

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO  
AMBIENTAL

DIEYSON PELINSON

**DIAGNÓSTICO DA SECA 2019/2020 NO ESTADO DO RIO GRANDE  
DO SUL**

PORTO ALEGRE

2023

DIEYSON PELINSON

DIAGNÓSTICO DA SECA 2019/2020 NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito à obtenção do grau de mestre.

Orientador: Fernando Mainardi Fan

PORTO ALEGRE

2023

### CIP - Catalogação na Publicação

Pelinson, Dieyson  
Diagnóstico da Seca 2019/2020 no Estado do Rio  
Grande do Sul / Dieyson Pelinson. -- 2023.  
111 f.  
Orientador: Fernando Mainardi Fan.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do  
Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas,  
Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e  
Saneamento Ambiental, Porto Alegre, BR-RS, 2023.

1. Seca. 2. Índices de Seca. 3. Rio Grande do Sul.  
I. Mainardi Fan, Fernando, orient. II. Título.

DIEYSON PELINSON

DIAGNÓSTICO DA SECA 2019/2020 NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito à obtenção do grau de mestre.

Aprovado em: Porto Alegre, 25 de janeiro de 2023.

---

Prof. Dr. Fernando Mainardi Fan – IPH/UFRGS  
Orientador

---

Prof. Dr. Anderson Luis Ruhoff – IPH/UFRGS  
Examinador

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Débora Missio Bayer – UFSM  
Examinadora

---

Dr<sup>a</sup>. Amanda Wajnberg Fadel – FEPAM/RS  
Examinadora

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradecer aos meus pais Doraci e Lucimar, pela vida, pelo exemplo pelos ensinamentos e pelo apoio desde sempre. Sem vocês nada disso seria possível.

Ao meu irmão Dionatan pela amizade em todos os momentos, que me mostra que nunca vou estar sozinho.

A minha noiva Mayara pelo amor e paciência ao longo desse período, por entender minhas ausências e me apoiar para chegar onde cheguei, e com a certeza de que juntos chegaremos ainda mais longe.

Aos demais familiares que sempre torceram por mim, especialmente para meus afilhados Lucas, Lorenzo e Joaquina, que sempre foram uma torcida mais que especial.

Ao meu orientador Fernando Fan pelos ensinamentos, paciência e principalmente amizade, que se estende da graduação até hoje.

Aos professores do Instituto de Pesquisas Hidráulicas, que mesmo em meio a uma pandemia, não mediram esforços para manter a qualidade do ensino, além da amizade e carinho conosco, respeitando as individualidades de cada um nesse processo.

Aos meus amigos da vida que sempre torceram por mim. Aos meus amigos e colegas da Defesa Civil de Santa Catarina pelo apoio diário, torcida e acolhimento.

À CAPES pela bolsa concedida, que auxiliou para a conclusão desta etapa.

Simplesmente obrigado.

## RESUMO

A seca é um fenômeno natural que ocorre devido a deficiência prologada na precipitação pode se estender por longos períodos de tempo. O estado do Rio Grande do Sul é constantemente atingido por esse tipo de evento, afetando diferentes setores da sociedade, como o fornecimento de água para a população e a agricultura, sendo uma das principais fontes econômicas do estado. Os anos de 2019 e 2020 se caracterizaram pela ocorrência de um evento de seca extremo no Rio Grande do Sul, onde dos 497 municípios do estado, 394 emitiram decretos de situação de emergência devido à seca. Nesse contexto, apresenta-se nesse trabalho um diagnóstico do evento de seca 2019/2020 no estado do Rio Grande do Sul, através de dados sistemáticos e não-sistemáticos, com o objetivo de avaliar a ocorrência dos diferentes tipos de seca (meteorológica, hidrológica, agrícola e socioeconômica) no evento e avaliar sua progressão, assim como verificar alguns fatores que levaram a ocorrência desse evento extremo. Foram utilizados neste estudo dados sistemáticos para as diferentes variáveis, como precipitação (INMET, CEMADEN e INPE), temperatura (INMET), vazão (CPRM) e vegetação (MODIS). Calculou-se o Índice de Precipitação Padronizado (SPI), Índice de Vazão Padronizado (SSI) e o Índice de Vegetação Padronizado (SVI) para avaliação dos tipos de seca atingidos pelo evento. Ainda, foram utilizados dados midiáticos e governamentais para a caracterização dos efeitos da seca ao longo do tempo. Os resultados mostraram que, segundo os índices empregados, houve a ocorrência dos diferentes tipos de seca, onde neste evento a progressão entre a seca meteorológica e as secas hidrológica e agrícola foi de um e dois meses, respectivamente, atingindo todas as regiões do estado. Ainda foi observada a ocorrência da seca socioeconômica neste evento, tendo diversos setores da sociedade afetados. Dentre os fatores que levaram a ocorrência deste evento, destaca-se a ocorrência de quatro meses seguidos com precipitação abaixo da média no ano de 2019 (junho, julho, agosto e setembro), fazendo com que as vazões dos principais cursos d'água apresentassem recessão, e temperaturas acima da média no último trimestre de 2019. Ainda vale destacar que não houve a influência do fenômeno ENOS no evento, sendo caracterizado como neutro no período.

Palavras-Chave: seca, Rio Grande do Sul; índices de seca; sistemáticos; não-sistemáticos.

## ABSTRACT

Drought is a natural phenomenon that occurs due to prolonged deficiency in precipitation and can last for long periods of time. The Rio Grande do Sul state is constantly affected by this type of event, affecting different sectors of society, such as the supply of water to the population and agriculture, which is one of the main economic sources of the state. The years 2019 and 2020 were characterized by the occurrence of an extreme drought event in Rio Grande do Sul state, where, of the 497 municipalities in the state, 394 issued emergency decrees due to the drought. In this context, this study presents a diagnosis of the 2019/2020 drought event in the state of Rio Grande do Sul, through systematic and non-systematic data, with the objective of evaluating the occurrence of different types of droughts (meteorological, hydrological, agricultural and socioeconomic) in the event and evaluate its progression, as well as verify some factors that led to the occurrence of this extreme event. Systematic data for different variables, such as precipitation (INMET, CEMADEN and INPE), temperature (INMET), flow (CPRM) and vegetation (MODIS) were used in this study. The Standardized Precipitation Index (SPI), Standardized Outflow Index (SSI) and the Standardized Vegetation Index (SVI) were calculated to assess the types of droughts that occurred by the event. Also, media and government data were used to characterize the effects of drought over time. The results showed that, according to the indices used, different types of drought occurred, where in this event the progression between meteorological drought to hydrological and agricultural droughts was one and two months, respectively, reaching all regions of the state. The occurrence of socioeconomic drought was also observed in this event, with several society sectors affected. Among the factors that led to the occurrence of this event, the occurrence of four consecutive months with below average precipitation in 2019 (June, July, August and September) stands out, causing the flows of the main watercourses to present recession, and above average temperatures in the last quarter of 2019. It is also worth noting that there was no influence of the ENOS phenomenon on the event, being characterized as neutral in the period.

