

5. PRODUTO(S) DESENVOLVIDO(S)

Neste trabalho foram desenvolvidos dois Produtos Técnico-Tecnológicos (PTTs), sendo um deles um algoritmo de detecção de Frentes Frias e o outro uma base de dados com todos os casos de Frentes Frias detectadas. O Terceiro produto se refere ao artigo científico.

5.1 Artigos(s) Desenvolvido(s)

Os trabalhos citados abaixo foram, em formato resumo, submetidos, aceitos e publicados no Simpósio em Clima, Água, Energia e Alimentos, Rio de Janeiro, evento online de 13 a 15 de outubro de 2021. Os 20 melhores trabalhos dos anais do evento foram selecionados para publicação na Revista Anuário do Instituto de Geociências (Anuário IGEO). Portanto, o trabalho intitulado "DETECÇÃO DE FRENTES FRIAS EM EVENTOS DE MÉDIO E ALTO IMPACTO QUE OCORRERAM EM SANTA CATARINA", em processo de finalização para submissão, foi selecionado para publicação na Revista Anuário IGEO.

- 1) Roseli de Oliveira; Mário Francisco Leal de Quadro. **DETECÇÃO DE FRENTES FRIAS EM EVENTOS DE MÉDIO E ALTO IMPACTO QUE OCORRERAM EM SANTA CATARINA**. In: ANAIS DO SIMPÓSIO EM CLIMA, ÁGUA, ENERGIA E ALIMENTOS - 2021, 2021, Rio de Janeiro. Anais eletrônicos... Campinas, Galoá, 2021. Disponível em: <<https://proceedings.science/simclea-2021/papers/deteccao-de-frentes-frias-em-eventos-de-medio-e-alto-impacto-que-ocorreram-em-santa-catarina?lang=pt-br>> Acesso em: 29 abr. 2022.
- 2) Arthur Müller et al. **ANÁLISE TEMPORAL DA RELAÇÃO ENTRE A OSCILAÇÃO ANTÁRTICA E A PASSAGEM DE FRENTES FRIA SOBRE O ESTADO DE SANTA CATARINA**. In: ANAIS DO SIMPÓSIO EM CLIMA, ÁGUA, ENERGIA E ALIMENTOS - 2021, 2021, Rio de Janeiro. Anais eletrônicos... Campinas, Galoá, 2021. Disponível em: <<https://proceedings.science/simclea-2021/papers/analise-temporal-da-relacao-entre-a-oscilacao-antartica-e-a-passagem-de-frentes-fria-sobre-o-estado-de-santa-catarina?lang=pt-br>> Acesso em: 29 abr. 2022.

5.2 Produtos Técnicos-Tecnológicos

O principal PTT desenvolvido neste trabalho foi um algoritmo automatizado para detecção de Frentes Frias denominado Índice de detecção de FF (IFF) (Figura 30). O desenvolvimento baseou-se na metodologia usada por Rodrigues et. al. (2004), Silva et al. (2014) e Cardozo et al. (2015), desenvolvido no software GRADS (*Grid Analysis and Display System*) fornecido pelo *Center for Ocean-Land-Atmosphere Interactions* (COLA). Como descrito na seção 3.2, para executar a parte científica desta pesquisa utilizou-se dados de reanálise, a cada 6 horas (disponibilizados em arquivos diários), da componente meridional de vento a 10 m e temperatura do ar a 2 m do CFSR e CFSv2.

O algoritmo sinaliza a passagem de uma frente fria quando as seguintes condições, simultaneamente em cada ponto de grade do domínio de cada área, eram computadas: i) vento no quadrante norte no tempo $t-1$ (6 horas antes); ii) vento no quadrante sul do tempo t até $t+3$ indicando o giro do vento norte (valores negativos da componente meridional do vento) para o quadrante sul (valores positivos da componente meridional do vento) e persistência até 24 horas e iii) diminuição da temperatura do ar a 2 m até 24 horas após a passagem da FF, considerando o tempo $t-1$ a $t+3$. As condições descritas compõem a equação do IFF desenvolvida neste trabalho, a qual é indicada pela seta vermelha na Figura 30. No entanto, para melhor interpretação do IFF de cada frente fria, o mesmo foi normalizado, em função do máximo valor do domínio para torná-lo adimensional. Sendo assim, se obteve o índice IFFN (IFF normalizado) (seta branca indicada na Figura 30) em uma escala com variação de 0 a 10, na qual mostra a intensidade das FFs pelo algoritmo.

Visando tornar o algoritmo operacional, depois dos testes de sensibilidade e da aplicação científica do mesmo com o uso do CFSR, optou-se por usar os dados do GFS (*Global Forecast System*) que é um modelo de previsão do tempo produzido pelo *National Center for Environmental Prediction* (NCEP), que pertence ao NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) e é muito utilizado nos centros de previsão do tempo e clima. Portanto, o IFF está operacional e pode ser acompanhado diariamente por meio do link <http://meteorologia.florianopolis.ifsc.edu.br/climenv/produtos_alunos/iff/oper>, o

qual mostra os mapas com a previsão da frente fria com as categorias de intensidade classificadas nesta pesquisa. Em uma segunda etapa, este aplicativo meteorológico será instalado junto aos servidores computacionais da EPAGRI/CIRAM, visando a disponibilização deste produto aos previsores deste Centro.

Figura 30: Parte principal do Algoritmo automatizado de Detecção de Frentes Frias - IFF

```
#####
### SCRIPT AUTOMÁTICO PARA DETECÇÃO DE FRENTES FRIAS          ###
### Utiliza o GFS do NCEP com previsões ate 06 horas.          ###
###                                                            ###
###Elaborado por:Roseli de Oliveira e Prof. Dr Mario Quadro   ###
### Para rodar :                                              ###
### "run detecta_frente_fria.gs YYYYMM(i) yyyyymm(f)"         ###
### Desenvolvido/Adaptado em: 21/01/2021                      ###
#####
*****
* Define a área do Mapa e os critérios do vento
*****
'set lon -76 -36'
'set lat -50 -15'
'set t '_t'
'define a=((abs(vgrd10m(t-1))-vgrd10m(t-1))/2)*-1'
'define b=((abs(vgrd10m)+vgrd10m)/2)'
'define c=((abs(vgrd10m(t+1))+vgrd10m(t+1))/2)'
'define d=((abs(vgrd10m(t+2))+vgrd10m(t+2))/2)'
'define e=((abs(vgrd10m(t+3))+vgrd10m(t+3))/2)'
*****
* define a diminuição de tmp2meratura de um periodo para outro
*****
'define t1=(tmp2m(t-1)-tmp2m(t+3))'
*****
* seleciona as áreas onde houve queda de tmp2meratura
*****
'define at1=(abs(t1)+t1)/2'
*****
* Critérios do Script
* a*b -> Seleciona áreas aonde o vento girou de norte p/ sul
* a*b*c*d*e -> A partir do criterio anterior, se o vento permaneceu de sul por um dia
* a*b*c*d*e*at1 -> A partir do criterio anterior, se a tmp2meratura diminuiu 24h depois
da passagem da frente.
*****
'c'
'set gxout grfill'
'set grads off'
*
'define iff=sqrt((a*-1)*b*(a/a)*(b/b)*(c/c)*(d/d)*(e/e)*at1)'
'set gxout stat'
'd iff'
lin=sublin(result,8)
_vmax=subwrd(lin,5)
'define iff=10*iff/'_vmax
#
'set gxout grfill'
'set grads off'
'set ccols 0 43 44 45 47 48 49 33 34 35 37 38 39 23 24 25 26 27 28 29 0'
'set clevs 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.'
'd iffn'
*****
```

Fonte: Elaboração própria (2022).

O segundo PTT desenvolvido se refere a uma base de dados no período de 1991 a 2020, contendo um total de 2124 casos de Frentes Frias detectadas pelo algoritmo com sua respectiva hora inicial e final, data inicial e final, número de horas de atuação da FF, taxa de detecção mínima, média e máxima, Índice de Frente Fria Normalizado (IFFN) médio, Índice de Frente Fria (IFF) máximo, intensidade por categorias (fraco, moderado ou forte) e as áreas de passagem das FFs (Apêndice C).

A disponibilização de informações caracterizando as FFs e a quantidade de casos dos sistemas torna este trabalho pioneiro em detecção automatizada em climatologia de FF no sul e centro-sul da AS. Este PTT visa subsidiar pesquisas futuras sobre a atuação das FFs na região de estudo. O apêndice C apresenta os 70 casos de FFs detectadas no ano de 1991. Uma breve análise sobre a intensidade por categoria revela que foram detectados 7 casos fracos, 44 moderados e 19 fortes. A listagem de toda a série climatológica dos sistemas está disponível no link: http://meteorologia.florianopolis.ifsc.edu.br/climenv/produtos_alunos/iff/Produto_Tecnico_Tecnologico_Rose.pdf >.

6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Neste trabalho buscou-se avaliar o comportamento da passagem de frentes frias pelo sul e centro-sul da América do Sul, no período de 1991 a 2020, por meio de um método objetivo de detecção, com o intuito de auxiliar na previsão de eventos meteorológicos de alto impacto que atuam na região. Para avaliar a formação e o deslocamento das FFs sobre toda a região de estudo, considerada uma região frontogenética, foram delimitadas 10 áreas de interesse, sendo 5 destas localizadas na região litorânea (AL) e 5 no continente (AC). Particularmente sobre o Estado de Santa Catarina, que sofre constantemente a influência de FFs durante todo o ano, foram analisados os eventos que impactam o Estado, causando eventos como chuva intensa, queda de granizo, raios e ventos fortes.

Na primeira etapa do trabalho foram levantados casos de FFs que impactaram SC entre 2015 e 2020, pertencente a área específica (AL4). Os casos foram catalogados com base em informações dos dados da reanálise do CFSv2, do Relatório 02 do MMA e GIZ (2018), do Boletim Climanálise do CPTEC, dos Boletins Ambientais Trimestrais da EPAGRI/CIRAM e ainda nos dados dos decretos municipais da Defesa Civil de SC (DC/SC). Como resultado do levantamento observacional dos casos de FF obteve-se um total de 51 casos que impactaram a AL4 e conseqüentemente SC. Sendo que na maioria dos casos o impacto esteve relacionado a chuva intensa e por vezes associados a vendaval e queda de granizo. Dos 51 casos catalogados, 13 casos foram registrados na estação verão, 10 no outono, 10 no inverno e 18 na primavera.

Na segunda e terceira etapas do projeto foi desenvolvido e aplicado um algoritmo computacional para detecção e caracterização das FFs que atuaram sobre o cone sul da América do Sul entre os anos de 1991 e 2020. O algoritmo detecta frentes frias no domínio nas 10 áreas selecionadas através dos dados da reanálise do CFSR e CFSRv2, a cada 6 horas, da componente meridional de vento a 10 m e da temperatura do ar a 2 m. Com a aplicação do algoritmo nos casos levantados de FFs foi possível avaliar a taxa de detecção e a intensidade de cada FF. Para encontrar um limiar de detecção foram testadas no algoritmo as

porcentagens de 10, 15, 17, 20, 25 e 30 % de pontos para detecção num período de 4 dias, período médio que normalmente uma frente fria influencia a AL4. Para melhor interpretação da intensidade de cada FF foi criado o Índice de Detecção de Frente Fria (IFF), que foi normalizado, em função do máximo valor do domínio para torná-lo adimensional. Sendo assim, se obteve o índice IFFN (IFF normalizado) em uma escala com variação de 0 a 10, na qual mostra a intensidade das FFs pelo algoritmo.

