 de novembro no horário de 12 UTC e 6 de dezembro às 12 UTC. Os CE observados entre 8 de agosto e 13 de agosto e entre 1 de abril e 7 de abril também tiveram tempo de vida longo comparado aos outros CE ocorridos. A menor pressão atmosférica encontrada entre todos os CE foi de 977,2 hPa em 19 de março.

### **4.1 Quantidade, pressão média e média de duração mensal dos CE**

Na Figura 8 pode-se observar a quantidade de CE identificados por mês, a média de mensal de pressão atmosférica e a quantidade de horários por mês com CE identificados, sendo que foram analisados dois horários diários.

Os 43 CE ocorridos representam uma média de 3,58 por mês. O mês com mais CE foi março, com 6, seguido de janeiro e fevereiro, com 5 (Figura 8A). Foi visível uma quantidade maior nos primeiros meses do ano e no inverno. A menor quantidade ocorreu nos meses da primavera. A maior incidência de CE no inverno corrobora com a pesquisa de Gan (1992), que identificou também uma maior incidência de ciclogêneses no inverno durante o período de 1979 a 1988, salientando que podem ocorrer grandes variações anuais na quantidade de CE por meses e estações. Os meses com a menor quantidade de CE foram abril, maio, setembro e novembro (2).

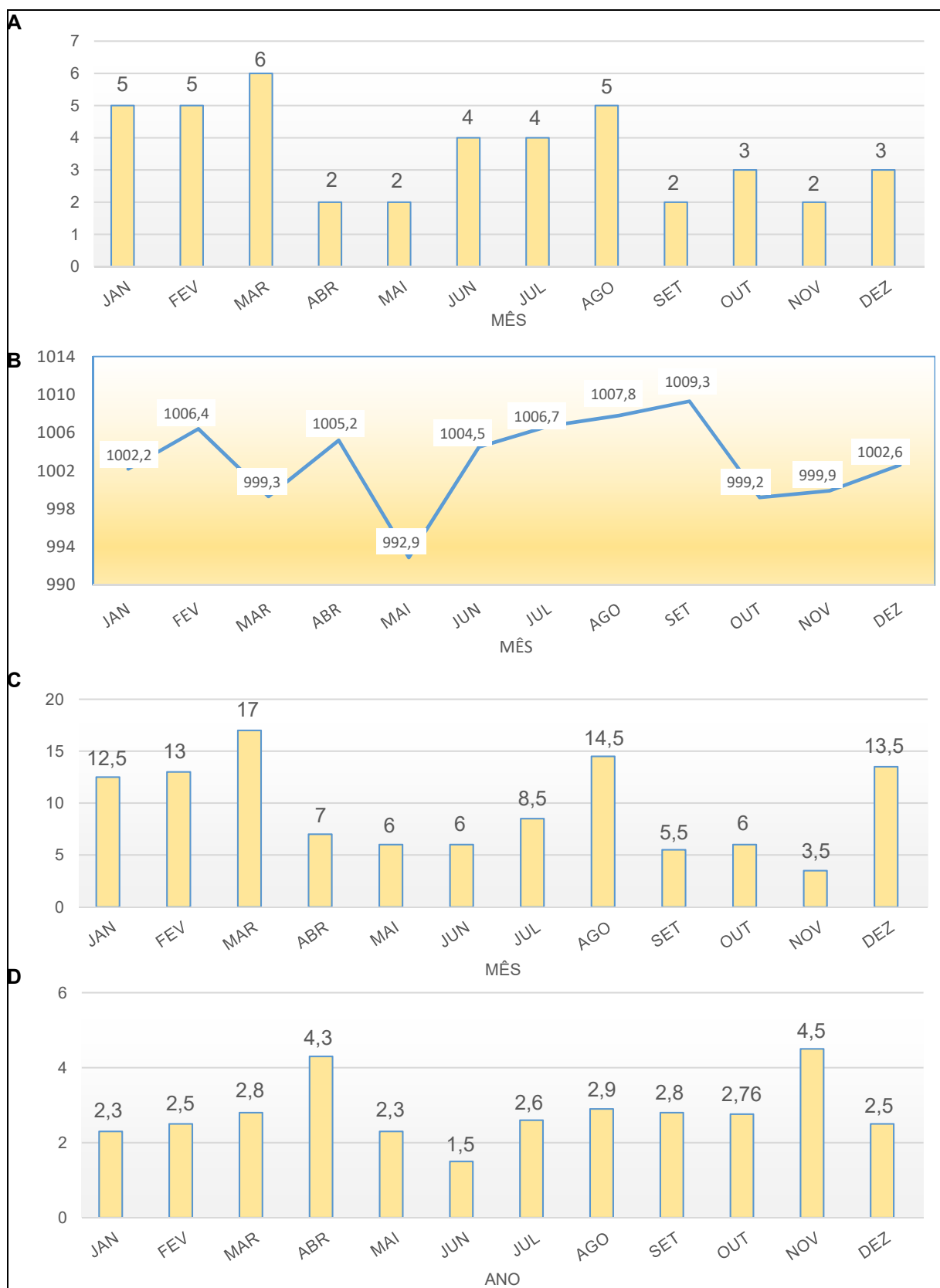


Figura 8 – A) Total mensal de CE; B) média mensal de pressão atmosférica (hPa); C) número de dias/mês com CE ativos e D) média de duração dias/mês dos CE.