Keywords: drought; Rio Grande do Sul; drought indexes; systematic; non-systematic.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>14</b>
2.1. OBJETIVO GERAL .....	14
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	14
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>15</b>
3.1. SECA E ESTIAGEM.....	15
3.2. ESTUDOS DE SECAS.....	23
3.3. ÍNDICES DE SECA .....	26
3.4. INFORMAÇÕES NÃO – SISTEMÁTICAS PARA ESTUDOS DE SECAS .....	29
3.4.1 Informações Midiáticas e Governamentais .....	31
3.4.2 Percepção Ambiental/Climática.....	32
3.5. EL NIÑO E LA NIÑA E SUA INFLUÊNCIA NAS SECAS NO SUL DO BRASIL 34	
3.6. SECAS NO RIO GRANDE DO SUL .....	39
<b>4. ÁREA DE ESTUDO E O EVENTO DE SECA 2019/2020 A PARTIR DE DADOS NÃO-SISTEMÁTICOS .....</b>	<b>42</b>
<b>5. METODOLOGIA .....</b>	<b>48</b>
5.1. ÍNDICES DE SECA .....	48
5.1.1 Índice de Precipitação Padronizado (SPI).....	49
5.1.2 Índice de Vazão Padronizado (SSI) .....	51
5.1.3 Índice de Vegetação Padronizado (SVI) .....	52
5.2. DADOS UTILIZADOS .....	53
5.2.1 Precipitação .....	53
5.2.2 Temperatura .....	55
5.2.3 Vegetação .....	56
5.2.4 Vazão/Escoamento .....	56
5.3. MÉTODOS .....	58
5.3.1 Análise das variáveis e índices de seca .....	58
5.3.2 Análise temporal do evento .....	59
5.3.3 Análise da ocorrência do fenômeno ENOS .....	59
5.3.4 Análise do evento a partir dos dados não-sistemáticos .....	59
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>60</b>
6.1. PRECIPITAÇÃO.....	60
6.1. TEMPERATURA .....	71
6.2. VEGETAÇÃO .....	73

6.3. VAZÃO/ESCOAMENTO .....	77
6.4. OCORRÊNCIA DO FENÔMENO ENOS .....	87
<b>7. SÍNTESE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>88</b>
<b>8. CONCLUSÕES .....</b>	<b>95</b>
<b>9. RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>96</b>
<b>10. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>97</b>
<b>ANEXO I.....</b>	<b>111</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Caracterização dos tipos de seca em função da duração e dos impactos causados...	18
Figura 2. Séries de precipitação no município de Porto Alegre nos anos de 2019 e 2020 (Fonte: Adaptado de INMET - Estação 83967 (2023)).....	19
Figura 3. Lavoura sendo irrigada em Uruguaiana - RS em dezembro de 2022 (Fonte: Fernando Mainardi Fan). .....	20
Figura 4. Leito do rio Pardo – RS em março de 2020 (Fonte: Fernando Mainardi Fan). .....	21
Figura 5. Reservatório de Itá (Fonte: Fernando Mainardi Fan).....	22
Figura 6. Exemplo de impactos da seca para a CNI (Confederação Nacional das Indústrias) (Fonte: Gerbelli (2021)).....	23
Figura 7. Marcas atingidas em seca históricas no rio Taquari, em Colinas/RS. (Fonte: Faleiro, 2020).....	30
Figura 8. Exemplo de fontes de dados sistemáticos e não-sistemáticos (Fonte: Vanelli et al., 2020).....	31
Figura 9. Características das regiões de variação da temperatura oceânica dos eventos ENOS (Fonte: NOAA (2022)) .....	36
Figura 10. Anomalias de precipitação (mm) médias dos anos de El Niño em relação aos anos neutros de 1981 a 2000 (Fonte: Jacóbsen (2000)).....	38
Figura 11 - Anomalias de precipitação (mm) médias dos anos de La Niña em relação aos anos neutros de 1981 a 2000 (Fonte: Jacóbsen (2000)).....	38
Figura 12 - Notícias sobre estiagens na região de Uruguaiana no Rio Grande do Sul.....	40
Figura 13 - Áreas de ocorrência de eventos de estiagem no período de 1981-2011 (Fonte: Kulman (2014)) .....	41
Figura 14 - Barragem com baixo nível de água em Bagé (Fonte: G1 (2021)).....	42
Figura 15 - Localização do estado do Rio Grande do Sul (Fonte: Autor).....	43
Figura 16 - Precipitação média anual no Rio Grande do Sul (Fonte: Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul, 2020). .....	44
Figura 17 - Relevo do estado do Rio Grande do Sul (Fonte: Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul, 2020).....	44
Figura 18 - Mapa de Uso e Ocupação do solo. (Fonte: Adaptado de MapBiomias (2022). ....	45
Figura 19 - Municípios com decretos de emergência devido à seca/estiagem 2019/2020 (Fonte: Adaptado de Defesa Civil do RS).....	46
Figura 20 - Localização das estações pluviométricas INMET selecionadas (Fonte: Autor)....	54
Figura 21 - Localização das estações meteorológicas INMET selecionadas (Fonte: Autor)...	55

Figura 22 - Localização das estações fluviométricas CPRM selecionadas (Fonte: Autor).....	57
Figura 23 - Comparativo do volume de chuva e normal climatológica em estações do INMET (Fonte: Autor).....	61
Figura 24 - Resultados do SPI-1 para os anos de 2019 e 2020. (Fonte: Adaptado de CEMADEN).....	64
Figura 25 - Resultados do SPI-3 para as estações nos anos de 2019, 2020 e 2021.....	66
Figura 26 - Resultados do SPI-12 para os anos de 2019 e 2020. (Fonte: Adaptado de CEMADEN).....	69
Figura 27 - Resultados do SPI-12 para o ano de 2021. (Fonte: Adaptado de CEMADEN) ....	71
Figura 28 – Anomalia das temperaturas médias mensais das estações INMET no período 2019 e 2020 (Fonte: Autor). ....	72
Figura 29 - Resultados do SVI para os anos de 2019 e 2020. (Fonte: Autor).....	76
Figura 30 – Tipos de vegetação mais afetadas pela seca. (Fonte: Autor). ....	77
Figura 31 - Variação nas vazões na estação 74100000 (Iraí) no período de 2019 a 2021. ....	78
Figura 32 - Variação nas vazões na estação 75230000 (Santo Ângelo) no período de 2019 a 2021. ....	79
Figura 33 - Variação nas vazões na estação 76560000 (Manoel Viana) no período de 2019 a 2021. ....	79
Figura 34 - Variação nas vazões na estação 77500000 (Quaraí) no período de 2019 a 2021....	80
Figura 35 - Variação nas vazões na estação 85642000 (Passo São Lourenço) no período de 2019 a 2021. ....	80
Figura 36 - Variação nas vazões na estação 86510000 (Muçum) no período de 2019 a 2021.	81
Figura 37 - Variação nas vazões na estação 87380000 (Campo Bom) no período de 2019 a 2021. ....	81
Figura 38 - Variação nas vazões na estação 87399000 (Passo das Canoas – Auxiliar) no período de 2019 a 2021. ....	82
Figura 39 - Variação nas vazões na estação 87905000 (Passo dos Mendonça) no período de 2019 a 2021. ....	82
Figura 40 - Resultados do SSI-1 para os anos de 2019 e 2020. (Fonte: Autor).....	86
Figura 41 - Dados de SSI para a Estação 72430000.....	87
Figura 42 - Linha temporal das variáveis no ano de 2019 (Fonte: Autor). ....	92
Figura 43 - Linha temporal do evento pela análise de dados não-sistemáticos (Fonte: Autor). ....	93
Figura 44 - Linha temporal do evento pela análise de dados sistemáticos (Fonte: Autor).....	94
Figura 45 - Precipitação Mensal e Climatologia para as estações INMET.....	112