Com isso foi possível avaliar os 51 casos pré-selecionados visando validar o IFFN e a taxa de detecção dos sistemas. A aplicação dos limiares P15, P17, P20, P25 e P30, mostrou que o P17 foi o mais adequado na caracterização das FFs, embora o P15 tenha detectado todos os casos, no entanto com o aumento no período de análise ele detectava casos irreais. Em relação ao IFFN dos 51 casos, concluiu-se que 21 casos registraram intensidade máxima e destes 21 casos, somente quatro casos tiveram a relação positiva entre a intensidade máxima e maior taxa de detecção, demais casos não necessariamente um valor de índice alto está relacionado com a maior área de atuação do sistema.

Na quarta etapa determinou-se uma climatologia dos padrões de deslocamento e intensidade das frentes frias detectadas pelo algoritmo no cone sul da América do Sul. Com a definição do melhor limiar de classificação fez-se um estudo de comparação entre as FFs detectadas pelo algoritmo e as contidas no Boletim Climanálise para validação do método automático. Este estudo abrangeu o período de 1996 a 2013, disponibilidade do Boletim Climanálise, e foi denominado de método observacional (MOBS) e Método Climanálise (MCLN). Na sequência, este estudo foi estendido para todo o período de 1991 a 2020 visando a obtenção da climatologia mensal e sazonal da passagem das FFs nas 10 áreas delimitadas. Ainda nesta etapa, foi necessário desenvolver um código automático que lesse as saídas do algoritmo para a contagem das FFs, devido que o MOBS aplicado na contagem das FFs detectadas nos 30 anos de dados, não se mostrou eficaz pela demora na realização da análise.

As FFs detectadas pelo algoritmo foram contabilizadas pelo MOBJ (contagem automática) e MOBS e a comparação entre os dois métodos mostra

que a climatologia mensal automática das FFs se aproximou da climatologia feita com o MOBS, considerando a condição de que cada sistema atuasse em cinco áreas (ALs ou ACs) e no mínimo em 2 horários sinóticos diferentes. A validação das FFs detectadas pelo algoritmo (MOBJ e MOBS) foi feita por meio da catalogação dos sistemas pelo boletim climanálise (MCLN) com análises, de variabilidade anual, sazonal e mensal. E a comparação dos sistemas pela variabilidade anual pelos três métodos mostrou que o número total de FF detectados pelos MOBJ e MOBS foi de 1329 e 1294 sistemas, no período de 18 anos com uma média anual de 72 e 74, respectivamente. Pelo MCLN foram registrados um total de 1280 sistemas com uma média anual de 71 FFs.

Na quinta e última etapa realizou-se a classificação do impacto (baixo, médio ou alto) da precipitação associada à atuação das frentes frias por meio da técnica dos percentis e elaborou-se um modelo conceitual baseado nos padrões de deslocamento das frentes frias sobre as regiões litorâneas e continentais (Figura 31).

Na comparação da frequência sazonal de FFs entre os três métodos, observou-se que no verão, os métodos apresentam uma maior diferença no número de sistemas. No outono, a diferença maior se dá entre o MCLN com 16 FFs e os outros dois métodos com 18. Ainda, como resultado, obtém-se que estação inverno (JJA) é a estação com maior número de sistemas nos métodos analisados, seguida da estação primavera e os três métodos registraram a mesma média sazonal nestas estações. E a comparação mensal no número médio de FFs mostrou a diferença de 1 sistema frontal entre os métodos na maioria dos meses. Ainda, observou-se que a maior frequência mensal de FFs ocorre entre junho e novembro, meses que pertencem ao inverno e primavera. Tais resultados mostram que o MOBJ se apresenta coerente em comparação com o MCLN, mesmo com aplicação de uma metodologia diferenciada.

A variabilidade anual das FFs detectadas pelo algoritmo nos 30 anos de análise tanto com o MOBJ quanto com o MOBS mostrou uma variação da passagem das FFs de 50 a 80 por ano ao longo da área de estudo. O resultado da climatologia sazonal no número médio de FFs mostrou que nas estações,

verão, outono e primavera os métodos MOBJ e MOBS apresentam uma pequena diferença no número dos sistemas. No inverno os dois métodos registram maior média no número de FFs dentre todas as estações. A Climatologia mensal das FFs detectadas indicou que o mês de fevereiro registrou menor número mensal de FF. Os meses com maior frequência mensal são julho e agosto em toda a climatologia.

As variabilidades sazonal e mensal do número de FFs e do valor do IFFN foram apresentadas para cada uma das dez áreas neste estudo. E a frequência sazonal de FFs mostrou que para todas as áreas, o inverno é a estação que mais ocorre sistemas frontais. Isso corrobora com estudos de Andrade, (2005), Reboita et al. (2009), Silva et al. (2014), os quais afirmam que no inverno os sistemas frontais conseguem avançar para latitudes mais baixas e longitudes mais a oeste comparadas às demais estações do ano. E isso é devido a existência de um maior contraste térmico separando as massas de ar, tal contraste faz com que estas massas cheguem até a Região Central do Brasil. Destaca-se a AC2, AC3, AL3 e AL4 que além da estação inverno também registram na primavera maior número de FF.

Referente ao IFFN médio sazonal de cada área, tem-se que na AL1, no verão, outono e primavera os sistemas são intensos e no inverno moderados. Na AC1, AL3 e AL4 em todas as estações as FFs possuem intensidade moderada. Na AC2 as FFs são intensas na primavera, nas demais estações os sistemas que ocorrem são moderados como na AC3 onde em todas as estações as FFs são de intensidade moderada. Na AL5 as FFs são moderadas, na AC5 são intensas na primavera e moderada nas demais estações, na AC4 as FFs são moderadas no inverno e primavera, e fracas no verão e outono.

A análise da variabilidade mensal no número médio de FFs e dos valores médios de IFFN para cada área delimitada mostrou que para as áreas AL1, AL3, AL4 o número máximo de FFs ocorre em julho e na AL2 em agosto, os sistemas que atuam em julho na AL1 e AL3 são menos intensos comparados ao mesmo mês na AL4. Nas AC1, AC2 e AC3 as FFs atuam em maior número nos meses de julho e setembro, e nestes meses na AC2 e AC3 o IFFN indica sistemas intensos

de atuação, já na AC1 sistemas mais intensos em setembro. Na AL5, AC4 e AC5, o número médio máximo de FFs ocorre nos meses de julho e agosto e são menos intensos na AL5 e AC5. Na AC4 em julho, os sistemas são menos intensos comparados a agosto.

O modelo conceitual baseado nas diversas análises das FFs neste estudo, e principalmente nos padrões de deslocamento dos sistemas sobre as regiões litorâneas e continentais é representado pela Figura 31. O método aplicado nesta pesquisa permitiu avaliar a formação, desenvolvimento e trajetória dos sistemas frontais ao longo das 10 áreas e nas variabilidades sazonal e mensal. A frontogênese das FFs classificadas neste trabalho como oceânicas ocorrem em torno de 45°S (JUSTI DA SILVA E SILVA DIAS , 2002; ANDRADE, 2005; REBOITA et al.,2009), elas influenciam tanto a AL1 quanto a AL2 e são FFs rápidas, porém intensas, e ainda ocorrem ao longo de todo o ano. Dos quatro dias analisados concluiu-se, que as FFs oceânicas se dissipam no final do dia inicial (dia -1) ou no máximo no segundo dia (dia 0) de análise, com frontólise ocorrendo sobre o oceano Atlântico.

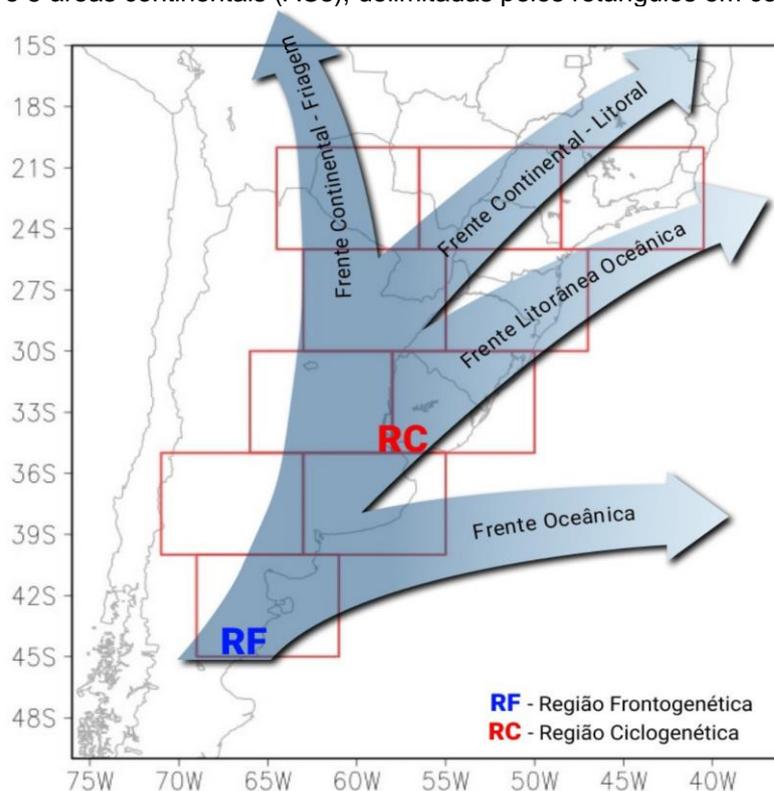
Sobre as FFs Litorâneas-oceânicas, muitas delas nascem na AL1 e se deslocam sobre o Sul do Brasil, onde chegam com menos intensidade e indo em direção ao oceano, onde ocorre a dissipação do sistema. No entanto, há casos de FFs Litorâneas-oceânicas que se formam entre a AL2 e AL3, região que engloba o centro-leste da Argentina e Uruguai, região também conhecida como umas das regiões ciclogênicas (RC) do Sul da AS, esta RC é mais ativa na estação inverno (HOSKINS e HODGES, 2005; REBOITA et al., 2009). Portanto, a ciclogênese frequente na costa do Uruguai favorece os sistemas frontais que se desenvolvem nesta região principalmente no inverno e isto está associado à uma maior instabilidade baroclínica nesta área, com fortes gradientes de temperatura e de umidade, além da presença do jato polar e subtropical.

As FFs Continentais - Litorâneas (FFCL) foram classificadas deste modo, devido que se formam sobre o continente, entre 30 e 35°S, e possuem uma trajetória inicial mais continental, passando sobre o sul do Paraguai, e parte dos

estados do sul e sudeste brasileiro. Algumas vezes estas FFCLs avançam até o sul da Bahia e se dissipam sobre o oceano.