Na avaliação dos valores mensais médios de pressão atmosférica, o mês com a menor média foi maio, com 992,9 hPa (Figura 8B). Os dois CE identificados nesse mês tiveram queda brusca de pressão. O primeiro, ocorrido entre 11 e 12 de maio, teve a primeira isóbara fechada com pressão mínima de 1005,2 hPa e a última isóbara com 993,4 hPa. O segundo, entre 19 e 21 de maio, com a primeira isóbara com pressão de 1008,2 hPa e a última com 980,5 hPa, a segunda menor pressão atmosférica identificada considerando todos os CE. O mês com a maior média de pressão foi setembro (1009,3 hPa). Os meses de inverno tiveram médias acima do esperado, sendo a mais baixa no mês de junho (1004,5 hPa). Todos os meses com médias abaixo de 1000 hPa foram meses do outono ou primavera.

Considerando apenas as médias de pressão atmosférica da primeira isóbara fechada de cada CE, o mês com a menor média foi março, com 1001,2 hPa. Portanto, esse mês apresentou a maior quantidade de CE identificados e a menor média de pressão da primeira isóbara observada.

Foi calculada também a quantidade de dias com CE ativos em cada mês (Figura 8C). O mês de março, por ter a maior quantidade de CE, foi o que teve a maior quantidade de dias ativos (17). Dos seis CE ocorridos nesse mês, cinco foram próximos ao Rio da Prata e litoral do Uruguai e um próximo da costa do Rio de Janeiro. Nos três primeiros meses do ano, uma maior quantidade de horários com CE foi observada. Após isso, houve uma queda bastante visível e que se manteve baixa ao longo do restante do ano, com exceção de agosto e dezembro. Apesar da quantidade mais elevada de agosto e de quatro CE terem sido identificados em cada um dos outros dois meses do inverno, junho e julho não tiveram uma grande quantidade de horários com CE ativos, muito porque grande parte dessas ciclogêneses foram identificadas já próxima do limite sul da área de estudo, tendo um deslocamento rápido no sentido sul/sudeste.

Conforme Reboita (2008), é comum que mais CE ocorram na costa Sudeste do Brasil no verão por essa região apresentar características favoráveis para isso. Isso explicaria a maior quantidade de horários mensais de CE identificados nos meses de verão, já que os CE que ocorrem próximo da costa da região Sudeste podem ter um deslocamento maior até saírem da área estudada, enquanto que os CE que ocorrem mais ao sul, aliado ao fato da diminuição dos CE no Sudeste nas demais estações, têm deslocamentos que tendem a se afastar rápido da área de estudo, diminuindo a quantidade de horários identificados no outono, inverno e primavera.

Como a Figura 8C apresenta o total de dias por mês com algum CE ativo, o Figura 8D apresenta a média de duração em dias dos CE mensalmente. O total de horários ativos com CE em cada mês foi dividido pela quantidade de CE iniciados a cada mês. Com isso, foi obtido a média de duração dos CE em cada mês. Em alguns casos, um CE iniciado em um mês se dissipou ou saiu da área de estudo apenas no mês seguinte. Nessas situações foi considerado que o CE pertencia ao mês em que ele foi identificado. Se fosse considerado somente até o final do mês, um mesmo CE seria considerado em dois meses seguidos.

O mês com a maior média foi novembro (4,5), seguido de abril (4,3). Em junho, todos os quatro CE identificados duraram três horários dentro da área de estudo, sendo essa a média do mês (1,5). Março foi o mês com a maior quantidade de CE e de dias ativos, com média de duração dos CE de 2,8 dias, a terceira maior. Quase todo o inverno teve as menores médias de duração, principalmente junho e julho, mas foi a estação em que mais CE foram identificados, junto com o verão. Isso indica também ciclogêneses mais ao sul nessa estação, conforme pode-se ver nos mapas de densidade sazonal.

#### **4.1.1 Sazonalidade e pressão dos CE**

Na análise sazonal do número de ocorrências dos CE identificados em 2018, o verão teve a maior quantidade e o inverno foi a segunda estação com mais ocorrências (Figura 9A). Foram 15 ocorrências no verão e 13 no inverno, o que representa uma média de 5 e 4,3 CE por mês em cada estação, respectivamente. No outono foram observados 10 CE (média de 3,3 por mês). Já a primavera foi a estação com menos ocorrências, apenas sete, ou 2,3 por mês na média.

Na Figura 9B constam as médias de pressão atmosférica por estação. Como os meses de março e maio tiveram baixas médias de pressão, o outono foi a estação com a menor média (999,4 hPa). A primavera teve a segunda menor média (1002,7 hPa). O verão teve valor próximo do encontrado para a primavera (1003,8 hPa) e a maior média foi encontrada no inverno (1006,8 hPa). As estações com maior quantidade de CE tiveram as maiores médias.

