



Ministério da  
**Ciência, Tecnologia  
e Inovação**



## **CLIMATOLOGIA SINÓTICA DE EVENTOS EXTREMOS DE CHUVA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

Bruna Leticia Andrade

Relatório de Iniciação Científica do  
programa PIBIC, orientado pelo Dr.  
Gustavo Carlos Juan Escobar.

INPE  
São José dos Campos  
2023



Ministério da  
**Ciência, Tecnologia  
e Inovação**



## **CLIMATOLOGIA SINÓTICA DE EVENTOS EXTREMOS DE CHUVA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

Bruna Leticia Andrade

Relatório de Iniciação Científica do  
programa PIBIC, orientado pelo Dr.  
Gustavo Carlos Juan Escobar.

INPE  
São José dos Campos  
2023

## RESUMO

Eventos extremos são fenômenos que apresentam um desvio significativo dos valores médios observados para uma certa região. Quanto aos eventos extremos de chuva (EEC), referem-se a precipitações intensas que podem estar acompanhadas de agravantes como ventos fortes e granizo. A região sul do Brasil é bastante propícia para a ocorrência desses eventos, com destaque para o Rio Grande do Sul (RS), onde não raramente são noticiados desastres em áreas rurais e urbanas associados a tempestades. O estado do RS está localizado na região subtropical e está sujeito a influência tanto das massas de ar polar, quanto das advindas da região tropical. Sistemas meteorológicos de escala sinótica e sub-sinóticas, como as frentes frias, ciclones e cavados baroclínicos, são causadores notáveis de EEC. Desta forma, torna-se necessário uma boa compreensão e um reconhecimento ágil dos fatores que favorecem os EEC e, portanto, a caracterização do perfil atmosférico relacionado a esses episódios. Este trabalho elabora uma climatologia sinótica dos eventos extremos de chuva utilizando os dados de precipitação diária de estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) no intervalo de tempo de 1979-2021. Os casos foram selecionados a partir do método dos percentis, tendo como referência o percentil 99%, que apresenta valores limiares entre 51,70 mm de precipitação diária (em Porto Alegre) e 71,67 mm (em São Luiz Gonzaga). Posteriormente, é feita a composição dos casos utilizando dados diários de reanálise do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts Reanalysis 5 (ERA5) para variáveis em baixos, médios e altos níveis. Foi observado no padrão de pressão a nível médio do mar, obtido a partir do composto de EEC na cidade de Porto Alegre, a presença de um cavado acentuado sobre o litoral sul do Brasil que passa sobre a cidade. Ainda pelo campo de pressão nota-se que o gradiente de pressão é uniforme no sul do Brasil, implicando em ventos menos intensos sobre o estado. Analisando a composição de casos do campo de umidade relativa em 850 hPa vemos valores superiores a 50% em todo território do Rio Grande do Sul. A análise apresentada tem como objetivo identificar quais sistemas meteorológicos possuem maior significância estatística na ocorrência de EEC no Rio Grande do Sul através do estudo de sua climatologia em escala sinótica, permitindo melhorar sua previsibilidade.

Palavras-chave: Rio Grande do Sul. Chuva intensa. Climatologia sinótica.

## ABSTRACT

Extreme events are phenomena characterized by a significant deviation from the mean values observed to a certain region. As for extreme precipitation events (EEC), they are remarkable for intense rain along with aggravating factors such as intense wind and hail. The south region of Brazil is very likely to experience these events, especially Rio Grande do Sul (RS), where disasters in rural and urban areas associated with storms are frequently reported. The state of RS is located at a subtropical region and is subject to the influence of the polar air mass as much as the air mass arising from the tropical region. Synoptic and sub synoptic scale meteorological systems like cold fronts, cyclones and baroclinic trough, are known causes of extreme precipitation events. Therefore, it's important to understand and quickly recognize factors that are favorable to the EEC, and so the characterization of the atmospheric profile presented in these episodes. This work elaborates a synoptic climatology of extreme precipitation events using daily precipitation data from meteorological stations from Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) in the time interval of 1979-2021. The cases were selected through the percentile method, using the 99% percentile as a reference, with limit values varying from 51,70mm (in Porto Alegre) and 71,67mm of daily precipitation (in São Luiz Gonzaga). Later, the composition method is applied, putting to use daily reanalysis data of multiple variables from the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts Reanalysis 5 (ERA5) for low, mean and high levels. It was noted in the mean sea level pressure pattern, obtained through the composition of EEC in Porto Alegre, an accentuated trough over the south coast of Brazil and reaches the city. It's also noted a uniform pressure gradient in the south of Brazil, indicating that the winds over the state are not so intense by the time of the occurrences. Analyzing the composition of relative humidity at 850 hPa, values higher than 50% are seen through all the Rio Grande do Sul territory. The analysis aims to identify which meteorological systems have a major statistical significance in the occurrence of EEC in Rio Grande do Sul by studying its climatology in synoptic scale, allowing to improve its forecasting.