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Informações não-sistemáticas da estiagem 2019/2020 no estado do Rio Grande do Sul (Fonte: GZH).....	47
Tabela 2 - Classificação do Índice de Precipitação Padronizada (Fonte: adaptado de McKee et al. (1993)). ....	51
Tabela 3 - Intervalos de classes de valores do SVI (Fonte: adaptado de Leivas et al. (2014)).	53
Tabela 4 - Estações Pluviométricas INMET. ....	53
Tabela 5 - Estações Meteorológicas INMET. ....	55

Tabela 6 - Estações Fluviométricas CPRM.....	56
Tabela 7 - Vazões de referência de 85, 90 e 95% para estações fluviométrics no estado.....	78
Tabela 8 - Valores de anomalia da SST (Fonte: Adaptado de NOAA, 2022).....	88

# 1. INTRODUÇÃO

A seca pode ser definida como a ausência prolongada ou deficiência na precipitação em diferentes espaços de tempo, que podem ser de maior ou menor duração, atingindo diferentes setores da sociedade, de acordo com a demanda.

Segundo Wilhite (2000) a seca é consequência da redução da precipitação durante um longo período de tempo, embora outros elementos meteorológicos, tais como a temperatura, ventos fortes e baixa umidade relativa possam influenciar e agravar esses eventos. Ainda segundo o autor, cada ano de seca é único em suas características meteorológicas e impactos causados e, além disso, esse evento é dependente do tempo meteorológico e sua ocorrência se dá em praticamente todos os regimes (Junqueira, 2019).

Estiagens e secas, diretamente relacionadas à redução das precipitações pluviométricas e ao déficit hídrico, respectivamente, estão entre um dos desastres naturais mais frequentes e tidos como um dos maiores problemas nacionais. Esses fenômenos atingem grande extensão territorial e produzem efeitos negativos e prolongados na economia, refletindo amplamente na sociedade. Segundo o Atlas Digital de Desastres no Brasil (CEPED, 2020), constatou-se que 33% das secas no Brasil ocorreram na primeira metade do período analisado (1991 – 2005) e 67% na última metade (2006 – 2019), demonstrando que há uma tendência de aumento nos registros desses eventos.

Secas são eventos difíceis de se identificar e quantificar no espaço e no tempo, o que torna um dos desastres naturais mais complexos (Vicente-Serrano, 2016), por afetarem uma ampla gama de variáveis, sendo ambientais ou econômicas. Para estudar esse fenômeno, diferentes índices foram desenvolvidos ao longo do tempo para monitorar sua severidade, e auxiliar no planejamento e mitigação dos seus impactos.

Os índices de seca assimilam vários anos de variáveis meteorológicas como a precipitação, temperatura do ar, evapotranspiração, escoamento, umidade do solo, entre outros, e assim as combinam a fim de identificar o início de um período de seca (Fernandes, 2009), podendo ser padronizados em escalas temporais e espaciais para permitir a comparação entre diferentes regiões. Destacam-se índices relacionados a precipitação, como o SPI (*Standardized Precipitation Index*), considerado na avaliação de secas meteorológicas; a vazão como o SSI (*Standardized Streamflow Index*), utilizados para definir secas hidrológicas; e a vegetação como o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) e o EVI (Enhanced Vegetation Index), utilizados para verificar secas agrícolas.

O estado do Rio Grande do Sul sofre frequentemente com eventos de seca e estiagens. Valente (2018) ao analisar as precipitações no estado no século XX, constatou que há pelo menos um grande evento de seca a cada dez anos. Gross (2015) destaca, ao analisar anomalias negativas de precipitação, que ocorreu um aumento das áreas afetadas no estado a partir do ano de 2002, com destaque aos anos de 2004 e 2012. Ainda, o Atlas Digital de Desastres no Brasil (CEPED, 2020) traz que no período de 2000 a 2018, o estado do Rio Grande do Sul teve 2.279 ocorrências de seca/estiagem, com mais de 200 mil afetados, impulsionadas principalmente pelos fortes eventos de 2004/2005 e 2011/2012, que são considerados dois dos principais eventos de seca registrados.

Tendo em vista as inúmeras atividades humanas que são influenciadas pelas condições hidrológicas, a agricultura está entre as mais afetadas por alterações, sendo extremamente dependente da precipitação e da temperatura. Como citado por Ayoade (2002), mesmo com grande avanço tecnológico e científico, os fenômenos climáticos extremos, como as estiagens, ainda são importantes variáveis na produção agrícola, e exercem influência não só nos estágios de crescimento das plantas, mas também no armazenamento, transporte e comercialização. Segundo Berlato & Cordeiro (2005), a variabilidade interanual da precipitação pluvial é a principal causa da variabilidade dos rendimentos e da produção agrícola do estado, onde em anos pluviométricos favoráveis, o Rio Grande do Sul é responsável por cerca de 20% da produção de grãos do país, sendo uma das principais atividades econômicas no estado.

Destaca-se ainda o impacto desses eventos no abastecimento humano, devido a diminuição nos níveis dos cursos d'água e reservatórios utilizados com essa finalidade. Com a baixa disponibilidade de água, os municípios acabam por definir diferentes estratégias para tentar contornar o problema, como manobras, rodízio ou racionamento.

O evento de seca registrado a partir de 2019 já se consolida como um dos maiores eventos desse tipo registrados no estado do Rio Grande do Sul. Nota-se isso quando, segundo registros da Defesa Civil - RS, no período 2019/2020, dos 497 municípios do estado, 394 emitiram decretos de situação de emergência devido à seca/estiagem. Ainda, pode-se destacar problemas no abastecimento público, como o caso de Bagé, no sul do estado, onde segundo Soares (2020), a restrição à água era de quinze horas por dia em maio de 2020, ou as perdas na agricultura e agropecuária, que segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) chegaram a 40,4% na produção da soja e 31,8% na de milho, impulsionando uma queda no PIB gaúcho de 3,3% no primeiro trimestre de 2020.