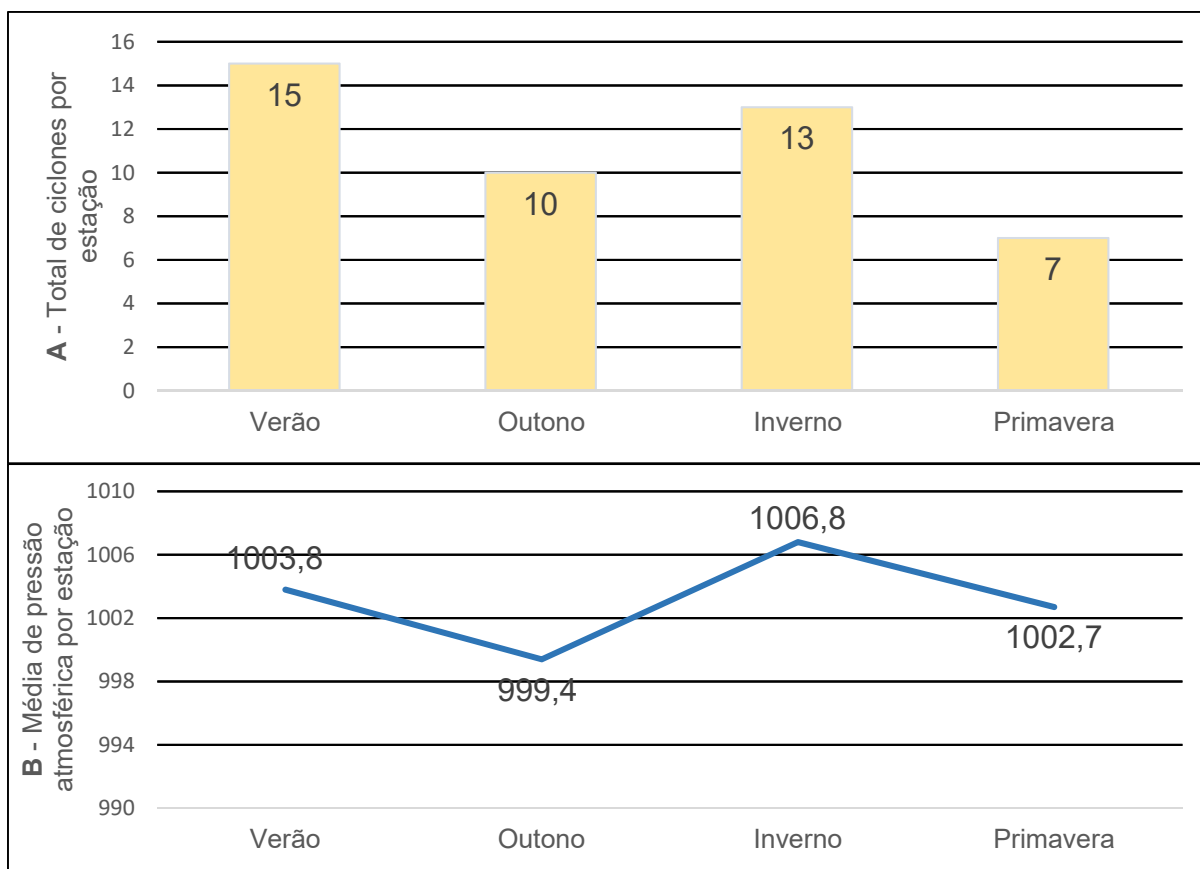


Figura 9 – A) Número sazonal de CE em 2018; B) Média sazonal de pressão atmosférica dos CE 2018.

## 4.2 Densidade das ciclogêneses

Foram feitos mapas mostrando em quais áreas foram identificados mais CE no ano de 2018, assim como em cada estação do ano. Com isso, foi possível verificar em que locais os CE foram mais frequentes e se os resultados estavam de acordo com os estudos citados anteriormente. A Figura 10 apresenta o mapa de densidade das ciclogêneses ocorridas em todo o ano de 2018. Para a elaboração do mapa foi considerado as coordenadas geográficas da primeira isóbara fechada identificada de cada CE.

Duas áreas principais foram identificadas com mais ocorrências de CE: a costa do Sudeste do Brasil e a foz do Rio da Prata. Entre a costa do Rio Grande do Sul e o Rio do Prata houve uma pequena diminuição da densidade calculada pelo *software*, mas na Figura 11 é notável que ocorreram CE nessa área na mesma frequência com que nas proximidades.