Keywords: Rio Grande do Sul. Intense rain. Synoptic climatology.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. DADOS E METODOLOGIA.....	3
3. RESULTADOS.....	4
4. CONCLUSÕES.....	8
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	9

## 1. INTRODUÇÃO

Os fenômenos de eventos extremos são caracterizados por apresentarem um desvio dos valores médios observados e estão associados à variabilidade climática, podendo ter sua frequência e intensidade afetadas pelas mudanças climáticas, sendo marcados por secas ou chuvas intensas (Marengo, 2010). No que concerne aos eventos extremos de chuva (EEC), identifica-se uma quantidade torrencial de água em um curto período de tempo, podendo ocorrer a presença de ventos fortes e granizo (Teixeira, 2004). O grande volume de chuva, junto a fatores adversos, como mal planejamento urbano e superfícies de difícil escoamento, podem resultar em enchentes e deslizamentos. Desastres como estes deixam danos significante à população afetada, tanto em aspectos socioeconômicos quanto ambientais (Teixeira, 2009).

O Rio Grande do Sul (RS) é o estado da região sul do Brasil mais frequentemente afetado por tempestades severas, que podem ocasionar a ocorrência de EEC (Dyer, 1994). De acordo com Marengo (2010), os índices pluviométricos apontam o aumento da intensidade e frequência das chuvas no Sul do Brasil no decorrer dos anos. Localizado na região subtropical, umas das características notáveis do estado do RS é a variação bem marcada da temperatura durante o ano. Por outro lado, possui um padrão de distribuição de precipitação equilibrado dentro dos 12 meses, com maior intensidade na região nordeste do estado (Silva, 2019). Devido a sua localização, se encontra sob influência das massas de ar mais frias, vindas da região polar, das massas de ar mais quentes e úmidas oriundas da região tropical, além das massas de ar marítimas. A interação entre as diferentes massas de ar podem resultar em condições favoráveis para esses episódios. Segundo um estudo feito por Rossato (2020), o clima no Rio Grande do Sul pode ser dividido de forma mais minuciosa em quatro subgrupos de clima subtropical. São consideradas as variações de umidade e temperatura em resposta ao grau de influência das diversas massas que atuam no estado, assim como o impacto do tipo de relevo e da maritimidade.

De acordo com Teixeira e Satyamurty (2007), sistemas meteorológicos de escala sinótica e subsinótica são apontados como causadores dos eventos extremos de chuva. Pode-se ter como exemplo as frentes frias (Andrade, 2005; Cavalcanti e Kousky, 2009) que ocorrem com frequência durante todo o ano no sul do Brasil, notáveis pela queda de temperatura e fortes ventos de sul. A interação entre o ar mais frio e denso que avança sobre o ar mais quente e úmido de norte resulta na ascendência do ar quente e maior instabilidade

na região. A intensificação do fluxo de ar quente e úmido pela corrente dos Jatos de Baixos Níveis (JBN) vinda norte também é um fator relevante para que ocorra episódios de EEC (Nascimento, 2005).

Os cavados baroclínicos que atuam na região sul do Brasil também podem ser citados como um fator (Escobar, 2019). Esses sistemas são marcados por um fraco gradiente de temperatura em superfície e um gradiente significativo de umidade. Os cavados baroclínicos são o ramo frio do ciclone extratropical com fraca baroclínia e podem ser notados sobre o Oceano Atlântico.

Booth et al. (2018) afirma que os ciclones extratropicais são uma das causas mais frequentes de precipitações e ventos fortes nas médias latitudes. Associa-se a ocorrência de tempestades a um aumento na disponibilidade de umidade e ao ciclo de vortacidade do ciclone. Uma das características do ciclone extratropical é seu desenvolvimento em zonas de baroclínia que se formam devido ao gradiente de temperatura, ao aumento da magnitude do vento e à formação de nuvens ao redor da baixa pressão (Taljaard, 1972).