Com isso, demonstra-se a importância de estudos sobre as secas e estiagens no estado do Rio Grande do Sul, para que, a partir das informações e do diagnóstico gerados, possam ajudar a promover um melhor planejamento e gestão dos recursos, sejam eles ambientais ou econômicos. Assim, este estudo surge a partir do grande evento de seca constatado em 2019/2020 e apresenta um diagnóstico completo, contemplando os diferentes tipos de seca, de acordo com a metodologia consolidada desse nível de estudo, para que se tenha a verdadeira percepção dos reais impactos causados, sejam ambientais, sociais ou econômicos.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GERAL**

O objetivo deste trabalho foi realizar um diagnóstico do evento de seca que atingiu o estado do Rio Grande do Sul no período de 2019/2020 através do uso de dados sistemáticos e não-sistemáticos.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Definir os tipos de seca relacionadas a esse evento, através da aplicação de diferentes índices de seca;
- Analisar a progressão ao longo do tempo entre os diferentes tipos de seca;
- Avaliar o comportamento das variáveis que levaram a esse evento extremo;
- Identificar as regiões do estado do Rio Grande do Sul mais afetadas nesse evento;

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Esta sessão apresenta uma revisão de trabalhos relacionados ao tema deste estudo. Inicialmente são apresentados alguns conceitos que contextualizam o tema e introduzidos alguns meios utilizados para diagnóstico em estudos dos fenômenos de secas e estiagens.

Em seguida apresenta-se a influência do fenômeno ENOS no estado do Rio Grande do Sul, e traz um apanhado dos eventos de secas já registrados no estado.

#### **3.1. SECA E ESTIAGEM**

De acordo com Kobiyama (2006), secas são consideradas fenômenos naturais severos, assim como inundações, escorregamentos, entre outros, que são fortemente influenciados pelas características regionais de onde ocorrem. Porém a ocorrência desses fenômenos, junto a ocupação humana, muitas vezes resulta em danos materiais e humanos, e/ou prejuízos sociais e econômicos, assim sendo considerados desastres naturais. No Brasil, foco do presente trabalho, a maior parte dos desastres naturais são conduzidos por processos atmosféricos.

Ainda de acordo com Kobiyama (2006), Burton (1978) sugeriu sete parâmetros para estudos relacionados a esses eventos naturais, diretamente vinculados aos desastres naturais, como a magnitude (alta - baixa), a frequência (frequente - rara), a duração (longa – curta), extensão areal (ampla – limitada), velocidade de ataque (rápida – lenta), dispersão espacial (difusa – concentrada) e espaço temporal (regular – irregular).

Segundo Castro (2003), as estiagens resultam da redução das precipitações pluviométricas, do atraso dos períodos chuvosos ou da ausência de chuvas previstas para uma determinada temporada. Nas estiagens, ocorre uma queda dos índices pluviométricos para níveis sensivelmente inferiores aos da normal climatológica, comprometendo necessariamente as reservas hidrológicas locais e causando prejuízos a agricultura e à pecuária. Embora o fenômeno seja menos intenso que a seca, produz reflexos extremamente importantes sobre a agricultura, por ocorrer com relativa frequência em áreas mais produtivas e de maior importância econômica que as áreas de seca. Assim, os eventos de secas acabam por intensificar os prejuízos já associados a estiagens, devido à falta de precipitações ocorrer por um período maior de tempo.

De acordo com Reckziegel (2007), Gonçalves (2004) traz em seu trabalho a definição de estiagem apresentada no Glossário de Meteorologia da Associação Americana de Meteorologia (AMS), no qual o termo estiagem é definido como um período anormal de tempo seco, suficientemente longo para causar um sério desequilíbrio hidrológico, dependendo das

características normais de precipitação de cada área e das atividades nela desenvolvidas, considerando ainda a estiagem como um período mínimo de quinze dias em que tenha ocorrido um decréscimo da precipitação diária.

Pode-se considerar que a causa para início de eventos de estiagens e secas são iguais, tendo a redução da pluviosidade como causa principal (Castro, 2003), assim, podendo considerar o período de tempo como principal diferença para caracterizar esses eventos, que segundo Kobiyama (2006) a seca é a forma crônica da estiagem.

Ainda, Conti (2008) traz a definição proposta pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), em 1986, para definição de seca: “há seca em uma região quando a precipitação anual for inferior a 60% da normal, durante mais de dois anos consecutivos, em mais de 50% de sua superfície”. Pode-se então considerar seca, quando o fenômeno traz não só o desequilíbrio hidrológico, mas também apresenta consequências no sistema ecológico, econômico e social. Neste trabalho adotou-se a denominação do evento estudado como seca, devido ao período de análise associado.

Já para Roldão e Santos (2014), citado por Silva (2015), a intensidade desses eventos, podem ser classificados quanto aos dias consecutivos secos, onde superiores a sete ou oito dias são considerados fracos, entre nove e doze são de média intensidade e acima de treze podem ser considerados de forte intensidade, podendo causar danos à determinadas culturas.

Para Heim Junior (2002) e Mckee (1995), citado por Santos (2008), a seca é um fenômeno meteorológico muito complexo já que, é difícil determinar seu início e seu fim, pode abranger área extensa, pode durar um longo período e é percebida de maneira diferente em cada setor afetado. Ela pode ocorrer em quase todos os regimes climáticos. Não há uma definição clara e completamente aceita para a seca, contudo, ela está relacionada a um déficit de precipitação por um determinado período de tempo. Ainda segundo Heim Junior (2002), devido ao elevado número de setores afetados pela seca, sua amplitude geográfica, sua distribuição temporal e a demanda humana, se torna difícil o desenvolvimento universal de uma definição para a seca.

Já para Wilhite e Glantz (1985), como citado por Neto (2017), a definição de seca deve ser estabelecida de acordo com as tendências regionais e em função das condições climáticas de cada região, pois o suprimento de água é fortemente dependente delas. As secas, enquanto desastres, não ocorrem em regiões onde as precipitações são reduzidas em caráter permanente, ao contrário, em regiões de secas ocasionais, a sociedade e a biocenose são adaptadas a

precipitações normais, sendo mais vulneráveis as reduções cíclicas das precipitações (Castro, 2003).

Assim, um período com determinada pluviosidade pode ser considerado baixa nos estados do sul do país, mas ser considerada extremamente alta nos estados da região nordeste.

Este tipo de fenômeno geralmente se inicia, quando há um período prolongado de baixas precipitações, podendo se prolongar por meses ou anos, dependendo da região. Ainda, pode ser intensificado quando combinado a outros fatores climáticos, como as altas temperaturas, baixa umidade e ventos fortes.

Segundo Wilhite (2000), eventos de secas destacam-se de outros desastres naturais em alguns aspectos, tendo sua recorrência inevitável, com efeitos lentos e acumulativos, onde seus efeitos podem perdurar por anos, dificultando a determinação de seu início e fim. Ainda destaca que os impactos são não-estruturais, e podem se estender por uma grande área, se comparado aos danos gerados por outros tipos de desastres naturais, tornando mais difícil a quantificação dos seus prejuízos.