As FFs Continentais (FFC) possuem duas regiões preferenciais de frontogênese, uma em torno de 45°S (RF) e outra em 35°S (RC). As FFCs que se formam na RF e avançam para latitudes mais baixas, passando pelas áreas continentais delimitadas neste estudo, possuem maior densidade comparada as FFs Litorâneas. As FFCs mais intensas possuem em sua retaguarda um anticiclone pós-frontal, o qual se move em direção ao norte atingindo estados como Mato Grosso, Roraima e Amazonas (HAMILTON e TARIFA, 1978; ESCOBAR et. al, 2019). Este anticiclone pós-frontal é responsável pela incursão de ar frio para latitudes menores e a ocorrência do fenômeno chamado de friagem. Este fenômeno ocorre no centro-oeste e norte do Brasil, principalmente entre os meses de maio a setembro, e causa uma queda acentuada da temperatura com duração de aproximadamente seis dias (Marengo et al., 1997; Oliveira et al., 2001).

Figura 31: Modelo conceitual das trajetórias das FFs sobre as áreas de estudos, sendo 5 áreas litorâneas (ALs) e 5 áreas continentais (ACs), delimitadas pelos retângulos em cor vermelha.



Fonte: Elaboração própria (2022).

Por fim, conclui-se que a hipótese deste trabalho foi mostrada, visto que foi possível identificar os padrões de deslocamento e intensidade das FFs ao longo da área de estudo por meio de um algoritmo operacional. O Índice de Frente Fria desenvolvido foi eficaz e coerente, tanto na detecção, quanto na quantificação dos sistemas frontais. Além disso, obteve um desempenho satisfatório no quesito de indicar a intensidade dos sistemas conforme o avanço nas determinadas áreas de estudo. Os resultados obtidos, principalmente na frequência climatológica, foram similares a outros trabalhos que abordaram metodologia parecida. Portanto, o Índice de Frentes Frias se mostra como importante ferramenta a ser implantado em um centro operacional, servindo de suporte aos meteorologistas na previsão de FFs.

Sistemas meteorológicos de diferentes escalas temporais e espaciais como Frentes Frias, Anticiclone Subtropical do Pacífico Sul, Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul, Jato de Baixos Níveis, Zona de Convergência do Atlântico Sul, Jato de Altos Níveis, Vórtice Ciclônico de Altos Níveis, Sistema Convectivo de Mesoescala, Linhas de Instabilidades, Circulação de Brisas, tempestades tornádicas, entre outros, causam impactos ambientais nas regiões que atuam. Estes sistemas são os responsáveis por eventos extremos como chuvas intensas, estiagens, ventos fortes, ondas de frio e de calor que provocam impactos nas características físico-naturais do ambiente. As consequências ambientais geradas por episódios relacionados a chuva intensa, foco desta pesquisa, são recorrentes na região Sul do Brasil, especialmente em Santa Catarina. Os episódios extremos de chuva causam enchentes, alagamentos, inundações e deslizamentos de encostas afetando o ambiente, tanto na zona urbana, quanto na zona rural. Assim sendo, estudos sobre os sistemas meteorológicos e seu impacto no ambiente se tornam fundamentais. Nesse sentido, o IFFN desenvolvido neste trabalho é uma importante ferramenta para o monitoramento e previsão de sistemas frontais e análise de seus potenciais impactos.

De relevância e de suma importância o desenvolvimento de ferramentas que auxiliem na previsão do tempo e clima pois, o aumento da intensidade e frequência de eventos climáticos extremos tem colocado a população e economia global em constante ameaça. Associado a estes efeitos, a modificação do

ambiente se dá de forma natural, mas as variabilidades climáticas e a ação antrópica estão acelerando tal modificação, aumentando os riscos de desastres ambientais. O problema da falta de regularidade na expansão e da correta aposição da infraestrutura urbana fazem deflagrar negatividade de influência nos ecossistemas naturais tais como a escassez de áreas verdes, aumento de impermeabilização do solo, anormalidades nos cursos de rios, falta de uma rede de saneamento básico, entre outros problemas. Em especial, crescimento urbano desenfreado afeta diretamente na maneira que a cidade pode responder aos impactos ambientais devido a eventos climáticos severos.

Portanto, buscar responder a estes riscos com o máximo de resiliência é um desafio das cidades. Um planejamento adequado e gestão eficiente associado a uma previsão mais acurada sobre a formação, deslocamento, monitoramento e intensidade de sistemas meteorológicos como exemplo as frentes frias, pode auxiliar centros de previsão bem como órgãos de proteção civil, a prever os sistemas de médio e alto impacto com maior antecedência e servindo de subsídios para a criação de planos de contingência de potenciais eventos extremos relacionados a passagem das frentes frias no Cone Sul da AS.

Segue recomendações para Trabalhos Futuros:

- Monitorar e validar o algoritmo em operação na previsão dos sistemas frontais.
- Realizar um estudo mais detalhado da evolução das FFs sob influência de outro sistemas atuantes como exemplos em casos de ocorrência SCMs, de ZCAS e de JBN.
- Aumentar o levantamento de casos de FF que causaram precipitação intensa para seguir na validação do algoritmo.
- Estender a climatologia para a costa do Pacífico a fim de avaliar os sistemas que cruzam os Andes.
- Verificar a influência do ENOS sobre as Frentes Frias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANABOR, Vagner. **Análise descritiva dos sistemas convectivos de escala meso- α através das imagens de satélite GOES-8**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2004.
- ANDRADE, K. M. **Climatologia e comportamento dos sistemas frontais sobre a América do Sul**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais -INPE - São José dos Campos, 185 p, 2005.
- ATLAS BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS: 1991 a 2012 / Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. 2ed. rev. ampl. Florianópolis: CEPED UFSC, 168 p. 2013.
- Barcellos P.C. , 2009: Precipitações intensas na cidade do Rio de Janeiro: Probabilidade e Previsibilidade. Dissertação de Mestrado. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, p. 186, 2009.
- BERRY, Gareth; REEDER, Michael J.; JAKOB, Christian. A global climatology of atmospheric fronts. **Geophysical Research Letters**, v. 38, n. 4, 2011.
- BONNET, Suzanna Maria; DERECZYNSKI, Claudine Pereira; NUNES, Ana. Caracterização sinótica e climatológica de eventos de chuva pós-frontal no Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, p. 547-557, 2018.
- BJERKNES, J. On the structure of moving cyclones. **Geofysiske Publikationer**, v. 1, n. 2, p. 1-8, 1919.
- BJERKNES, J. e SOLBERG H., 1922: Life Cycle of Cyclones and the Polar Front Theory of Atmospheric Circulation. **Geof. Publ.**, **3(1)**, 3-18.
- BRASIL; MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. Instrução Normativa nº 36, de 04 de dezembro de 2020. Estabelece procedimentos e critérios para a decretação de situação de emergência ou estado de calamidade pública pelos municípios, estados e pelo distrito federal, e para o reconhecimento federal das situações de anormalidade decretadas pelos entes federativos e dá outras providências. Diário Oficial da União, 2020. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-n-36-de-4-de-dezembro-de-2020-292423788>. Acesso em: 10 de abril de 2021.
- BROOKS, H. E.; DOSWELL III, C. A.; KAY, M. P. Climatological estimates of local daily tornado probability for the United States. **Weather and Forecasting**, v. 18, n. 2, p. 626–640, 2003.
- BROWING, K. A., 1985. Conceptual Models of Precipitation Systems. **Meteorological Magazine, Bracknell**. Eng. 114(1359):293-319.

CAMPOS, C. R. J. EICHHOLZ, C. W., Características físicas dos sistemas convectivos de mesoescala que afetaram o Rio Grande do Sul no período de 2004 a 2008. **Revista Brasileira de Geofísica**. v29 n.2, 2011.

CARDOZO, Amanda Balbino et al. CLIMATOLOGIA DE FRENTES FRIAS NA AMÉRICA DO SUL E SUA RELAÇÃO COM O MODO ANULAR SUL (CLIMATOLOGY OF COLD FRONTS OVER SOUTH AMERICA AND ITS RELATION WITH THE SOUTHERN ANNULAR MODE). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 17, 2015.

CARDOSO, Leticia Karyne da Silva. **Aspectos climáticos das posições da zona de convergência intertropical e dos anticiclones semipermanentes do Atlântico Sul e do Pacífico Sul: relações com regimes de chuva no nordeste do Brasil**. Dissertação de Mestrado em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 2019.

CARDOSO, C. de S.; QUADRO, Mário F. L. de; BONETTI, C.. Persistência e Abrangência dos Eventos Extremos de Precipitação no Sul do Brasil: Variabilidade Espacial e Padrões Atmosféricos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, n. AHEAD, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786352031>.

CARVALHO, L. M. V; JONES, C.; LIEBMANN, B. The South Atlantic convergence zone: Intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. *Journal of Climate*, v. 17, p. 88–108, 2004.

CAVALCANTI, I. F. A.; KOUSKY, V. E. Parte I - **Sistemas meteorológicos que afetam o tempo na América do Sul: Frentes frias sobre o Brasil**. In: CAVALCANTI, Iracema Fonseca de Albuquerque; FERREIRA, Nelson Jesus; SILVA, Maria Gertrudes Alvarez Justi da; SILVA DIAS, Maria Assunção Faus da Silva dias (Org.). *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 135-147.

CHARNEY, J. G., 1947: The dynamics of long waves in a baroclinic westerly current. **J. Meteor.**, **4**, 135–162.

CLARKE, Leo C.; RENARD, Robert J. The US Navy numerical frontal analysis scheme: Further development and a limited evaluation. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 5, n. 6, p. 764-777, 1966.

Climanálise: **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**. São José dos Campos: INPE, 1996-2013. Mensal. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/>. Acesso em 19/04/2022.

DARE, Richard A.; MCBRIDE, John L. The threshold sea surface temperature condition for tropical cyclogenesis. **Journal of climate**, v. 24, n. 17, p. 4570-4576, 2011.

DEGOLA, T.S.D. **Impactos e Variabilidade do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul sobre o Brasil no Clima Presente e em Cenários Futuros**

Dissertação de Mestrado em Meteorologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 92 p., 2013.

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

Decker, Mark, Michael A. Brunke, Zhuo Wang, Koichi Sakaguchi, Xubin Zeng, Michael G. Bosilovich, 2012: Evaluation of the Reanalysis Products from GSFC, NCEP, and ECMWF Using Flux Tower Observations **J. Climate**, **25**, 1916-1944 (DOI: 10.1175/JCLI-D-11-00004.1).

DE CAMPOS, Cláudia Rejane Jacondino; DOS SANTOS, José Guilherme Martins. Climatologia sazonal dos Jatos de Baixos Níveis na região metropolitana de Porto Alegre, no período de 1989 a 2003, utilizando dados de radiossondagens. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 30, n. 2, p. 82-91, 2007.

DYER, R. Rastros de Tornados no Sudoeste do Brasil, Leste do Paraguai e Nordeste da Argentina. **SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, p. 602, 1986.

DOSWELL, C. A. A review for forecasters on the application of hodographs to forecasting severe thunderstorms. **Natl. Wea. Dig**, v. 16, n. 1, p. 2-16, 1991.

DURKEE, Joshua D.; MOTE, Thomas L. A climatology of warm-season mesoscale convective complexes in subtropical South America. **International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 30, n. 3, p. 418-431, 2010.