Segundo Gozzo et al. (2014), ciclones subtropicais criam um ambiente instável com grande impacto no clima da costa da América do Sul. Trata-se de um sistema de baixa pressão com aspectos tanto extratropical quanto tropical durante o seu desenvolvimento. Durante seu tempo de vida o sistema meteorológico apresenta as condições necessárias para que se tenha convecção e o aquecimento da baixa troposfera.

De forma geral, algumas das características mais relevantes a serem estudadas é a intensificação de um cavado na troposfera média do Oceano Pacífico que se aproxima o continente nos três dias precedentes a ocorrência de EEC, a presença de um sistema de baixa pressão ao norte da Argentina com um dia de precedência a sua ocorrência, o desenvolvimento de um JBN sobre o Paraguai dois dias antes da sua ocorrência e forte convergência de fluxo de umidade sobre a região sul do Brasil no dia anterior ao evento. (Teixeira e Satyamurty, 2007). Visto o impacto desses episódios de chuva extrema nas localidades afetadas torna-se de extrema importância identificar os fatores e traçar o perfil atmosférico associado a eles. Um melhor entendimento desses casos possibilita o refinamento da previsibilidade de EEC, contribuindo para o planejamento de medidas de redução de danos causados à sociedade.

## 2. DADOS E METODOLOGIA

Em um primeiro momento, para obter a climatologia dos padrões sinóticos que estão ligados aos EEC, foi aplicado a análise dos percentis em dados de estações meteorológicas para identificar os dias em que o volume de precipitação diário observado excedem os valores médios observados naquela estação. O método dos percentis tem como objetivo medir o nível de aceitação dos dias com acúmulo elevado de precipitação com base na amostra de dados (Wilks, 2006). Neste projeto, os percentis de interesse calculados foram 90, 95 e 99%. A seleção dos dias a serem analisados foi feita a partir dos valores limiares dos percentis, escolhendo aqueles que apresentam valor diário de precipitação superior aos percentis calculados. Os dados diários são provenientes do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), de estações meteorológicas automática e convencionais espalhadas pela mesorregião do estado do RS, dentro do período de 1979-2021. Entretanto, foram escolhidas apenas estações contendo quantidade de dados com intervalo de 20 anos ou mais, totalizando 27 estações.

A partir da seleção dos dias de ocorrência de EEC foi feita a composição dos casos. Este método permite descrever os aspectos médios dos sistemas meteorológicos e os padrões atmosféricos climatológicos, para encontrar as características comuns aos dias destes episódios. Os dados usados são oriundos do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts Reanalysis 5 (ERA5 - Hersbach et al., 2020). Foram analisados dados diários de variáveis meteorológicas em baixos, médios e altos níveis, com resolução espacial de  $0,25^\circ$  de latitude x  $0,25^\circ$  de longitude. Os campos abrangem a subárea da América do Sul e parte dos Oceanos Atlântico e Pacífico adjacente, com recorte nas coordenadas  $10^\circ\text{N}$  a  $70^\circ\text{S}$  e  $100^\circ\text{W}$  a  $20^\circ\text{W}$ . As variáveis utilizadas seguem na Tabela 1.

**Tabela 1:** Relação de variáveis meteorológicas analisadas.

Variáveis	Níveis
PNMM	-
Temperatura	850 hPa
Umidade Relativa	850 hPa



### 3. RESULTADOS

A análise da precipitação diária foi feita a partir do cálculo dos percentis 90, 95 e 99% e os valores encontrados podem ser vistos na Tabela 2, para as estações automáticas e na Tabela 3, para estações convencionais. Os percentis 90 e 95% apresentaram limiares baixos e abrangem uma grande quantidade de casos, por isso, foi escolhido prosseguir para a etapa seguinte do trabalho empregando o percentil 99%. Nas estações automáticas os valores estão entre 51,01 e 68,98 mm diários, nas cidades de Rio Grande (região sudeste do estado) e Santana do Livramento (região sudoeste), respectivamente. Ressalta-se que estas estações possuem dados de aproximadamente 20 anos, com registros a partir do ano 2000. Já as estações convencionais possuem em média 39 anos de dados entre os anos 1979-2021. Nas estações convencionais os limiares mínimo e máximo do percentil 99% são 51,70 e 71,67 mm diários em Porto Alegre e em São Luiz Gonzaga (região noroeste), respectivamente. Nota-se que a região noroeste do estado possui volumes de precipitação mais altos, os limiares das cidades dentro desta área estão entre 63,40 e 71,67 mm diários, sendo o valor mais baixo em Passo Fundo. As cidades dessa região são caracterizadas por se encontrarem em maior altitude, e por estarem ao Norte do estado, são mais afetadas pelas massas de ar tropical. Por outro lado, a região sudeste é a que possui menores volumes de precipitação, não ultrapassando 58,49 mm diários na cidade de Encruzilhada do Sul. As cidades dessa região se encontram nas planícies do estado e estão mais sujeitas às massas de ar polar. Os resultados obtidos pela análise dos percentis são condizentes com a climatologia do estado (Figura 1), que apresenta um perfil mais chuvoso ao Norte e mais seco ao Sul.