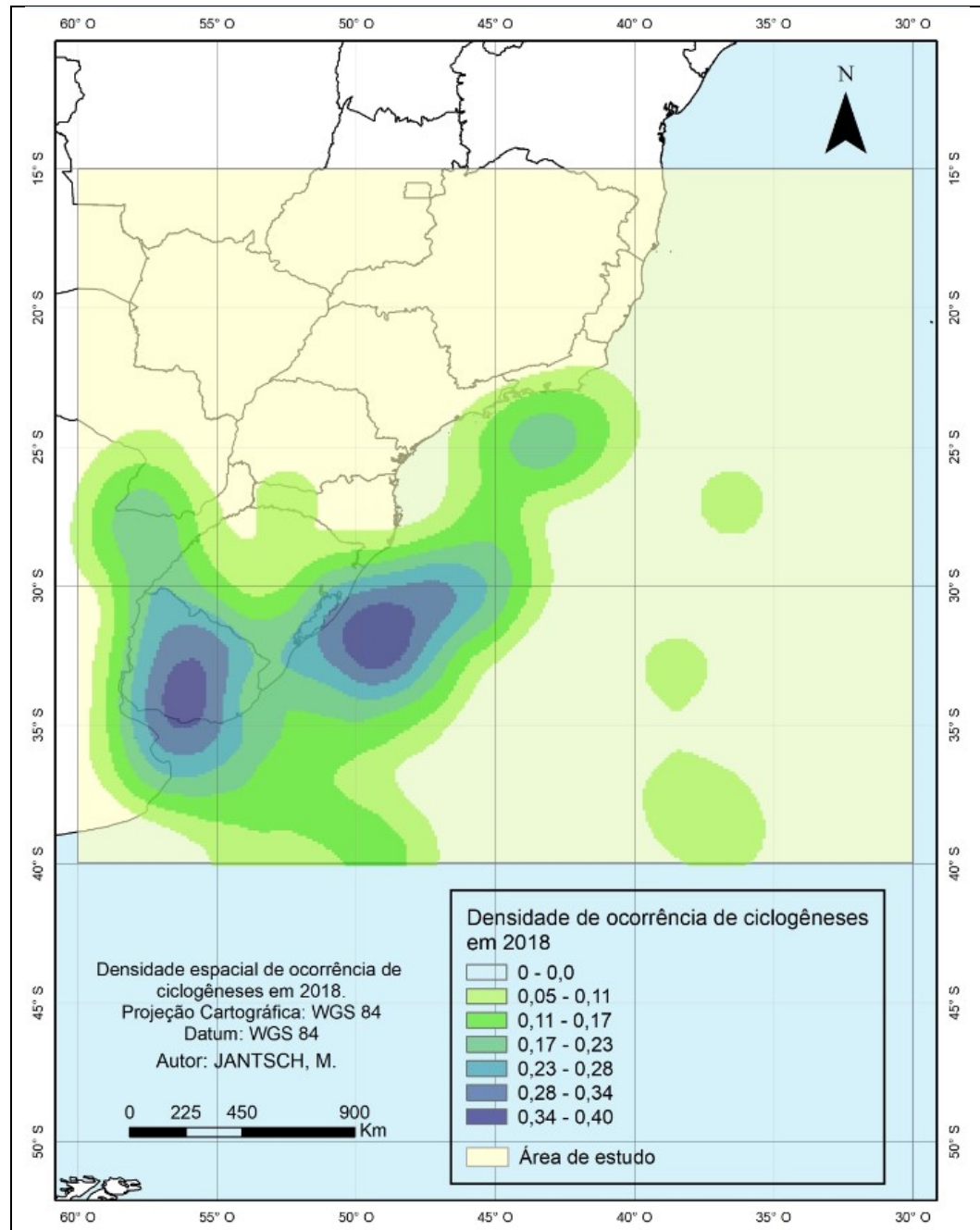


Figura 10 – Densidade das ciclogêneses no ano de 2018.

Como identificado em trabalhos anteriores, essas são as duas principais regiões ciclogênicas dentro da área estudada (REBOITA, 2008; GAN, 1992; ROCHA, 2014, JANTSCH, 2019).

Gan (1992) relaciona a instabilidade baroclínica como um dos fatores que tornam a região do Rio da Prata altamente propensa à formação de CE em associação com o efeito de montanha dos Andes, já que essa região se encontra a sotavento da Cordilheira. Reboita (2008) relaciona a ocorrência de CE na costa do Sudeste do Brasil principalmente a quando distúrbios em níveis superiores são mais fracos. Isso ocorre principalmente no verão, a estação com maior disponibilidade de umidade, tornando esse o principal fator que a ocorrência de CE na região.

Taljaard (1972) cita como ciclogênica uma região próxima ao Paraguai. No mapa de densidade é possível observar uma área de ocorrência de CE entre o norte da Argentina e o sul do Paraguai, mas é necessária uma análise temporal maior para confirmar essa relação.

Valente (2015) aponta que eventos extremos de precipitação (positivos ou negativos e de frio intenso) são mais propícios na região subtropical do Brasil, sendo que essas anomalias podem ocorrer em todo o sudeste da América do Sul. Na região do litoral do Paraná e São Paulo, podem ocorrer mais eventos extremos de temperatura negativa. Nas regiões do norte do Chaco (Paraguai, Argentina norte e sul da Bolívia), a vulnerabilidade à elevadas temperaturas é mais comum e a área sudeste da Região Sul do Brasil é mais vulnerável a extremos de precipitação.