A seca é um fenômeno com contornos mal definidos que se desenvolve lentamente no tempo. É resultado de uma acumulação de efeitos ao longo de uma série de intervalos de tempo e não resultam apenas de um acentuado déficit de precipitação em curto período de tempo. O início e o fim de um evento de seca, só poderão ser detectados posteriormente, haja vista que um déficit de precipitação pode não significar uma situação de seca. Destaca-se também, que a ocorrência de chuva durante uma seca em andamento não necessariamente demarcará o final da mesma, pois as precipitações pluviais ocorridas podem não suprir a demanda para a estabilização hídrica do sistema receptor (Vaz, 1993).

De acordo com Neto (2017) as secas podem diferenciar-se entre si sob três parâmetros essenciais: intensidade, duração e extensão espacial. A intensidade refere-se a quanto determinada variável hidrológica está abaixo do considerado normal, a duração ao tempo do início ao fim do evento, e a extensão espacial a área total afetada. O fato de que os eventos de seca têm uma propagação lenta, torna necessário dois ou três meses para o déficit climatológico se estabelecer e ser identificado como um evento de seca (Wilhite et al., 2014).

Gross (2015) cita Ponce (2012), onde analisa que as consequências dos eventos de seca atingem diretamente ou indiretamente vários setores da economia. O autor comenta que o primeiro setor prejudicado é o agropecuário, onde a diminuição de água no solo, ocasiona perdas de produtividade, resultando na descapitalização de agricultores junto a fornecedores de insumo, e a consequente diminuição dos rendimentos no comércio urbano.

Segundo Fernandes (2009), vários autores definiram quatro tipos de seca, dependendo principalmente da temática da abordagem. Porém estas classes não apresentam caráter exclusivo, normalmente um evento apresentando características de diferentes classes. A Figura 1 apresenta um fluxograma com as principais características de cada um dos tipos de seca, como a duração e os impactos causados.

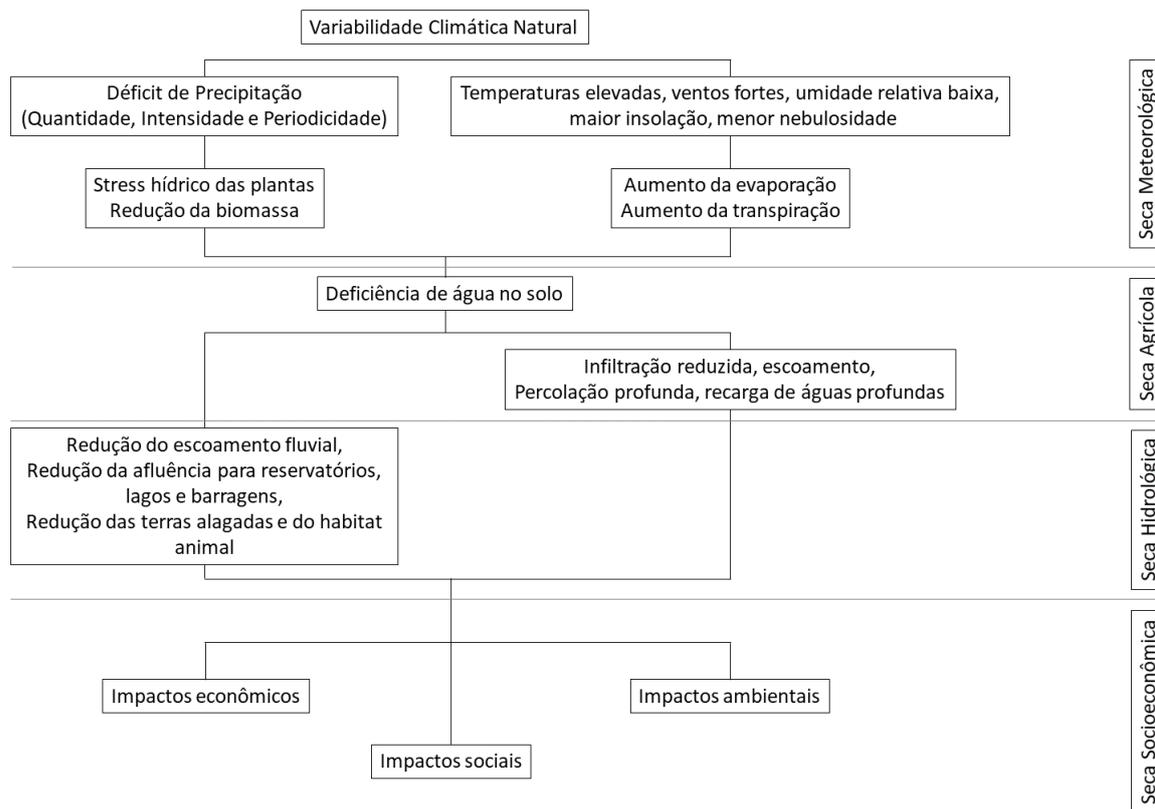


Figura 1. Caracterização dos tipos de seca em função da duração e dos impactos causados.

Fonte: adaptado de Silva (2015).

### *Seca Meteorológica*

A seca meteorológica é expressa apenas com base no grau de secura e na duração do período seco comparados a algum estado “normal”, ou seja, é caracterizada pelo déficit da precipitação em relação ao valor normal. Caracteriza-se pela falta de água induzida pelo desequilíbrio entre a precipitação e a evaporação, a qual depende de outros elementos como a velocidade do vento, temperatura, umidade do ar e insolação (Fernandes, 2009).

Segundo Pires (2003), as secas meteorológicas são específicas de cada região, pois as condições que conduzem à falta de precipitação variam consideravelmente de região para região.

A apresenta esse tipo de evento no município de Porto Alegre – RS, que sofreu uma redução das chuvas nos anos de 2019 e 2020, principalmente no verão. O gráfico apresenta os acumulados esperados de acordo com a normal climatológica da região e os acumulados mensais para o período, onde nota-se o déficit de precipitação.