**Tabela 2:** Valores limiares dos percentis das estações meteorológicas automáticas

Cidade	Perc 90	Perc 95	Perc 99	Região
Porto Alegre	13,60	24,40	55,53	RM
Rio Grande	10,40	21,80	51,01	SE
Santa Maria	14,40	28,20	64,04	CENTRO
Santana do Livramento	14,69	28,80	68,98	SW
Santo Augusto	18,80	31,60	65,50	NW

Divisão das regiões do estado do RS: RM é a Região Metropolitana de Porto Alegre; SE é a região Sudeste; SW é o Sudoeste e NW é o Noroeste.

Fonte: Produção da autora.

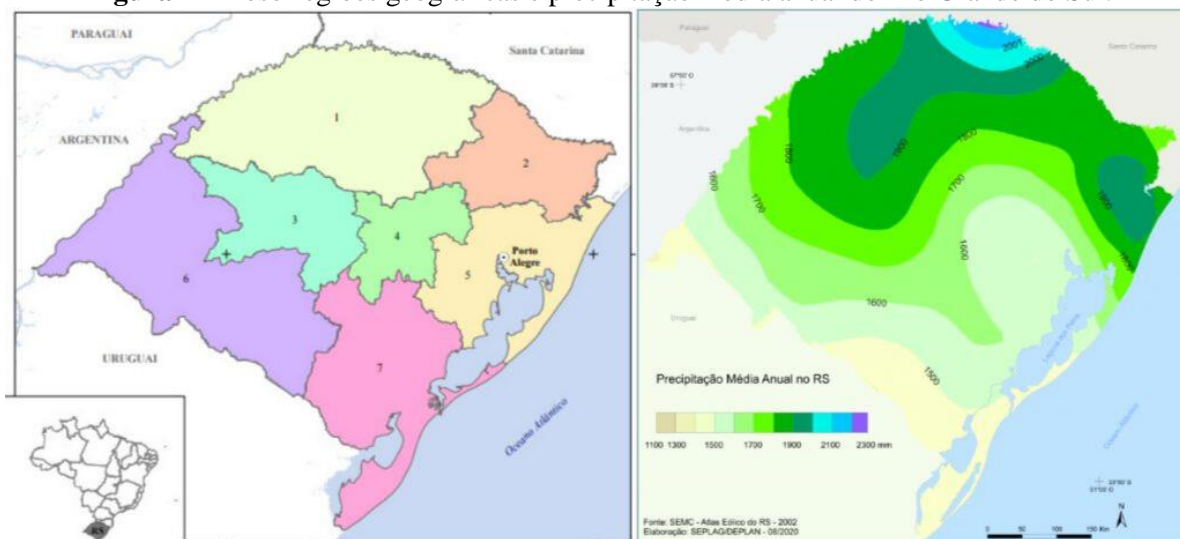
**Tabela 3:** Valores limiares dos percentis das estações meteorológicas convencionais.

<b>Cidade</b>	<b>Perc 90</b>	<b>Perc 95</b>	<b>Perc 99</b>	<b>Região</b>
Bagé	14,17	26,80	60,57	SW
Santana do Livramento	13,02	27,56	59,49	
Uruguaiana	12,60	26,61	61,10	
Encruzilhada do Sul	15,40	28,40	58,49	SE
Pelotas	12,20	24,40	53,14	
Rio Grande	11,00	22,40	52,00	
Santa Vitória do Palma	10,30	22,00	52,00	
Santa Maria	16,40	30,60	62,40	CENTRO
Campo Bom	15,60	26,48	53,22	RM
Porto Alegre	13,90	25,00	51,70	
Torres	13,80	24,42	54,30	
Triunfo	14,37	25,90	53,55	
Cruz Alta	18,50	32,60	69,22	
Ibiruba	16,80	31,20	64,82	NW
Irai	19,50	33,00	64,60	
Passo Fundo	18,50	31,70	63,40	
São Luiz Gonzaga	18,50	34,90	71,67	
Bento Gonçalves	16,70	29,59	59,03	NE
Bom Jesus	16,40	27,25	54,97	
Ca,bara do Sul	17,40	29,20	58,98	
Caxias do Sul	17,10	29,50	56,97	
Lagoa Vermelha	16,51	28,20	55,68	

Divisão das regiões do estado do RS: RM é a Região Metropolitana de Porto Alegre; SE é a região Sudeste; SW é o Sudoeste; NW é o Noroeste e NE é o Nordeste.