Nota-se que grande parte da densidade dos CE ocorre nas proximidades entre continente e oceano, o que mostra que essas são áreas preferencias para a ocorrência desses sistemas na América do Sul, considerando ainda uma outra área ciclogênica no leste da Patagônia argentina entre a área continental e o Oceano Atlântico, mencionada também por Gan (1992) e Reboita (2008).

O mapa da Figura 11 foi elaborado utilizando as coordenadas geográficas do mínimo de pressão da primeira isóbara fechada de todos os CE ocorridos em 2018. Cada ponto representa a localização em que cada um dos 43 CE foi identificado. Como o mapa da Figura 10 mostra em que áreas os CE mais ocorreram, na Figura 11 é possível observar melhor a distribuição espacial das ciclogêneses. A região do Rio da Prata e a costa do Rio Grande do Sul foram os locais com a maioria das identificações, além de alguns casos ao sul do Paraguai e na costa do Sudeste do Brasil. Quatro CE foram observados já distantes do continente.

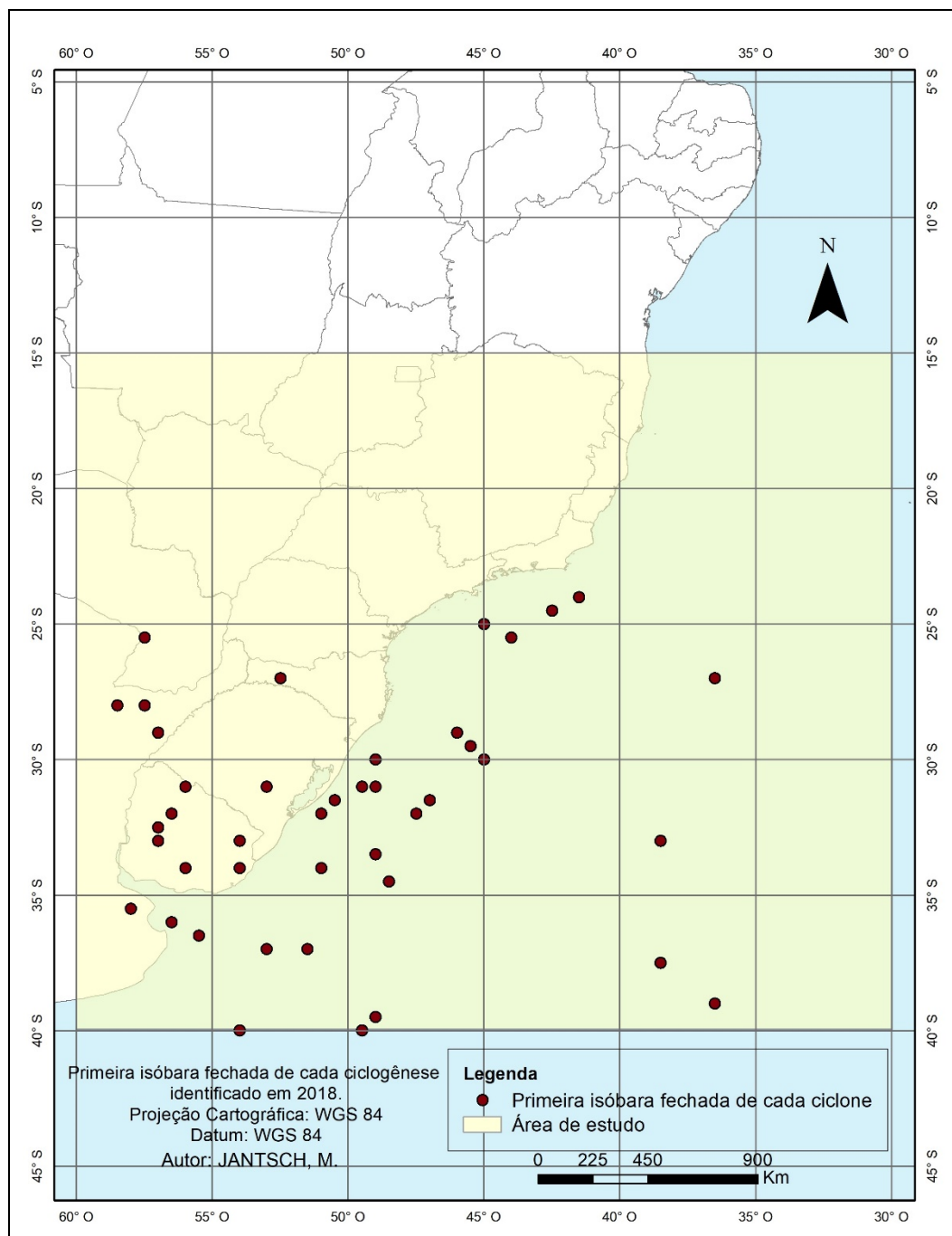


Figura 11 - Mapa da localização do ponto de mínima pressão atmosférica da primeira isóbara fechada de todas as ciclogêneses identificadas em 2018.