DUTRA, Livia Márcia Mosso. **Ciclones subtropicais sobre o Atlântico Sul: análise da estrutura dinâmica de eventos**. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

ESCOBAR, J. C. G.; SELUCHI, E. S.; ANDRADE, K. Classificação Sinótica de Frentes Frias Associadas a Chuvas Extremas no Leste de Santa Catarina (SC). **Revista Brasileira de Meteorologia**. V. 31, n. 4, p. 649-661, Fev. 2016.

ESCOBAR, Gustavo Carlos Juan; VAZ, João Caetano Mancini; REBOITA, Michelle Simões. Circulação Atmosférica em Superfície Associada às Friagens no Centro-Oeste do Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências-UFRJ**, v. 42, p. 241-254, 2019.

FERREIRA, V; ANABOR, V. Climatologia De Sistemas Convectivos De Mesoescala Ocorridos Sobre a América Do Sul No Período De 2005 a 2006. **Ciência e Natura** vol. 37, n. 1, p. 17-21, 2015.

FEDOROVA, N. **Meteorologia sinótica**, Pelotas: UFPEL, 1999, v.1.

FEDOROVA, N; CARVALHO, M. H. Processos sinóticos em anos de La Niña e de El Niño. Parte II: Zonas frontais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 15, n. 2, p. 57-72, 2000.

GALVIN, J.F.P. The weather and climate of the tropics: Part 7 - Tropical revolving storms. **Weather**, v. 63, p. 327-333, 2008.

GAN, M. A.; RAO, V. B. Surface cyclogenesis over south america. **Montly Weather Review**, v. 119, p. 1293 - 1302, 1991.

GUIA, CVF. **Análises das características sinóticas das trajetórias dos ciclones extratropicais que atuam na América do Sul e Vizinhanças**. Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011.

GOZZO, L.F.; DA ROCHA, R.P.; REBOITA, M.S.; SUGAHARA, S. Subtropical Cyclones over the Southwestern South Atlantic: Climatological Aspects and Case Study. **Journal of Climate**, v. 27, p. 8543-8562, 2014.

GRAY, W.M. Global view of the origin of tropical disturbances and storms. **Monthly Weather Review**, v. 96, p. 669-700, 1968.

HAKIM, G. J. **Cyclogenesis**. Encyclopedia of Atmospheric Science. Edited by James R. Holton, Judith A. Curry and John A. Pyle, Academic Press, San Diego, v. 6, p. 589-594, 2003.

HAAS, R. 2002. **Simulações da chuva orográfica associada a um ciclone extratropical, no Litoral Sul do Brasil**, Tese de Doutorado do DCA – IAG – USP, São Paulo – SP, dezembro de 2002.

HAMILTON, M. G.; TARIFA, J. R. Synoptic aspects of a polar outbreak leading to frost in tropical Brazil, July, 1972. **Mon. Weather Rev.**, v.

HART, R. E. A cyclone phase space derived from thermal wind and thermal asymmetry. **Monthly Weather Review**, v. 131, p. 585–616, 2003.

HASTENRATH, S. Climate and circulation of the tropics. New York Atmospheric Sciences Library, 1985. 455 p

HEWSON, T. D., 1998: Objective fronts. **Meteor. Appl.**, 5, 37–65.

HOUZE Jr, R. A. 1993. **Mesoscale convective systems**. In: HOUZE Jr, R. A. (ed.) Cloud Dynamics. Academic Press, Inc., v. 53, p. 334-404.

HOSKINS, B.J.; HODGES, K.I. A new perspective on southern hemisphere storm track. **Journal of Climate**, v. 18, p. 4108- 4129, 2005.

ITO, E. R. K.; AMBRIZZI, T. Climatologia da posição da alta subtropical do atlântico sul para os meses de inverno. In: **XI CONGRESSO LATINOAMERICANO E IBERICO DE METEOROLOGIA, 2000**, Rio de Janeiro. A Meteorologia Brasileira além do ano 2000. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2000. p. 860-865.

JUSTI DA SILVA, M. G. A; SILVA DIAS, M. A. F. A Frequência de Fenômenos Meteorológicos na América do Sul: uma Climatologia. In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2002**, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu: SBMET, 2002.

KOUSKY, V. E. Frontal Influences on Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, n. 107, pp. 1140-1153, 1979.

KOUSKY, VERNON E. Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 3, n. 1, p. 217-231, 1988.

KANNENBERG, C. **UMA VISÃO AMPLIADA SOBRE OS JATOS DE BAIXOS NÍVEIS NA AMÉRICA DO SUL**. Dissertação de Mestrado em Meteorologia - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA, Santa Maria, 2019.

MACHADO, L. A. T., e W. B. ROSSOW. Structural characteristics and radiative properties of tropical cloud clusters. **Mon. Wea. Rev.**, 121, 3234–3260, 1993.

MADDOX, R. A. Mesoscale convective complexes. **Bull. Amer. Meteor. Soc.**, 61, 1374– 1387, 1980.

MARENGO, J. A. et al. Climatology of the low-level jet east of the Andes as derived from the NCEP-NCAR reanalyses: Characteristics and temporal variability. **Journal of Climate**, v. 17, n. 12, p. 2261–2280, 2004a.

MARENGO, J. A. & Soares, W. R.. Episódios de jatos de baixos níveis ao leste dos Andes durante 13-19 de abril de 1999. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 17 (1): 35-52, 2002b.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C.; CULF, A. D. Climatic impacts of “friagens” in forested and deforested areas of the Amazon basin. **J. Appl. Meteorol.**, v. 36, n. 11, p. 1553-1566, 1997c.

MARKS, FRANK D. 2003. State of the Science: Radar View of Tropical Cyclones. **Meteorological Monographs** 3- - 33.

MAIELLO, I., FERRETTI, R., GENTILE, S., MONTOPOLI, M., PICCIOTTI, E., MARZANO, F. S., and FACCANLI, C.: Impact of radar data assimilation for the simulation of a heavy rainfall case in central Italy using WRF–3DVAR, **Atmos. Meas. Tech.**, 7, 2919-2935, <https://doi.org/10.5194/amt-7-2919-2014>, 2014.

MENDES, D. **Regimes de Circulação no Atlântico Sul e sua relação com a localização e intensidade de sistemas activos e com o balanço de vapor na região.** 155 p. Tese de Doutorado em Física – Meteorologia. Universidade de Lisboa, Lisboa, 2006.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. *Climatologia: Noções básicas e climas do Brasil.* São Paulo: Oficinas de Textos, 2007.

MORAIS, Marcos Antônio de; CASTRO, Wagner Antonio Chiba de; TUNDISI, José Galizia. *Climatologia de frentes frias sobre a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), e sua influência na limnologia dos reservatórios de abastecimento de água.* **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, p. 205-217, 2010.

Müller, G. V., and G. J. Berri, 2007: Atmospheric Circulation Associated with Persistent Generalized Frosts in Central-Southern South America. **Mon. Wea. Rev.**, 135, No. 4, pages 1268–1289.

Müller, G. V., and T. Ambrizzi, 2007: Teleconnection Patterns and Rossby Wave Propagation Associated to Generalized Frosts over Southern South America. **Clim. Dyn.**, 29, No. 6, 633-645.

MMA e GIZ. Relatório produto 2: revisão bibliográfica, com foco na Região Sul, referente aos eventos meteorológicos causadores de danos e prejuízos às linhas de transmissão da Eletrosul (LT's) e ao Porto de Itajaí. **Ampliação dos Serviços Climáticos para Investimentos em Infraestrutura (CSI).** Ministério do Meio Ambiente (MMA) e Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). Brasília, DF, 2018.

NASCIMENTO, E. L. Previsão de tempestades severas utilizando-se parâmetros convectivos e modelos de mesoescala: uma estratégia operacional adotável no Brasil? **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.20, n.1, 121-140, 2005.

NASCIMENTO, E. L. **Noções Básicas sobre Tempestades.** ReVOT: Rede Voluntária de Observadores de Tempestade, p. 85, 2010.

NASA. NASA Facts: TRMM Instruments. Disponível em: http://trmm.gsfc.nasa.gov/overview_dir/ceres.html. Acesso em julho de 2015

NERY, Jonas Teixeira. Dinâmica climática da região Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 1, 2005.

OLIVEIRA, A. S. **Interações entre sistemas frontais na América do Sul e convecção na Amazônia.** 1986. 134 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1986.

Oliveira, P.J.; Kruijt, B.; Randow, C.V.; Manzi, A.O.; Waterloo, M. 2001. The Friagem Influence on CO₂ Fluxes in a Forest in Rondonia. In: **Global Change Open Science Conference: Challenges of a Changing Earth**, Book of Abstracts, Amsterdam,

Netherlands, p85.

OLIVEIRA, M. I.; NASCIMENTO, E. L.; KANNENBERG, C. A new look at the identification of low-level jets in south america. **Mon. Wea. Rev.**, 2018.

ORLANSKI, I. A rational subdivision of scales for atmospheric processes. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v 56 n.5, p. 527-530, 1975.

PENNA, A. C. **Avaliação da Passagem de Frentes Frias na Região Sul de Minas Gerais com base em Cartas Sinóticas e Método Objetivo**. 2013.51 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Itajubá, 2013.

PEZZI, Luciano P.; ROSA, Marcelo B.; BATISTA, Nadja NM. A Corrente de Jato sobre a América do Sul. **Boletim Climanálise. CPTEC-Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, Cachoeira Paulista-SP**, 1996.

PINKAYAN, S., 1966: Conditional probabilities of occurrence of wet and dry years over a large continental area. Boulder-CO: Colorado State University, Hydrology Papers, 12.

Polifke da Silva, F. & Justi da Silva, M.G.A. 2010. Chuvas Severas no Município do Rio do Janeiro: Simulação numérica dos casos de 2007. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16, Anais, Belém – PA.

QUADRO M.F.L. **Estudo de Episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul ZCAS sobre a América do Sul**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE - São José dos Campos- SP, 1994.

QUADRO, M.F.L. **Estudo de Vórtices Ciclônicos de Mesoescala associados à Zona de Convergência do Atlântico Sul. 2012. 141 f. Tese (Doutorado em Meteorologia)** - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

RIEHLI, H., 1969. Jet Streams of the Atmosphere. **Medical Opinion & Review (September)**, 33-50.

RIFE, Daran L. et al. Global distribution and characteristics of diurnally varying low-level jets. **Journal of Climate**, v. 23, n. 19, p. 5041-5064, 2010.

REBOITA, M.S.; IWABE, C.; DA ROCHA, R.P.; AMBRIZZI, T. Análise de um ciclone semi-estacionário na Costa Sul do Brasil associado a bloqueio atmosférico: o Evento de 02 a 06 Maio de 2008. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24,n.4, p. 407-422, 2009.

REBOITA, M.S., Gan M. A., da Rocha R. P., Ambrizzi T. Regimes de Precipitação na América do Sul: Uma Revisão Bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 25(2):185-204, 2010.

REBOITA, M; KRUSCHE, N; AMBRIZZI, T; ROCHA, R. Entendendo o tempo e o clima na América do Sul. **Terra e Didática**, Campinas, v. 8, p. 34-50, 2012.