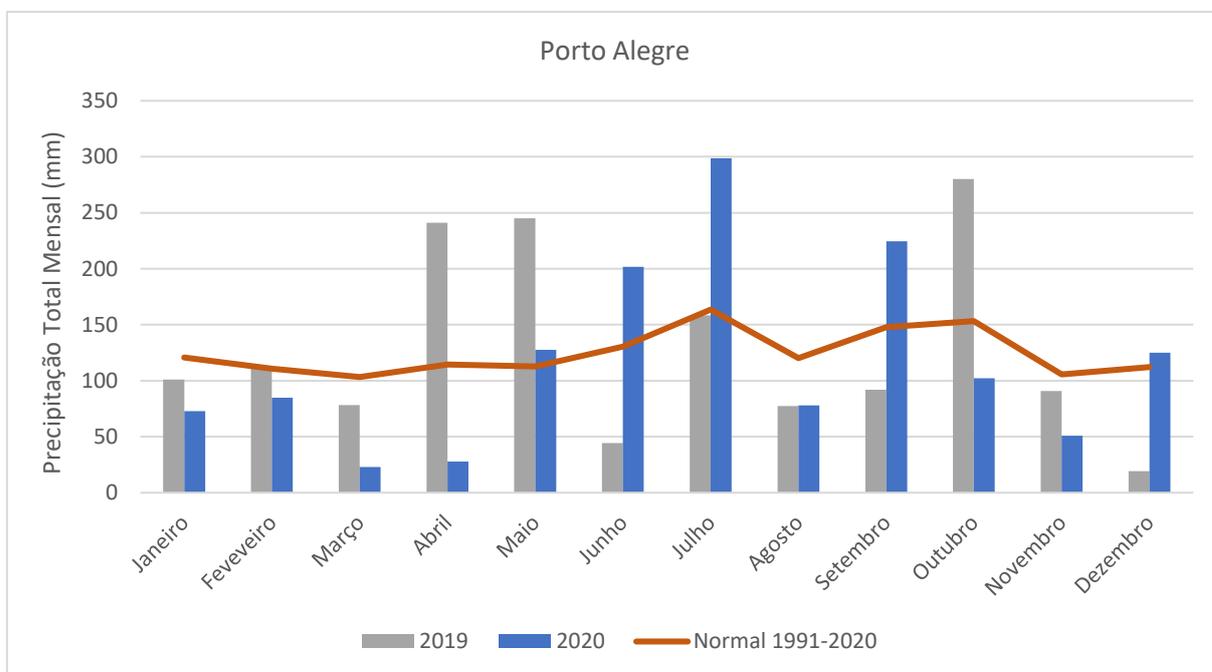


Figura 2. Séries de precipitação no município de Porto Alegre nos anos de 2019 e 2020 (Fonte: Adaptado de INMET - Estação 83967 (2023)).

### *Seca Agrícola*

Seca agrícola está basicamente associada à disponibilidade de água no solo para suportar o crescimento e desenvolvimento das plantas, ou seja, aos impactos que a seca traz sobre a agricultura.

A umidade deficiente no solo junto à cultura pode afetar a germinação, o crescimento e o desenvolvimento da planta, conduzindo à redução do rendimento final. A seca agrícola geralmente manifesta-se após a seca meteorológica, mas antes da seca hidrológica (PIRES, 2003).

A influência da falta de umidade pode se dar em diferentes estágios de crescimento das plantas. Na Figura 3, nota-se que a falta da água atingiu o crescimento das plantas, sendo necessária a irrigação, em lavoura no estado do Rio Grande do Sul, no ano de 2022.



Figura 3. Lavoura sendo irrigada em Uruguaiana - RS em dezembro de 2022 (Fonte: Fernando Mainardi Fan).

### *Seca Hidrológica*

A seca hidrológica é relacionada com a redução dos níveis médios de água, tanto em reservatórios de superfície, quanto subterrâneos, por um determinado período de tempo, variando de dias, semanas e até anos. Normalmente está defasado da seca meteorológica, sendo necessário um período maior para que as deficiências de precipitação se traduzam em deficiências nos reservatórios (PIRES, 2003).

Esse tipo de seca está extremamente ligado a problemas de abastecimento de água em centros urbanos, como mostra a Figura 4, onde nota-se o efeito do período sem chuvas no nível e vazão do rio.



Figura 4. Leito do rio Pardo – RS em março de 2020 (Fonte: Fernando Mainardi Fan).

O efeito da redução de vazão nos cursos d'água, pode prejudicar também os níveis de reservatórios de hidrelétricas, utilizados para fornecimento de energia elétrica, que segundo o Balanço Energético Nacional - BEN (EPE, 2020) esse tipo de geração corresponde a 64% da geração total de eletricidades no Brasil. Como exemplo, na Figura 5 demonstra-se esse efeito no volume do reservatório da Usina de Itá, no estado de Santa Catarina.



Figura 5. Reservatório de Itá (Fonte: Fernando Mainardi Fan).

### *Seca Socioeconômica*

A seca socioeconômica está relacionada com o impacto da seca sobre as atividades humanas, incluindo os impactos diretos e indiretos na produção agrícola e outras atividades econômicas. Ocorre quando o déficit de água induz a falta de bens ou serviços (energia elétrica, alimentos, entre outros) devido a um volume de água inadequado, resultante de uma má distribuição das chuvas, de um aumento no consumo, ou ainda de um mau gerenciamento dos recursos hídricos (Fernandes, 2009).

Os impactos da seca são sentidos em toda a sociedade por um “efeito cascata”. A Figura 6 demonstra uma ideia desse funcionamento, onde a menor disponibilidade hídrica começa a afetar a produção energética, como consequência aumentando o preço da energia, gerando custos extras as indústrias, que em grande parte é repassado para o consumidor final.

## Motivo para preocupação com a crise hídrica

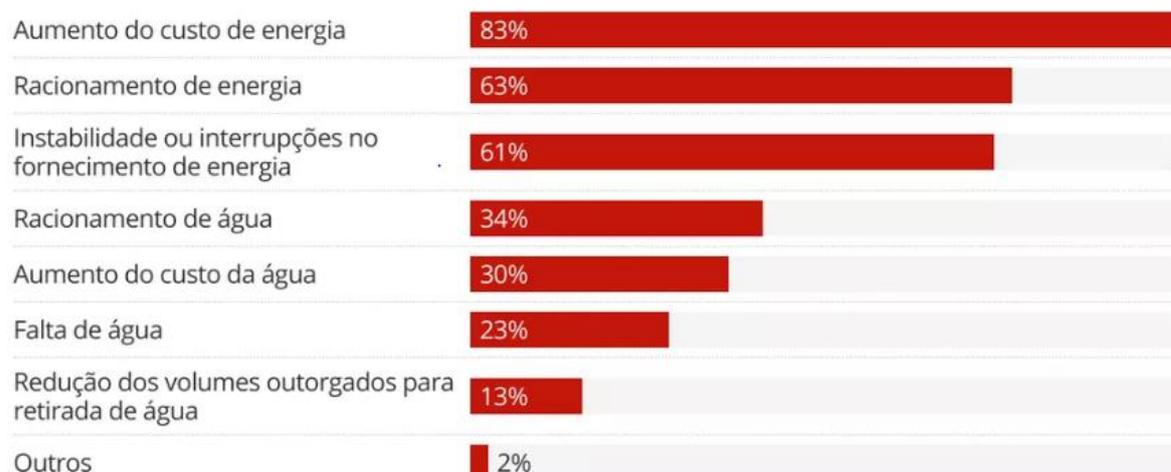


Figura 6. Exemplo de impactos da seca para a CNI (Confederação Nacional das Indústrias) (Fonte: Gerbelli (2021))

Com isso demonstra-se a importância do monitoramento contínuo desse tipo de evento, para avaliação da sua evolução, seja pela intensidade ou áreas atingidas.