A Tabela 1 apresenta quantos CE ocorreram por latitude. A faixa que envolve o litoral sul do Rio Grande do Sul, o litoral uruguaio e parte da região do Rio da Prata (-30° a -35°) foi a que teve mais ocorrências (20). Ocorreram dez CE em cada uma das faixas entre -25° a -30° e -35° a -40°. Apenas três CE foram identificados entre -20° a -25° e nenhum entre -15° a -20°.

Tabela 1 - Quantidade de CE identificados por latitude.

Latitude	Quantidade
-15° a -20°	0
-20° a -25°	3
-25° a -30°	10
-30° a -35°	20
-35° a -40°	10

#### 4.2.1 Sazonalidade da densidade das ciclogêneses

As diferenças na densidade sazonal das ciclogêneses ocorridas em 2018 podem ser observadas na Figura 12. De forma geral, o cálculo da densidade no ArcGIS funcionou melhor com uma quantidade maior de dados de CE do que por estações do ano. Mesmo assim, foi possível identificar com clareza a densidade das ocorrências de CE em 2018.

No verão, foi observado uma maior densidade de CE na costa do Sudeste quando relacionando com outras estações, como esperado, podendo apenas ser comparado ao outono. A densidade na região do Rio da Prata foi mais intensa do que na costa Sudeste. A espacialidade das ciclogêneses no verão foi bastante parecida com o mapa anual da Figura 10.

A densidade no outono na costa do Sudeste diminuiu em relação ao verão mas ainda assim foi considerável, sendo menos esparsa. Na costa do Rio Grande do Sul e Rio da Prata a densidade foi próxima do observado no verão, mas ocorrendo mais ao sul. No inverno, os CE foram identificados quase que inteiramente entre as faixas 30°S e 40°S de latitude, novamente predominando na região do Rio da Prata e costa do Rio Grande do Sul, com apenas um CE observado fora dessa região, já em alto mar no Oceano Atlântico.

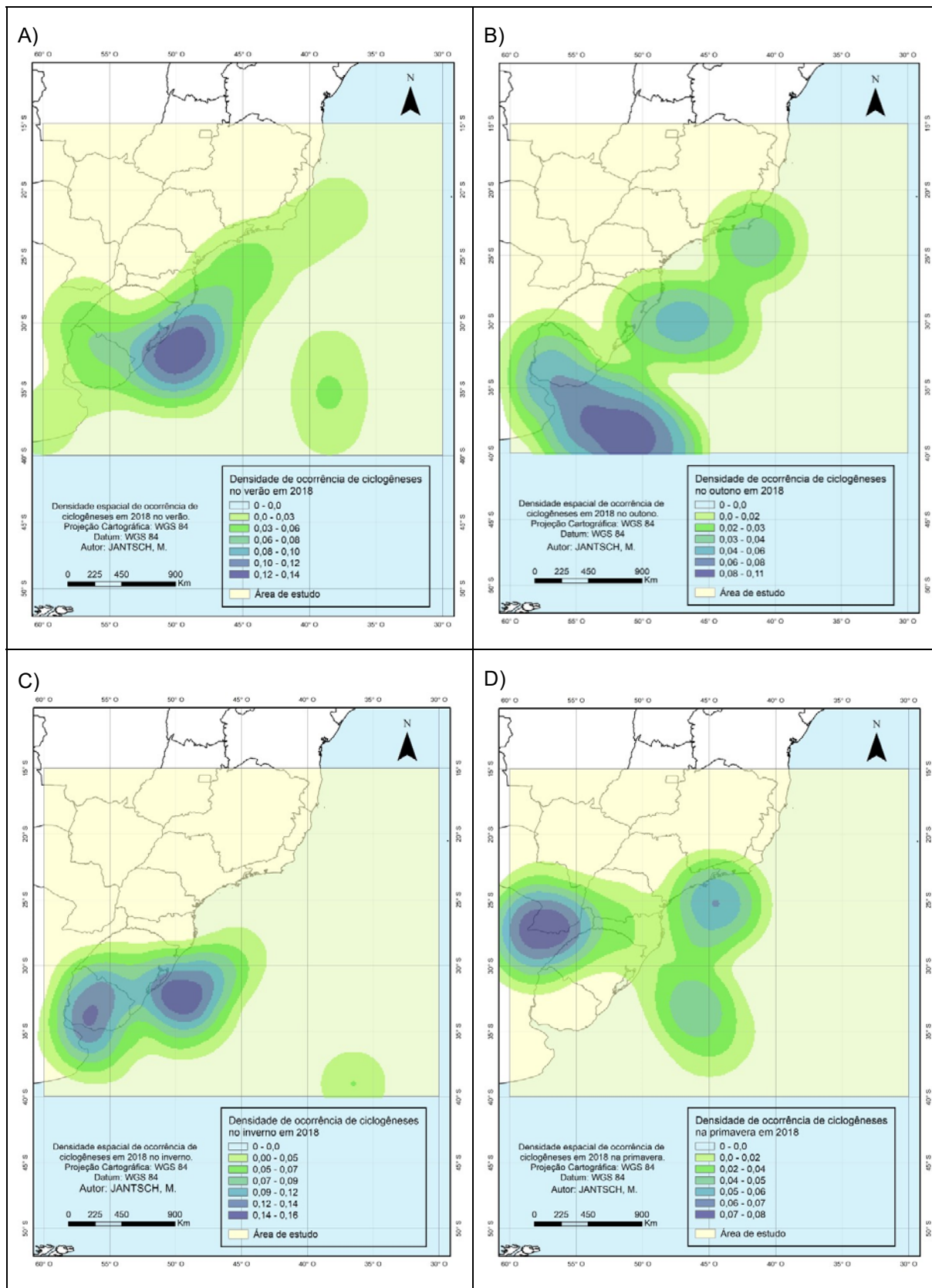


Figura 12 – Sazonalidade da densidade de ciclôgeneses em 2018. A) Verão; B) Outono; C) Inverno e D) Primavera.