REBOITA, M.S.; DIAS PINTO, J.R.; DUTRA, L.M.M.; DA ROCHA, R.P. Synoptic Analysis of Subtropical Cyclones over the South Atlantic Ocean. In: **PASI on Atmospheric Processes in Latin America and the Caribbean: Observations, Analysis, and Impacts**. 27 de maio a 07 de junho de 2013, Cartagena, Colômbia.

REBOITA, Michelle Simões et al. Ciclones em Superfície nas Latitudes Austrais: Parte I-Revisão Bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 2, p. 171-186, 2017.

RENARD, Robert J.; CLARKE, Leo C. Experiments in numerical objective frontal analysis. **Monthly Weather Review**, v. 93, n. 9, p. 547-556, 1965.

ROCHA, F. P.; ARAVÉQUIA, 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, p. 141-156, 2016.

RODRIGUES, Maria Laura Guimarães; FRANCO, Davide; SUGAHARA, Shigetoshi. Climatologia de frentes frias no litoral de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 22, n. 2, p. 135-151, 2004.

RODRIGUES, Maria Laura G.; YNOUE, R.; ALVES, Maikon Passos. Episódios de chuva intensa na região da grande Florianópolis/SC: análise preliminar dos eventos e caracterização sinótica. **Fourth Simp. Int. de Climatologia**, 2011.

RODRIGUES, Maria Laura Guimarães. **EVENTOS DE CHUVA OROGRÁFICA EM SANTA CATARINA: CLIMATOLOGIA E SIMULAÇÕES NUMÉRICAS**. 2015. 113 f. Tese Doutorado - Curso de Meteorologia, Departamento Ciências Atmosféricas do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

ROZANTE, José Roberto et al. Combining TRMM and surface observations of precipitation: technique and validation over South America. **Weather and forecasting**, v. 25, n. 3, p. 885-894, 2010.

SAHA, Suranjana, et. al., 2010: The NCEP Climate Forecast System Reanalysis **Bull. Amer. Meteor. Soc.**, 91(8), 1015-1057 (DOI: 10.1175/2010BAMS3001.1).

SAHA, Suranjana, at. al., 2014: The NCEP Climate Forecast System Version 2. **J. Climate**, 27, 2185-2208.

SAULO J. Ruiz e Y. G. Skabar, 2007. Synergisms between the Low-Level Jet and Organized Convection at Its Exit Region. **Mon. Wea. Ver.**, 135 1310-1326

SATYAMURTY, P.; MATTOS, L. F. Climatological Lower Tropospheric Frontogenesis in the Midlatitudes due to Horizontal Deformation and Divergence. **Monthly Weather Review**, 117, n. 6, p. 1355-1364, 1989

SATYAMURTY, Prakki; NOBRE, Carlos A.; SILVA DIAS, Pedro L. South America. In: Meteorology of the southern hemisphere. **American Meteorological Society**, Boston, MA, 1998. p. 119-139.

SANTOS, Caio F. dos. **A Enchente em Itajaí (SC): Relatos, Percepções e Memórias**. Dissertação de Mestrado Profissional em Planejamento Territorial e Desenvolvimento Socioambiental, FAED – UDESC, 2010.

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

SILVA DIAS, M.A. 1996. Complexos convectivos de mesoescala sobre a região sul do Brasil. In: **Climanálise Especial: Edição Comemorativa de 10 anos**, Cachoeira Paulista, MCT/INPE/ CPTEC, p.173-179

SILVA, L. J; REBOITA, M. S; ROCHA, R. P. Relação da Passagem de Frentes Frias na Região Sul de Minas Gerais (RSMG) com a Precipitação e Eventos de Geadas. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.14, n. 10, p.232-235, 2014.

SILVA, J. P.R.; REBOITA, M. S.; ESCOBAR, G. C. J. CARACTERIZAÇÃO DA ZONA DE CONVERGÊNCIA DO ATLÂNTICO SUL EM CAMPOS ATMOSFÉRICOS RECENTES. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 25, 2019.

SIMMONDS, Ian; KEAY, Kevin; TRISTRAM BYE, John Arthur. Identification and climatology of Southern Hemisphere mobile fronts in a modern reanalysis. **Journal of Climate**, v. 25, n. 6, p. 1945-1962, 2012.

SUTCLIFFE, R.C. A contribution to the problem of development. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 73, p. 370- 383, 1947.

SCHEMM, Sebastian; RUDEVA, Irina; SIMMONDS, Ian. Extratropical fronts in the lower troposphere—global perspectives obtained from two automated methods. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 141, n. 690, p. 1686-1698, 2015.

STENSRUD, D. J. Importance of low-level jets to climate: A review. **J. Climate**, v. 9, p. 1698-1711, 1996.

TEIXEIRA, M.S.; SATYAMURTY, P. Dynamical and synoptic characteristics of heavy rainfall episodes in southern Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 135, n. 2, p. 598-617, 2007.

TEIXEIRA, Mateus da Silva; SATYAMURTY, Prakki. Trends in the frequency of intense precipitation events in southern and southeastern Brazil during 1960–2004. **Journal of climate**, v. 24, n. 7, p. 1913-1921, 2011.

VELASCO, I. Y.; FRITSCH, J. M. Mesoscale convective complexes in the Americas. **Journal of Geophysical Research**, v.92, 9591–9613. 1987

VERA, C. et al. The south american low-level jet experiment. **Bull. Amer. Meteor. Soc.**, v. 87, p. 6377, 2006.

WITEMAN, C. D.; BIAN, X.; ZHONG, S. Low-Level Jet Climatology from Enhanced Rawinsonde Observations at a Site in the Southern Great Plains. **Journal of Applied Meteorology**, v. 36, n. 10, p. 1363–1376, 1997.

WREGE, M. et al. **Atlas climático da região Sul do Brasil: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. Brasília - DF: Embrapa, 2012.

WMO. World Meteorological Organization. 2022. Environment. Disponível em: <<https://public.wmo.int/en/our-mandate/focus-areas/environment>>, acesso em maio de 2022.

ZIMMERMANN, Diego Fernando Rodriguez; YNOUE, Rita Yuri. **Subtropical jet climatology over south america: climatologia do jato subtropical na américa do sul**. 2017. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

APÊNDICE A - LISTA DE ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS (EMAs) UTILIZADAS

Informações como código, município, localização geográfica e início de operação das estações meteorológicas utilizadas neste estudo.

CÓDIGO DA EMA	MUNICÍPIO	LATITUDE (S)	LONGITUDE (W)	ALTITUDE (m)	INÍCIO DE OPERAÇÃO
A867	Araranguá	-28,931353	-49,49792	2	2008-09-27
A845	Bom Jardim da Serra	-28,126992	-49,47961	1790.38	2007-06-16
A859	Caçador	-26,819156	-50,98552	944.26	2008-03-18
A860	Curitibanos	-27,288624	-50,604283	978.1	2008-03-27
A848	Dionísio Cerqueira	-26,286562	-53,633114	807.54	2008-05-30
A806	Florianópolis	-27,60253	-48,620096	4.87	2003-01-21
A817	Indaial	-26,913704	-49,267978	72.24	2006-07-01
A868	Itajaí	-26,950924	-48,762031	9.76	2010-06-23
A851	Itapoá	-26,081303	-48,641774	6.18	2007-06-05
A863	Ituporanga	-27,41841	-49,646874	479.79	2008-03-03
A841	Joaçaba	-27,169268	-51,558963	767.63	2007-09-19
A865	Lages	-27,802228	-50,335457	952.7	2014-11-05
A866	Laguna	-28,604414	-48,813313	34.36	2008-05-31
A864	Major Vieira	-26,393664	-50,363211	799.58	2009-02-08
A816	Novo Horizonte	-26,406499	-52,850366	943.57	2008-09-19
A870	Rancho Queimado	-27,678507	-49,042027	881	2016-05-30
A861	Rio do Campo	-26,937526	-50,145445	591.67	2008-03-09
A862	Rio Negrinho	-26,248411	-49,580624	856.89	2008-03-21
A857	São Miguel do Oeste	-26,776699	-53,504541	654.51	2008-03-11
A815	São Joaquim	-28,27564	-49,934617	1400.06	2008-04-11
A814	Urussanga	-28,532557	-49,315205	40.56	2008-05-28
A858	Xanxerê	-26,938666	-52,39809	878.74	2008-03-14

APÊNDICE B - PRODUTO DE PRECIPITAÇÃO MERGE DO CPTEC/INPE

O Merge - CPTEC é resultado da combinação de dados de observação de superfície com estimativa de precipitação por satélites sobre o continente da América do Sul (ROZANTE et al., 2010). Este produto foi criado pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Para a geração dos dados do Merge, o CPTEC utilizava as estimativas de precipitação do sensor Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA), que eram produzidas em uma resolução temporal de 3 horas e espacial de 0,25°. As saídas do MERGE são disponibilizadas a partir do ano de 1998, em formato binário com resolução de 20 km (0.1°). As saídas são diárias com cobertura geográfica de 82.8° W-34° W a 52.2°S-12.2°N. No entanto, no ano de 2015 o sensor TRMM foi desativado (NASA, 2015) e o CPTEC começou a gerar o Merge com os dados do GPM (Global Precipitation Measurement) e IMERG (Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM), sensor lançado em 2014 (NASA, 2014). Os dados do Merge com GPM-IMERG são gerados tanto diários (das 12:00 às 12:00 UTC) quanto horários, cobrindo a América do Sul e oceanos adjacentes (90°W-26°W e 57°S06°N). No sítio eletrônico (<http://ftp.cptec.inpe.br/modelos/io/produtos/MERGE/>) é possível o acesso aos dados e mais informações sobre o produto.

APÊNDICE C - LISTA DE EPISÓDIOS DE FRENTES FRIAS DETECTADAS PELO IFF EM 1991

Casos de Frentes Frias detectadas pelo algoritmo com sua respectiva hora inicial e final, data inicial e final, número de horas de atuação da FF, taxa de detecção mínima, média e máxima, Índice de Frente Fria Normalizado (IFFN) médio, Índice de Frente Fria (IFF) máximo, intensidade por categorias (fraco, moderado ou forte) e as áreas de passagem das FFs.