No Brasil uma das principais ferramentas de monitoramento das secas é o Monitor de Secas da Agência Nacional de Águas (ANA), que surgiu a partir da seca na região Nordeste do Brasil no ano de 2012, apresenta mapas mensais de categorização das secas em diferentes regiões do país. O grande diferencial do Monitor de Secas é o processo participativo na criação dos mapas mensais da seca, onde são utilizados não apenas dados hidrometeorológicos como base, mas também fonte de informações de diferentes instituições. O Monitor de Secas consiste, portanto, em um processo que conta com a participação e colaboração de instituições de clima e dos setores de recursos hídricos e agricultura dos diversos estados, assim como de instituições federais seletas, visando à identificação do estado de severidade da seca da região em suas dimensões meteorológica, hidrológica e agrícola (Nys et al., 2016).

### 3.2. ESTUDOS DE SECAS

Ao longo dos anos diversos estudos sobre eventos de seca foram desenvolvidos com o intuito de compreender esse fenômeno, e assim, desenvolver métodos para prever e mitigar seus efeitos. Esse tipo de desastre meteorológico e hidrológico já foi identificado em todas as partes do mundo, sendo observado nos mais variados climas e estações do ano.

Fink et al. (2004) analisaram o verão europeu de 2003, tido como um dos mais secos e quentes da história. Através dos dados históricos de estações meteorológicas (temperatura, precipitação e nível) espalhados por toda a Europa, os autores compararam as informações de 2003 com a média histórica, demonstrando ser o terceiro ano com menor precipitação. Ainda,

afirmaram que, comparando-se os níveis do Rio Reno, um importante rio Europeu, esse se encontrava entre os três níveis mais baixos já registrados.

Já Tabari et al. (2011) analisando as precipitações no Irã, demonstraram que desde os anos de 1960 a região oriental do país vem se tornando mais árida, com diminuição nos volumes de precipitação, com destaque para as secas ocorridas em 2000 e 2001. Ainda, identificaram que pelo menos uma seca grave ocorreu na área de cada estação meteorológica analisada, ocorrendo principalmente nos meses de inverno.

Hoerling et al. (2014) avaliaram os fatores responsáveis pela forte seca do verão de 2012 nas planícies dos Estados Unidos. Os autores identificaram que houve redução substancial nas precipitações e aumento nas temperaturas. Ainda identificaram como consequência a diminuição da umidade do solo e da vazão.

Dentre os principais efeitos negativos dos eventos de seca prolongados, pode-se destacar as perdas na agricultura, devido à baixa produtividade, trazendo grandes prejuízos econômicos em diversos países.

Ao analisar as secas em Shandong, na China, Du et al. (2013) verificou a correlação entre a baixa precipitação e a variação da produtividade das culturas agrícolas na região. Os autores representaram esses eventos como uma sequência de acontecimentos, onde se inicia pelo déficit na precipitação, causando uma diminuição na umidade do solo e um aumento na temperatura da superfície, atingindo, como consequência, o crescimento da vegetação.

Ezzine et al. (2014) analisaram eventos de secas meteorológicas e agrícolas, no Marrocos, localizado na região semiárida mediterrânea. Os autores relacionaram a menor produtividade de cereais, fortemente cultivado na região, aos eventos identificados no período estudado. Colaborando a isso, Hunt et al. (2014) e Tian et al (2018) avaliaram os efeitos de uma seca na produtividade agrícola nos Estados Unidos, demonstrando quase o dobro de produtividade em um período onde não se identificou um período de estresse hídrico, assim destacando a forte correlação entre esses fatores.

Para Núñez et al. (2014), que analisaram eventos de seca na região montanhosa do Chile, seus efeitos são intensificados ainda mais quando associados ao uso humano da água. Os autores destacam que o fluxo d'água causado pelo derretimento da neve na Cordilheira dos Andes apresentam forte sazonalidade, sendo que essa é a principal fonte de água para as atividades econômicas, sociais e ambientais da região.

Rose (2011) analisa um período diferente dos demais, onde foca no período pós seca. O autor analisa os efeitos do período seco de longo prazo, de meses a anos, no coeficiente de

escoamento subsequente, na região sudeste dos Estados Unidos. Para isso, utilizaram-se dados de precipitação e de vazão, com enfoque nas grandes secas hidrológicas de 2001 e 2007. O autor analisou período pós eventos de secas, onde a precipitação é considerada dentro do normal. Assim, obteve que dentro de um período de 6 a 12 meses após as chuvas estarem dentro do normal, a produção de escoamento ainda estava 25% abaixo do normal, chegando seus efeitos a até 24 meses. Assim, demonstrando a demora na recuperação dos escoamentos na região, que tem grande impacto na vazão de base.

No Brasil diversos eventos de secas vêm sendo estudados nos últimos anos.

Moreira (2016) analisou a seca no estado Minas Gerais através da correlação entre decretos de emergência, anomalias na precipitação e na vegetação. A autora identificou uma boa relação entre a baixa pluviosidade e as anomalias da vegetação, onde esses períodos corroboraram com o maior número de decretos de emergência devido à seca/estiagem na região.

No nordeste brasileiro, região reconhecidamente afetada por períodos de seca, Carmo (2018) avaliou a dinâmica espaço-temporal das secas na região, demonstrando indícios de que as secas mais severas estão ligadas não só a baixas precipitações, mas a anomalias positivas de temperatura. Enquanto Martins et al. (2015) avaliaram os impactos da seca 2012 – 2015 na região nordeste através de visitas ao Sertão Nordestino. Os autores conseguiram representar a evolução dos tipos de seca na região, que se iniciou com a baixa pluviosidade, que alterou significativamente o escoamento e as reservas de água para abastecimento humano e animal. Por consequência, problemas com a alimentação do gado, devido ao ressecamento do solo e não desenvolvimento do plantil. Por fim, os problemas socioeconômicos causados por esse período, com destaque para a migração para as sedes municipais, e o endividamento dessa população.

Asfora et al. (2017) realizaram um diagnóstico da seca no estado de Pernambuco. Além de informações hidrológicas na região, os autores avaliaram as perdas nos setores agropecuários e de abastecimento, comparando a diminuição na produção em anos considerados secos, utilizando informações de órgãos como o IBGE e agências de planejamento estaduais.

Já na região sul do Brasil, Chagas et al. (2018) avaliaram o tempo de propagação para que o déficit da precipitação seja notado nas vazões. Utilizando informações de chuva e vazão, os autores demonstraram que com dois meses de déficit já é possível notar efeitos na vazão. Ainda afirmaram que no Rio Grande do Sul as secas hidrológicas (por efeitos na vazão) são mais persistentes, podendo ser notada após o primeiro mês com baixa pluviosidade.

A percepção dos efeitos da baixa pluviosidade no volume de água em rios, ou seja, a propagação de um evento de seca meteorológica para uma seca hidrológica pode variar de região para região, como demonstrado por Barker et al. (2016) e Jesus et al. (2020), que destacaram a importância dos aquíferos nesse processo, podendo dar uma sensação de tranquilidade a curto e médio prazos. Os autores demonstraram que o período antecedente de precipitações demora a impactar as vazões em bacias sustentadas por “aquíferos mais produtivos”, podendo ser ligada a chamada vazão de base, que consiste na porção da vazão advinda da descarga de águas subterrâneas de um curso d’água. Collischonn & Fan (2013) propuseram estimar o índice máximo de escoamento de base, que é a razão entre o fluxo de base e a vazão total, relacionando as vazões com permanência de 90% ( $Q_{90}$ ) e 50% ( $Q_{50}$ ). Desse modo podemos definir como “aquíferos mais produtivos” aqueles onde há maior razão entre  $Q_{90}$  e  $Q_{50}$ .