Fonte: Produção da autora.

**Figura 1** - Mesorregiões geográficas e precipitação média anual do Rio Grande do Sul.



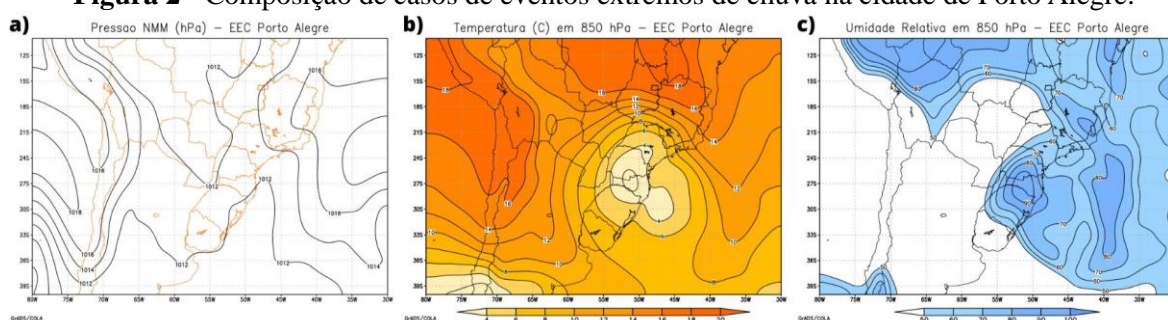
A esquerda: divisão das mesorregiões do estado, onde 1 é o noroeste, 2 é o nordeste, 3 é o centro ocidental, 4 é o centro oriental, 5 é a região metropolitana de Porto Alegre, 6 é o sudoeste e 7 é o sudeste. A direita: mapa da precipitação média anual no estado.

Fonte: FEE; SEMC

As análises das composições foram feitas a partir dos eventos extremos de chuva identificados em Porto Alegre. A cidade é a capital do estado e está localizada à leste, em região de planície, com altitude média de 41 metros. Foram selecionados 158 casos que excedem o valor de 51,70 mm diários, valor do percentil 99% calculado para os dados da estação meteorológica convencional da cidade. No total, a estação meteorológica compreende 42 anos de dados, de 1979-2021.

A Figura 2 mostra a composição de casos das variáveis analisadas para compreender o seu papel na ocorrência de eventos extremos no estado do Rio Grande do Sul. Na Figura 2a, o campo de Pressão a Nível Médio do Mar (PNMM) apresenta um cavado sobre o oceano Atlântico, a leste dos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Esse sistema de baixa pressão está associado com a posição média das frentes frias que passam por essa região. A temperatura em 850 hPa apresenta um amplo núcleo com temperaturas baixas sobre grande parte do centro-sul do Brasil, com um mínimo de 4°C centrado entre os estados de SC e Paraná. Esse comportamento espacial da temperatura está associado com a presença de ar relativamente mais frio nas camadas baixas refletindo a presença do sistema frontal descrito anteriormente. Nesse mesmo nível, nota-se valores de umidade relativa do ar superiores a 70% concentrados entre o centro-norte do RS e SC, sendo um fator favorável para que haja precipitação.

**Figura 2 - Composição de casos de eventos extremos de chuva na cidade de Porto Alegre.**



Campos da composição de casos para as seguintes variáveis: a) Pressão à nível médio do mar (hPa); b) Temperatura (°C) em 850 hPa; c) Umidade relativa (%) em 850 hPa.

Fonte: Produção da autora.

## 4 CONCLUSÕES

O trabalho apresentou um estudo dos eventos extremos de chuva no estado do Rio Grande do Sul, selecionando os casos pelo método dos percentis e analisando o campo espacial de diferentes variáveis por meio do método de composição de casos. Para a análise dos percentis foram consideradas as 27 estações meteorológicas espalhadas por todo o estado que possuíam dados suficientes para ser feita a climatologia dos casos. Considerando o percentil 99%, os valores limiares encontrados variam entre 51,70 e 71,67 mm por dia, e a região noroeste do estado é a que possui valores mais elevados de precipitação.