Hora e Data Inicial	Hora e Data Final	Num. Horas	TxMin (%)	TxMed (%)	TxMax (%)	IFFN Med	IFF Max	Intensidade Categoria	Áreas
00Z - 21/01/1991	00Z- 22/01/1991	24	17.6	27.1	39.6	6.9	27.8	MODERADO	AC2, AC3, AL1, AL2, AL3
18Z- 24/01/1991	18Z- 25/01/1991	24	17.1	20.7	23.5	6.0	18.7	MODERADO	AC3, AC5, AL3, AL4
18Z- 04/02/1991	00Z- 05/02/1991	6	17.1	26.7	43.9	5.6	20.2	MODERADO	AC2, AC3, AL2, AL3
12Z- 05/02/1991	18Z- 05/02/1991	6	17.1	27.3	39.6	5.8	9.7	MODERADO	AC3, AC4, AC5, AL3, AL4
00Z- 10/02/1991	18Z- 10/02/1991	18	19.3	25.8	36.9	8.9	21.1	FORTE	AC1, AC2, AL1, AL2
06Z- 12/02/1991	18Z- 12/02/1991	12	23.0	34.5	50.8	6.3	21.5	MODERADO	AC1, AC2, AC3, AC4, AL1, AL2, AL4
00Z- 16/02/1991	06Z- 17/02/1991	30	17.6	25.3	32.1	9.1	38.6	FORTE	AC1, AC2, AL1, AL2
06Z- 21/02/1991	18Z- 23/02/1991	60	17.6	34.1	67.9	5.9	24.4	MODERADO	AC1, AC2, AC3, AC4, AC5, AL1, AL2, AL3, AL4, AL5
00Z- 27/02/1991	00Z- 28/02/1991	24	18.7	27.5	36.9	7.0	33.9	MODERADO	AC1, AC2, AL1, AL2
12Z- 02/03/1991	18Z- 04/03/1991	54	17.6	24.2	41.2	3.9	13.6	FRACO	AC1, AC2, AC3, AC4, AC5, AL1, AL2, AL3, AL4
18Z- 08/03/1991	18Z- 09/03/1991	24	17.1	28.8	43.3	5.7	18.6	MODERADO	AC2, AC3, AC4, AL1, AL2, AL3
06Z- 12/03/1991	18Z- 12/03/1991	12	17.1	25.8	63.1	5.7	16.4	MODERADO	AC1, AC2, AC3, AL1, AL2, AL3

18Z- 19/03/1991	00Z- 21/03/1991	30	17.1	22.5	38.0	7.0	18.5	MODERADO	AC2, AC3, AC5, AL1, AL2, AL3, AL5
00Z- 24/03/1991	18Z- 24/03/1991	18	19.3	36.9	51.9	6.5	13.6	MODERADO	AC2, AC3, AC5, AL1, AL2, AL3
06Z- 25/03/1991	18Z- 25/03/1991	12	17.1	25.9	41.2	5.4	11.7	MODERADO	AC1, AC3, AC4, AC5, AL3, AL4
18Z- 30/03/1991	06Z- 01/04/1991	36	17.6	29.7	52.9	4.8	21.4	MODERADO	AC1, AC2, AC3, AC4, AC5, AL2, AL3, AL4
18Z- 01/04/1991	00Z- 03/04/1991	30	17.6	25.8	39.0	5.9	11.6	MODERADO	AC1, AC2, AL2, AL3, AL5
12Z- 03/04/1991	06Z- 04/04/1991	18	19.3	24.2	38.5	8.7	9.5	FORTE	AC3, AC5, AL3, AL4
18Z- 09/04/1991	18Z- 10/04/1991	24	19.8	29.2	44.4	6.6	11.9	MODERADO	AC2, AL2, AL3
00Z- 12/04/1991	18Z- 12/04/1991	18	18.2	28.1	34.8	5.5	11.2	MODERADO	AC2, AL2, AL3
00Z- 17/04/1991	18Z- 18/04/1991	42	17.1	28.8	48.1	7.6	25.7	FORTE	AC1, AC2, AC3, AC4, AC5, AL1, AL2, AL3, AL4
18Z- 22/04/1991	06Z- 24/04/1991	36	20.9	33.7	61.0	8.4	10.8	FORTE	AC2, AC3, AC5, AL2, AL3
06Z- 03/05/1991	06Z- 04/05/1991	24	20.9	32.3	58.8	8.1	12.7	FORTE	AC2, AC3, AL1, AL2, AL3
18Z- 04/05/1991	18Z- 05/05/1991	24	18.7	27.4	34.2	6.1	21.4	MODERADO	AC3, AC4, AC5, AL4, AL5
12Z- 12/05/1991	00Z- 13/05/1991	12	17.1	20.9	35.3	6.4	11.4	MODERADO	AC2, AC3, AC5
12Z- 22/05/1991	18Z- 23/05/1991	30	18.2	23.4	29.9	4.7	14.9	MODERADO	AC4, AL3, AL4, AL5
12Z- 28/05/1991	12Z- 30/05/1991	48	17.1	23.1	31.6	6.5	25.8	MODERADO	AC1, AC2, AL1, AL2, AL3
00Z- 05/06/1991	00Z- 07/06/1991	48	17.1	24.8	39.6	5.8	24.2	MODERADO	AC1, AC2, AC3, AC4, AC5, AL1, AL2, AL3, AL4
06Z- 11/06/1991	18Z- 12/06/1991	36	19.3	30.9	48.7	3.7	20.7	FRACO	AC2, AC3, AL1, AL2, AL3, AL4, AL5

00Z- 14/06/1991	00Z- 15/06/1991	24	18.2	31.9	50.8	3.0	16.4	FRACO	AC2, AL1, AL2, AL3
06Z- 20/06/1991	06Z- 21/06/1991	24	18.2	29.8	43.9	4.1	24.8	FRACO	AC2, AC3, AC5, AL3, AL4
18Z- 21/06/1991	18Z- 23/06/1991	48	18.2	28.3	42.2	5.3	20.8	MODERADO	AC1, AC2, AC3, AC4, AC5, AL1, AL4, AL5
06Z- 26/06/1991	00Z- 28/06/1991	42	17.1	24.5	55.6	6.5	20.4	MODERADO	AC1, AC2, AC3, AC5, AL1, AL2, AL3
12Z- 01/07/1991	00Z- 04/07/1991	60	17.1	27.8	58.3	3.5	9.3	FRACO	AC1, AC2, AC3, AC4, AC5, AL1, AL2, AL3, AL4, AL5
00Z- 09/07/1991	18Z- 11/07/1991	66	17.1	26.7	57.8	7.3	17.3	MODERADO	AC1, AC2, AC3, AC4, AC5, AL1, AL2, AL3, AL4, AL5
18Z- 19/07/1991	12Z- 20/07/1991	18	18.7	28.6	42.8	9.1	10.1	FORTE	AC1, AC2, AC3, AL2
18Z- 27/07/1991	06Z- 28/07/1991	12	18.7	21.6	29.9	5.8	8.9	MODERADO	AC1, AL1, AL2
18Z- 30/07/1991	12Z- 02/08/1991	66	17.1	28.2	60.4	7.7	32.9	FORTE	AC1, AC2, AC3, AC4, AC5, AL1, AL2, AL3, AL4, AL5
18Z- 04/08/1991	06Z- 05/08/1991	12	17.1	26.6	48.1	4.3	4.7	FRACO	AC2, AC3, AC5
12Z- 07/08/1991	06Z- 08/08/1991	18	19.3	25.8	36.9	2.2	9.8	FRACO	AC1, AC2, AC3, AC5
00Z- 10/08/1991	18Z- 10/08/1991	18	17.1	19.3	23.5	5.3	11.7	MODERADO	AC4, AL3, AL4
18Z- 19/08/1991	12Z- 20/08/1991	18	17.6	27.7	51.9	4.6	16.0	MODERADO	AC1, AC2, AL1, AL2
06Z-2 2/08/1991	12Z- 23/08/1991	30	17.1	28.2	40.6	6.3	12.9	MODERADO	AC1, AC2, AC3, AL1, AL2
18Z- 24/08/1991	00Z- 26/08/1991	30	18.2	24.2	37.4	6.8	9.4	MODERADO	AC1, AC2, AL2
12Z- 29/08/1991	18Z- 30/08/1991	30	20.3	38.5	63.1	4.7	25.1	MODERADO	AC1, AC2, AL1, AL2, AL3
06Z- 31/08/1991	18Z- 31/08/1991	12	17.6	25.1	41.7	5.0	13.1	MODERADO	AC3, AC5, AL4, AL5

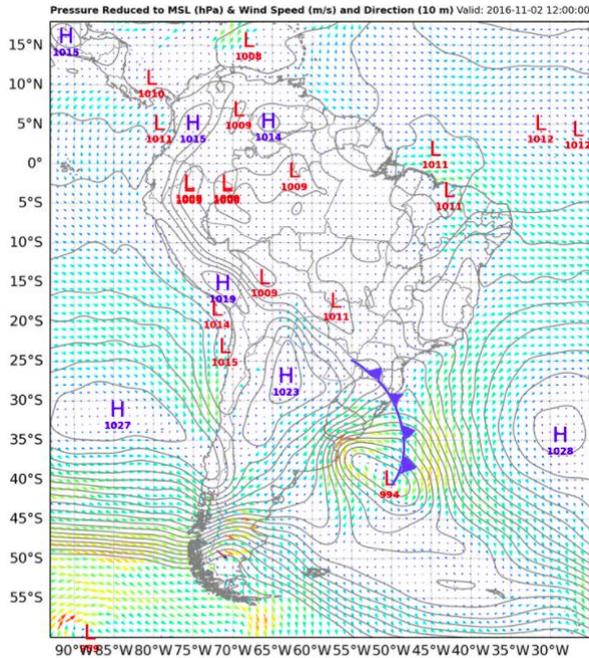
18Z- 05/09/1991	00Z- 07/09/1991	30	19.3	23.5	30.5	8.7	34.2	FORTE	AC2, AC3, AC5, AL1, AL2
00Z- 13/09/1991	18Z- 14/09/1991	42	17.6	27.3	37.4	8.3	32.3	FORTE	AC1, AC2, AC3, AC5, AL1, AL2, AL3, AL4
00Z- 17/09/1991	18Z- 19/09/1991	66	17.1	24.3	40.6	5.3	21.5	MODERADO	AC1, AC2, AC3, AC4, AC5, AL1, AL2, AL3, AL4, AL5
12Z- 21/09/1991	00Z- 23/09/1991	36	17.1	28.2	46.0	6.3	18.5	MODERADO	AC1, AC2, AC3, AC5, AL1, AL2, AL3, AL4
00Z- 27/09/1991	12Z- 28/09/1991	36	18.2	30.0	48.1	6.4	28.3	MODERADO	AC1, AC2, AC3, AC5, AL1, AL2, AL3
18Z- 29/09/1991	00Z- 02/10/1991	54	17.1	27.1	43.3	6.7	20.5	MODERADO	AC1, AC2, AC3, AC4, AC5, AL2, AL3, AL4, AL5
12Z- 05/10/1991	12Z- 07/10/1991	48	17.1	29.7	49.2	6.5	34.6	MODERADO	AC3, AC4, AC5, AL2, AL3, AL4, AL5
12Z- 12/10/1991	06Z- 13/10/1991	18	17.1	25.8	31.6	9.1	27.5	FORTE	AC1, AC2, AL2
00Z- 17/10/1991	18Z- 17/10/1991	18	20.9	24.7	29.9	6.7	13.9	MODERADO	AC4, AL3, AL4, AL5
18Z- 21/10/1991	18Z- 23/10/1991	48	17.1	26.1	36.4	7.9	33.7	FORTE	AC1, AC2, AC3, AC5, AL1, AL2, AL3
12Z- 29/10/1991	18Z- 30/10/1991	30	17.6	22.1	36.9	8.6	17.5	FORTE	AC3, AC5, AL3, AL4
06Z- 31/10/1991	00Z- 01/11/1991	18	17.6	23.3	36.4	5.3	12.6	MODERADO	AC2, AC5, AL5
18Z- 05/11/1991	00Z- 07/11/1991	30	17.6	26.7	44.4	5.9	18.5	MODERADO	AC1, AC2, AC3, AC4, AC5, AL1, AL2
18Z- 09/11/1991	12Z- 11/11/1991	42	17.1	26.1	54.0	7.9	15.5	FORTE	AC2, AC3, AC5, AL2, AL3, AL4, AL5
00Z- 18/11/1991	12Z- 19/11/1991	36	17.1	28.9	43.3	4.8	19.7	MODERADO	AC1, AC2, AC3, AC4, AC5, AL1, AL2, AL3, AL4
18Z- 22/11/1991	12Z- 23/11/1991	18	17.6	31.0	49.2	8.4	38.1	FORTE	AC1, AC2, AL1, AL2