Os resultados da densidade na primavera mostraram que nenhum CE foi identificado diretamente na região da foz do Rio da Prata. Nas proximidades da costa norte do Rio Grande do Sul e um pouco mais afastado da costa do Uruguai, foram encontrados alguns CE. No sul do Paraguai e na costa do Sudeste do Brasil a densidade foi ligeiramente maior, favorecida pela pouca ocorrência de CE mais ao sul na mesma estação.

#### **4.3 CE com os menores valores de pressão atmosférica**

Os CE mais intensos, com pressão atmosférica igual ou menor que 990 hPa, foram identificados e apresentados em dois mapas na Figura 13. Na Figura 13A, cada ponto representa as coordenadas geográficas da primeira isóbara fechada de cada CE em que foi identificado alguma pressão atmosférica igual ou menor a 990 hPa. Quatro CE foram identificados na região do Rio da Prata e outros dois CE costa do Rio Grande do Sul. Apenas três CE foram observados no continente, entre o Rio Grande do Sul, Santa Catarina e o sul do Paraguai. Nenhum CE teve início na região da costa do Sudeste do Brasil.

Na Figura 13B, cada ponto representa as coordenadas geográficas exatas em que essas pressões iguais ou inferiores a 990 hPa foram identificadas. Todos os horários com identificação estavam longe da costa, sendo cinco deles próximos da região do Rio da Prata.

Essas ocorrências homoganeamente distribuídas ao longo do ano: dois CE ocorreram em março e dois em maio (outono), um CE em julho e um em agosto (inverno), um CE em outubro e um em novembro (primavera) e apenas um no verão, em dezembro.