A análise de composição de casos foi feita especificamente na cidade de Porto Alegre, onde foram definidos 158 casos com volume diário de precipitação superior ao percentil 99%. As composições das variáveis apontam a passagem de uma frente fria sobre o Rio Grande do Sul, posicionando-se a leste do Estado no dia da ocorrência do evento extremo de chuva.

Por fim, o nível de 850 hPa mostra a presença de ar mais frio e mais úmido sobre uma ampla área que cobre os estados do RS e de SC. Esta característica reflete o comportamento baroclínico do sistema frontal que favorece a ocorrência de chuva volumosa na área de estudo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, K. M. Climatologia e comportamento dos sistemas frontais sobre a América do Sul. 2005. 187p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2005. Disponível em: <http://mtc-m16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/>. Acesso em: 17 julho 2023.

BOOTH, J. F.; NAUD, C. M.; JEYARATNAM, J. Extratropical Cyclone Precipitation Life Cycles: A Satellite-Based Analysis. *Geophysical Research Letters*, 2018. v.45, ed.16, p.8647-8654. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/>. Acesso em: 25 julho 2023.

CAVALCANTI, I. F. A.; KOUSKY, V. E. Frentes frias sobre o Brasil. *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p.317-335.

DYER, R. A. A review of tornado activity in Brazil: International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Rio de Janeiro, 1994. Trabalho completo, São José dos Campos: INPE, 1994. v.30, p.203-213.

ESCOBAR, G. C. J. Classificação Sinótica Durante a Estação Chuvosa do Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências*, Rio de Janeiro, 2019, v.42, ed.2, p.421-436. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/>. Acesso em: 25 julho 2023.

GOZZO, L. F.; ROCHA, R. P.; REBOITA, M. S.; SUGAHARA, S. Subtropical cyclones over the southwestern South Atlantic: Climatological aspects and case study. *Journal of Climate*, 2014. v.27, p.8543-8562. Disponível em: <https://journals.ametsoc.org/view/journals/>. Acesso em: 29 julho 2023.

HERSBACH, H. et al. 'The ERA5 global reanalysis', *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 2020, v.146, p.1999-2049.

MARENGO, J. A. Mudanças Climáticas e Eventos Extremos no Brasil. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável - FBDS, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: [http://www.fbds.org.br/cop15/FBDS\\_MudancasClimaticas](http://www.fbds.org.br/cop15/FBDS_MudancasClimaticas). Acesso em: 17 julho 2023.

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*, São José dos Campos, 2005, v.20, n.1, p.121-140. Disponível em: <https://moodle.ufsc.br/pluginfile.php/>. Acesso em: 25 julho 2023.

ROSSATO, M. S. Os climas do Rio Grande do Sul: Uma Proposta de Classificação Climática - UFRGS, Porto Alegre, 2020, v.11, n.22. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/entre-lugar/article/>. Acesso em: 29 julho 2023.

SILVA, T. M. Precipitação em Rio Grande - RS (1913-2016): Análise descritiva e da variabilidade. Dissertação (Mestrado em Geografia) - FURG, Rio Grande, 2019.

Disponível em: <https://sistemas.furg.br/sistemas/sab/arquivos/>. Acesso em: 23 maio 2023.

TALJAARD, J. J. et al. *Meteorology of the Southern Hemisphere*. Boston: The American Meteorological Society, 1972. 272 p. v.13.

TEIXEIRA, M. S. *Atividade de Ondas Sinóticas Relacionadas a Episódios de Chuvas Intensas na Região Sul do Brasil*. 2004. 121 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2005. Disponível em: <http://mtc-m16.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/>. Acesso em: 29 julho 2023.

TEIXEIRA, M. S. *Caracterização Física e Dinâmica de Episódios de Chuvas Intensas nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil*. 2009. 167 p. Dissertação (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2010. Disponível em: <http://mtc-m16c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/>. Acesso em: 29 julho 2023.

TEIXEIRA, M. S; SATYAMURTY, P. *Dynamical and Synoptic Characteristics of Heavy Rainfall Episodes in Southern Brazil*. 2005. *Monthly Weather Review*, v.135, p.598-617.

WILKS, D. S. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. 2.ed. London: Academic Press, 2006. 627p. v.91. ISBN 978-012-751966-1.