18Z- 26/11/1991	18Z- 27/11/1991	24	21.4	31.3	44.4	8.5	26.7	FORTE	AC4, AL4, AL5
06Z- 29/11/1991	00Z- 30/11/1991	18	20.9	31.9	48.7	7.8	16.7	FORTE	AC2, AC3, AC5, AL2, AL3
12Z- 30/11/1991	18Z- 01/12/1991	30	18.2	29.8	48.1	6.3	14.2	MODERADO	AC4, AC5, AL1, AL2, AL4, AL5
00Z- 11/12/1991	00Z- 12/12/1991	24	17.6	24.8	42.8	8.8	16.7	FORTE	AC2, AC3, AL3
06Z-1 3/12/1991	18Z- 13/12/1991	12	17.1	21.0	26.2	6.8	19.2	MODERADO	AC1, AL1, AL2, AL4, AL5
18Z- 24/12/1991	00Z- 26/12/1991	30	17.1	31.6	55.6	8.4	30.2	FORTE	AC1, AC2, AC3, AL2, AL3
12Z- 26/12/1991	00Z- 27/12/1991	12	17.6	25.3	38.5	7.0	20.3	MODERADO	AC4, AC5, AL4

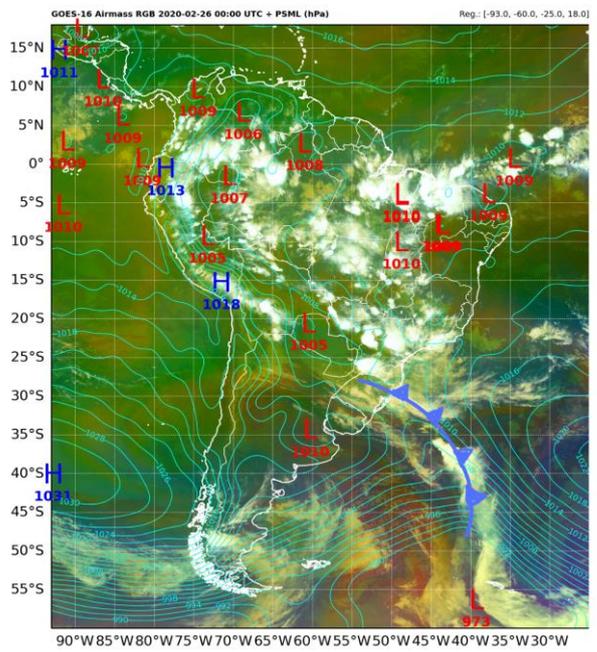
APÊNDICE D - ALGUNS CAMPOS METEOROLÓGICOS UTILIZADOS NA ANÁLISE SINÓTICA DOS CASOS 02, 14, 40 E 43.

Pressão Reduzida ao Nível Médio do Mar (hPa) , velocidade (m/s) e direção do vento a 10 m: a) Primavera - caso 014 e c) Outono - caso 043. Imagem de satélite GOES-16 com Pressão Reduzida ao Nível Médio do Mar (hPa): b) Verão - caso 040 e d) Inverno - caso 002.

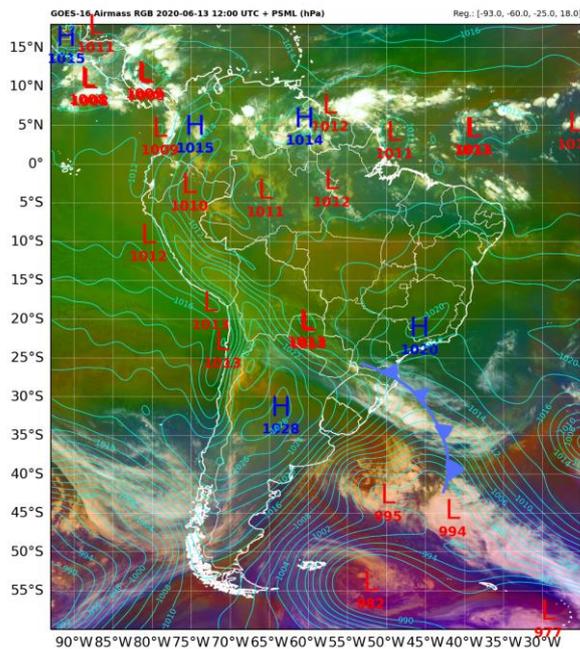
a)



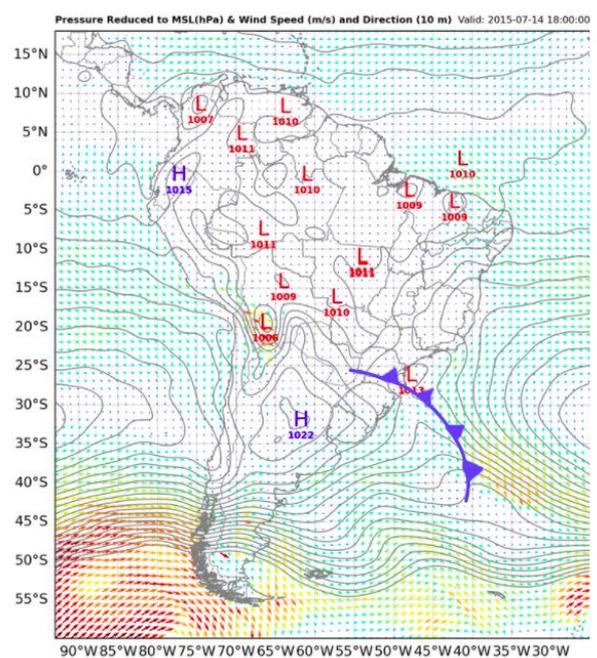
b)



c)

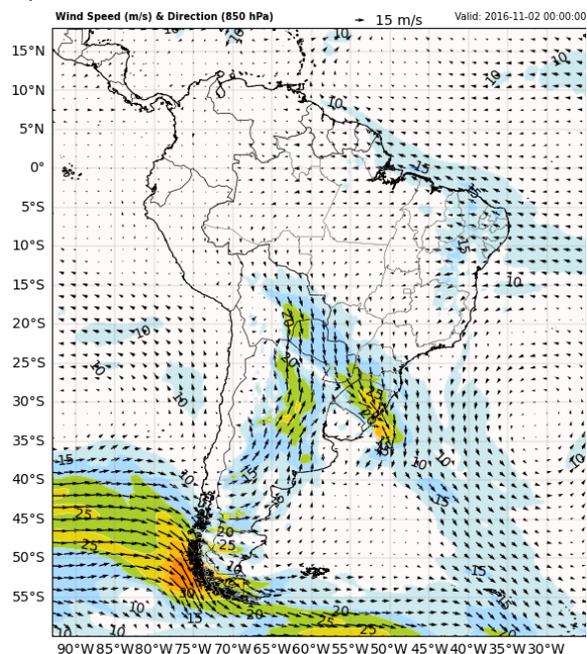


d)

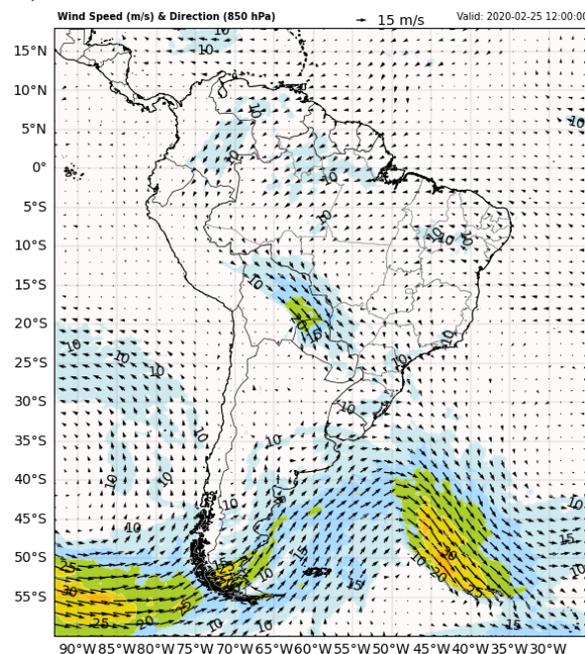


Velocidade e direção do vento em 850 hPa - Onde nos 4 casos se observa o fluxo do JBN. a) Primavera - caso 014; b) Verão - caso 040; c) Outono - caso 043; d) Inverno - caso 002.

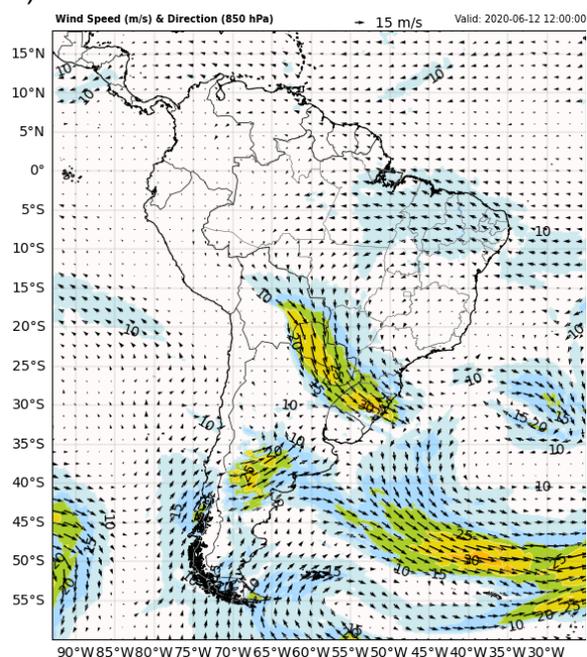
a)



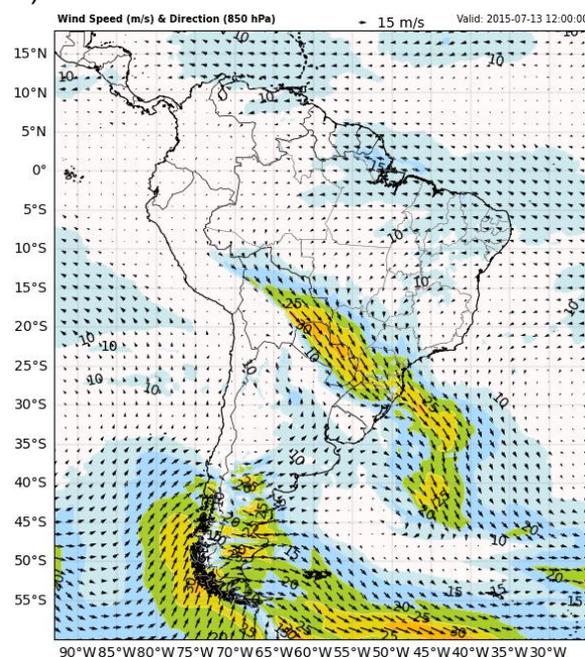
b)



c)