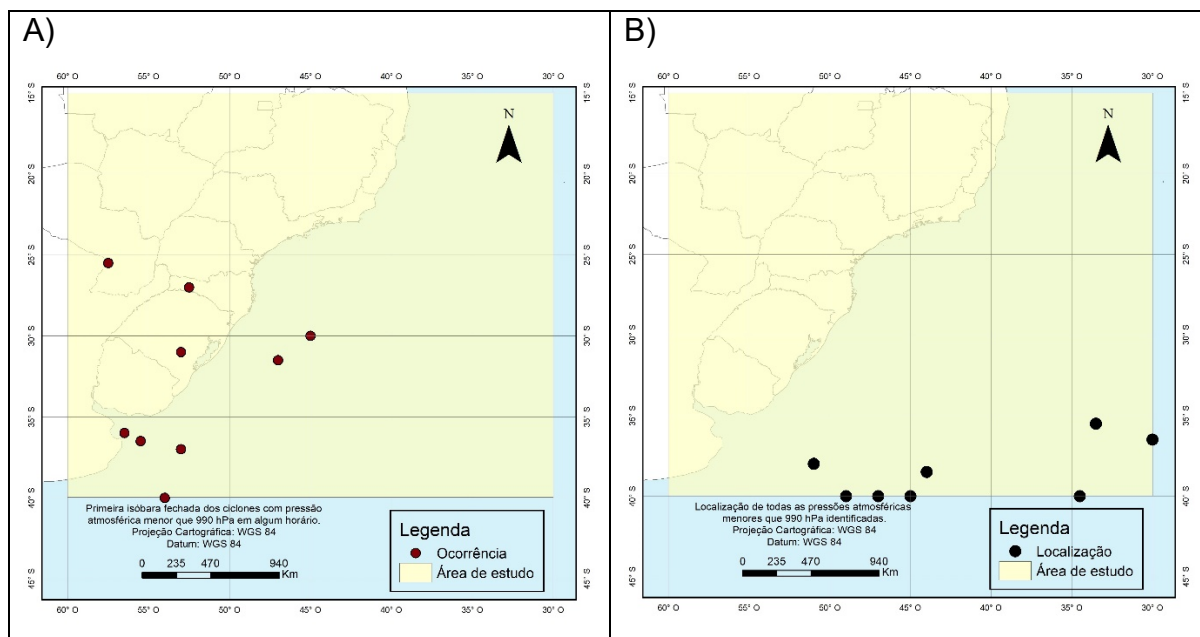


Figura 13 – A) Localização da primeira isóbara fechada de todos os CE identificados com pressão atmosférica mínima menor que 990 hPa em pelo menos um horário. B) Localização de todas as pressões atmosféricas menores que 990 hPa.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho identificou o número de eventos de CE, as áreas com maior ocorrência e a pressão atmosférica mensal e sazonal no ano de 2018. O total de CE identificados foi de 43, com média de 3,58 por mês. O mês com mais eventos foi março (6) e os com menos foram abril, maio, setembro e novembro (2). Quanto a sazonalidade, 15 casos ocorreram no verão, 13 no inverno, 10 no outono e 7 na primavera. Observa-se uma maior quantidade de CE nos primeiros meses do ano e no inverno. Entre 30 de novembro (12 UTC) e 6 de dezembro (12 UTC) de 2018, identificou-se o CE com maior ciclo de vida (144 horas). A zona com mais CE observados, 20 casos, foi entre  $-30^{\circ}\text{S}$  a  $-35^{\circ}\text{S}$ .

A menor pressão atmosférica encontrada foi de 977,2 hPa em 19 de março às 12 UTC. O mês com a menor média de pressão atmosférica foi maio (992,9 hPa), seguido de outubro (998,2) e março (999,3). As maiores médias ocorreram em setembro (1009,3 hPa), agosto (1007,8 hPa) e julho (1006,7). Considerando apenas a primeira isóbara fechada de cada CE, a menor média foi a de março (1001,2 hPa). A pressão atmosférica sazonal apresentou média no verão de 1003,8 hPa, 999,4 hPa no outono, 1006,8 hPa no inverno e 1002,7 hPa na primavera. Considerando apenas os CE com pressão atmosférica igual ou menor que 990 hPa, nove foram identificados, sendo dois em março e maio e um em julho, agosto, outubro, novembro e dezembro.

Dois áreas foram identificadas com maior densidade de CE: a região do Rio da Prata; costa gaúcha e a costa do Sudeste do Brasil, corroborando com estudos anteriores (GAN, 1992; ROCHA, 2014; REBOITA, 2008; JANTSCH, 2019). A maioria dos CE (72 %) ocorreu nas proximidades da região costeira do Sul do Brasil.

A costa do Sudeste do Brasil apresentou mais CE no verão e outono. A densidade de ocorrência de CE predomina na região do Rio da Prata no inverno, outono e verão. No inverno, todos os CE ocorreram na região do Rio da Prata, enquanto que na primavera nenhum ciclone foi identificado nessa região.

Como sugestão de trabalhos futuros, a inclusão de novos parâmetros e automatização dos processos pode aprimorar os resultados. Verificar a ocorrência de CE em anos de El Niño, em relação ao SAM e outros modos de variabilidade, contribuirá para um avanço dos conhecimentos sobre o assunto.

## REFERÊNCIAS

- 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.
- BENGTSSON, L; HODGES, K. L; KEENLYSIDE, N. Will Extratropical Storms Intensify in a Warmer Climate? **Journal of Climate**, v. 22, p. 2276-2301. 2009.
- BENGTSSON, L.; HODGES, K. I.; ROECKNER, E. Storm Tracks and Climate Change, **Journal of Climate**, v. 19, pg. 3518–3543. 2006.
- BJERKNES, J.; H. SOLBERG. Life Cycle of Cyclones and the Polar Front Theory of Atmospheric Circulation. **Geofysike Publikasjoner**, v. III, pg. 393-400, 1922.
- BJERKNES, J. On the Structure of Moving Cyclones. **Monthly Weather Review**, pg. 95-99, 1919.
- 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.
- GAN, M, A. **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.
- 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](http://dca.iag.usp.br/material/ritaynoue/aca-0523/referencias/Met_Pratica_SBMET_Parte2.pdf)>. Acesso em 12 mai. 2019.
- JANTSCH, M. **Climatologia de ciclones extratropicais na Região Sul do Brasil de 2000 a 2016**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2019.
- LICHTENSTEIN, E. R. **La Depresion del Noroeste Argentino**. Tese de Doutorado. Universidad of Buenos Aires. 1980.
- MARENGO, J. A. **Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos sobre a Biodiversidade: caracterização do Clima Atual e Definição das Alterações**

**Climáticas para o Território Brasileiro ao Longo do Século XXI.** Brasília: MMA, 2ª edição. 2007.

MARINHA DO BRASIL. **Centro de Hidrografia da Marinha (CHM).** Cartas Sinóticas. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-smm-cartas-sinoticas/cartas-sinoticas>>. Acesso em 08 jun. 2019.

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.

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

ROCHA, F. P. **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.

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: 27 mai. 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: 26 mai. 2018.

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.

SHAPIRO, M. A.; KEYSER, D. Fronts, jet streams and the tropopause Extratropical Cyclones, the Erik Palmén Memorial Volume, Newton C.W. e Holopainen, E., **American Meteorological Society**, p. 167-191. 1990.

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.

TALJAARD, J. J. Synoptic meteorology in the Southern Hemisphere. In: Newton, C. W. Meteorology of the Southern Hemisphere. **American Meteorological Society**, 1972, pg. 139–213.

VALENTE, P. T. Identificação das áreas mais sujeitas a eventos extremos de temperatura e precipitação no sudeste da América do Sul. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015.

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