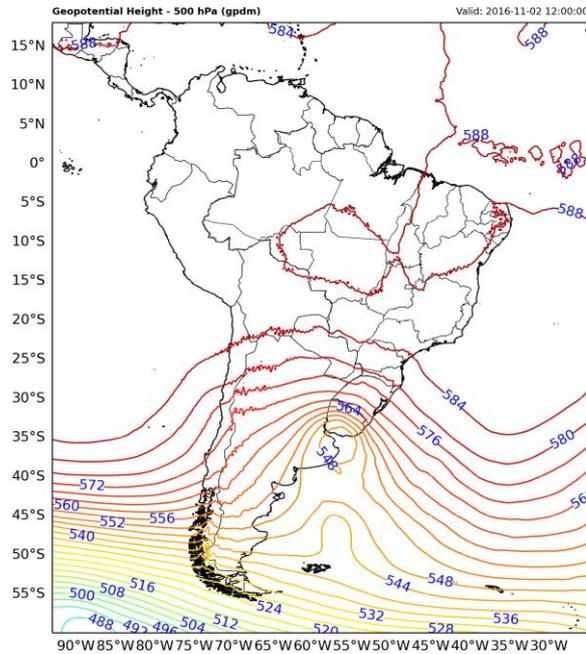


d)

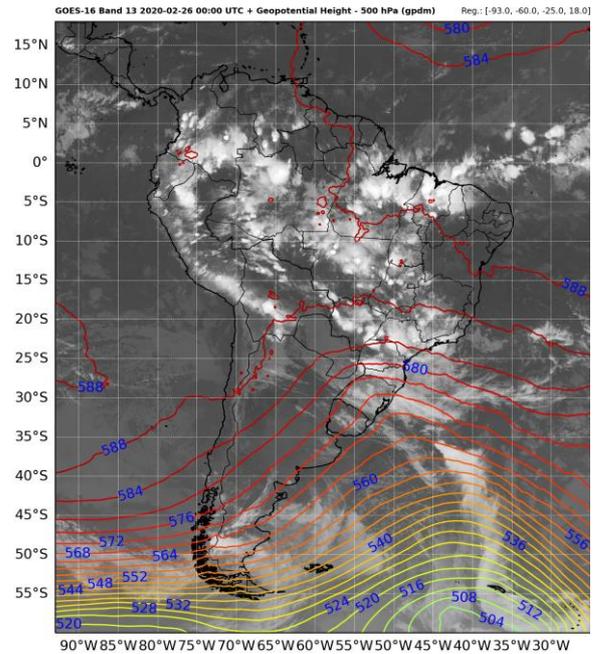


Altura Geopotencial (gpdm) em 500hPa dos quatro casos a) Primavera - caso 014 b) Verão - caso 040 - c) Outono - caso 043 c) Inverno - caso 002.

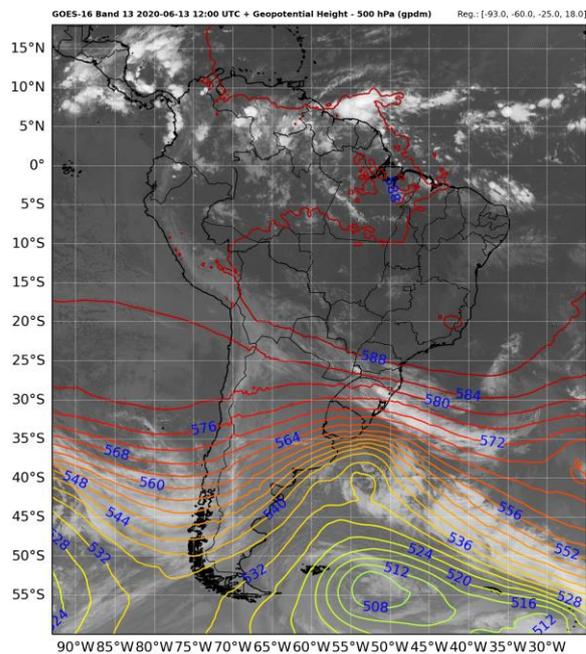
a)



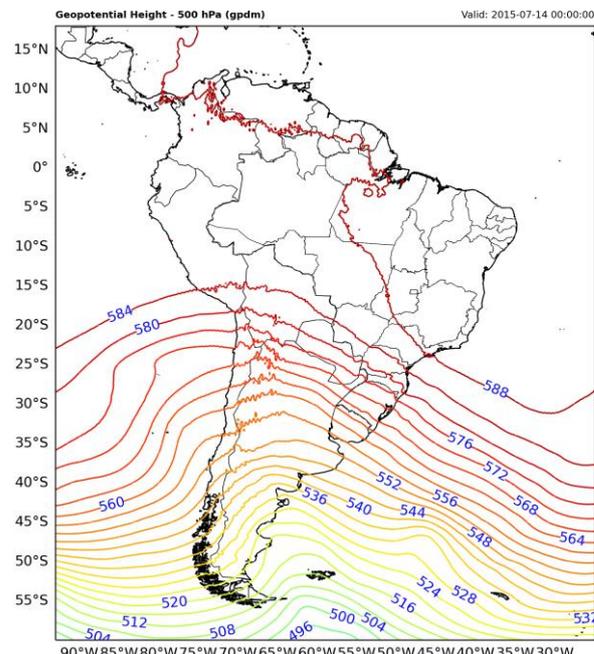
b)



c)



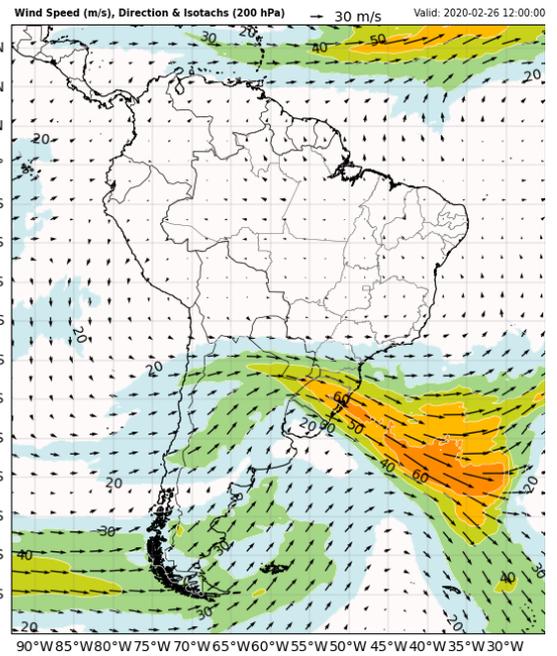
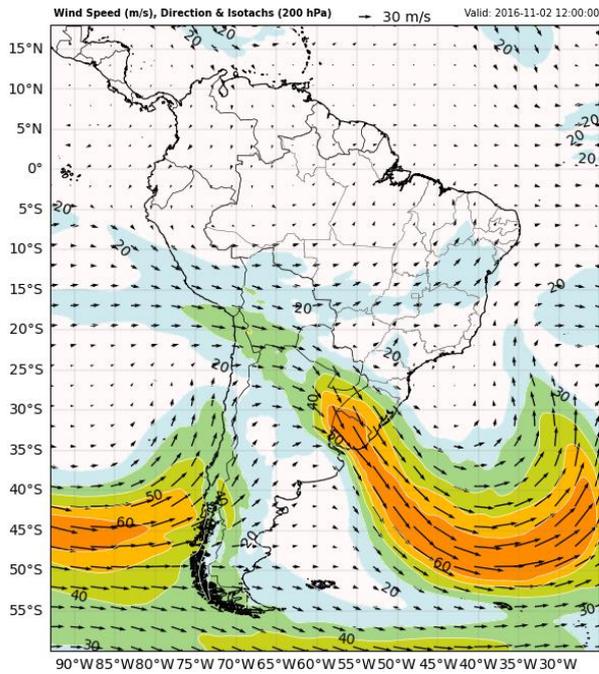
d)



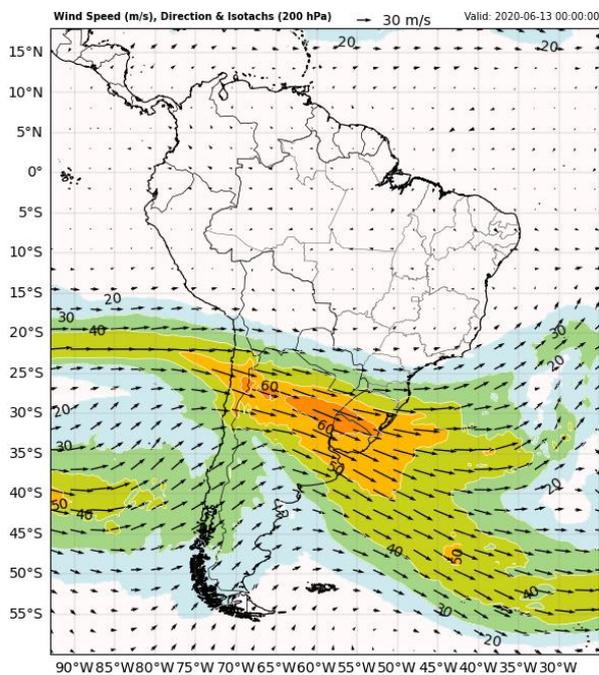
Velocidade e direção do vento em 200 hPa - Onde nos 4 casos se observa o fluxo do JST. a) Primavera - caso 014 b) Verão - caso 040 c) Outono - caso 043 d) Inverno - caso 002.

a)

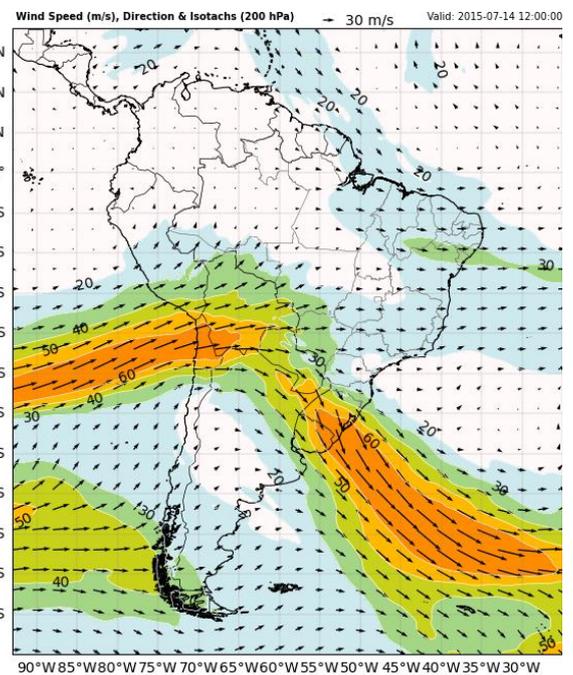
b)



c)



d)



As Figuras acima foram feitas com base na Atividade Pré-Curso – Programação em Python para Aquisição, Processamento e Visualização de Dados de Modelos de Previsão Numérica do Tempo e no curso *Processamento de Dados de Satélites Geoestacionários com Python* do CPTEC/INPE.

Disponível em: <<https://geonetcast.wordpress.com/2021/07/05/>>