Porém um dos episódios de seca mais importantes da atualidade é a crise hídrica de 2014/2015 no sudeste do Brasil, principalmente em São Paulo. Marengo et al. (2015) destaca que além da questão pluviométrica, que se apresentou abaixo do esperado desde o verão de 2013/2014, o grande crescimento da demanda de água levou aos problemas de abastecimento da região, sendo necessárias obras emergenciais para garantia do abastecimento público na região metropolitana de São Paulo. Os autores ainda destacaram o que chamaram de “círculo vicioso” no ciclo hidrológico, que se prolongou durante 2015, onde a falta de chuva gerou falta de umidade no solo, que provocou falta de chuva.

### 3.3. ÍNDICES DE SECA

As secas podem ser avaliadas, com base em uma série histórica de dados meteorológicos, por meio de índices quantificadores de secas e análises estatísticas. Esses índices diagnosticam os períodos de seca ou umidade em uma área pontual ou regional a partir de equações empíricas. A utilização de índices para quantificar a seca se faz necessária para determinar a intensidade, a duração e a frequência em que essa anomalia ocorre (Fernandes, 2009).

Para Silva (2013) esses índices têm como objetivo sintetizar informações acerca de condições de baixa pluviosidade e os seus efeitos associados, variando em grau de complexidade, desde uma simples medida de seca meteorológica, verificando os desvios de precipitação em relação à normal climatológica, a índices mais complexos, como aqueles que utilizam diversas variáveis, como a relação água-planta e umidade do solo, entre outros, em sua formulação.

Neto (2017) analisou índices de seca para toda a América do Sul, porém utilizando apenas dados obtidos por sensoriamento remoto, como precipitação, umidade do solo e condições de vegetação. O autor demonstrou que através desses dados pode-se identificar a maioria dos eventos de seca registrados. Ainda demonstrou uma forte relação entre os parâmetros analisados, apresentando inicialmente a redução da precipitação, atingindo a umidade do solo e a vegetação, respectivamente.

Fernandes et al. (2009) diferenciam os índices de seca conforme o tipo de seca a ser aplicada. Para identificar a ocorrência de secas meteorológicas os autores identificam principalmente os índices que levam em consideração apenas a precipitação, como o Índice de Porcentagem Normal (*Percent of Normal* - PN), o Índice de Anomalia de Chuva (*Rainfall Anomaly Index* - RAI), e o Índice de Precipitação Padronizado (*Standardized Precipitation Index*), onde o último possui maior notoriedade, sendo recomendado pela Organização Mundial de Meteorologia (WMO) para estudos de seca.

Penaforte (2016) utilizou o índice SPI aplicado em diferentes escalas temporais para análise das secas na Bacia do Rio do Peixe, no estado da Paraíba. Ao analisar o período de 1962 a 2015, o autor demonstrou que todas as escalas empregadas (12, 18, 24 e 36 meses) apresentaram como seca extrema o período de fevereiro de 1981 a fevereiro de 1985, que é considerada uma das maiores secas já registradas no Nordeste. Já Hunt et al. (2014) demonstraram a eficácia do SPI de curto prazo, demonstrando que o SPI 1 mês foi bastante sensível ao início de uma seca repentina. Os autores avaliaram o índice relacionando ao declínio da água do solo e a baixa evapotranspiração em áreas de milho atingidas por evento de seca.

Já para secas hidrológicas destaca-se o Índice de Abastecimento de Água em Superfície (*Surface Water Supply Index* – SWSI) e o Índice de Recuperação de Seca (*Reclamation Drought Index* – RDI), porém ambos necessitam de diferentes variáveis de entrada. Modarres (2007) e Vicente-Serrano et al. (2012) demonstram o Índice de Escoamento Padronizado (*Standardized Streamflow Index* – SSI) que utiliza apenas dados de vazão, tornando o índice mais simples e objetivo.

Jesus et al. (2020) avaliaram o SSI na Bacia Hidrográfica do Rio Doce, no sudeste do Brasil. Os autores compararam os resultados obtidos com o SPI e com o SSI, onde constataram que nem todas as secas meteorológicas apresentadas pelo SPI foram representadas no SSI. Ainda destacaram a defasagem entre a classificação dos dois índices, onde mesmo que a precipitação seja considerada dentro do normal em uma estação do ano, o SSI é classificado

como seco, devido à baixa pluviosidade anterior que resultou em uma baixa recarga subterrânea, refletindo na vazão de base do curso d'água avaliado.

Chagas et al. (2018) avaliaram o tempo de propagação que o déficit na precipitação tem nas anomalias nas águas superficiais utilizando o SSI para a região sul do Brasil. Os autores aplicaram o índice a dados de vazão nos três estados da região, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, e concluíram que com dois meses de seca meteorológica já é possível notar efeitos na vazão em todo o sul do país. Ainda destacaram que as correlações entre os índices padronizados podem ser uma potencial fonte de previsão de secas hidrológicas, principalmente no Rio Grande do Sul.

Para definição de secas agrícolas os autores citam o Índice de Umidade da Cultura (*Crop Moisture Index* – CMI) e o Índice de Estresse Hídrico da Cultura (*Crop Water Stress Index* – CWSI), necessitando de ampla gama de variáveis. Devido a carência de dados medidos em estações de monitoramento, e a crescente disponibilidade de produtos advindos de satélites, surge como opção o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI) e o Índice de Vegetação Melhorado (*Enhanced Vegetation Index* – EVI), que através da análise temporal da cobertura vegetal pode ser usado para identificar o estresse hídrico das plantas, que estão relacionados as secas agrícolas. Ainda o Índice de Vegetação Padronizado (*Standardized Vegetation Index* – SVI) proposto por Peters et al (2002), permite verificar o quanto a cobertura vegetal ficou acima ou abaixo do comportamento normal da vegetação para determinado período, onde essa padronização ainda permite realizar comparações entre diferentes regiões.

Leiva et al. (2014) aplicaram o NDVI e calcularam o índice de vegetação padronizado, para áreas com plantio de soja na região sul do Brasil, compreendendo os estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, no período de 1998 a 2012. Os autores identificaram três períodos críticos (2004/2005, 2008/2009 e 2011/2012), que apresentaram áreas com grande anomalia negativa, que indicou baixo vigor vegetativo. Comparando-se o resultado a dados de precipitação na região, os resultados demonstraram grande potencial do índice para o monitoramento indicativo de estiagens.

Júnior et al. (2010) também utilizaram o SVI, porém utilizando dados de EVI, para a região sul do Brasil. Segundo os autores, o índice se demonstrou satisfatório ao caracterizar áreas de anomalias na vegetação indicativas de estiagem. O índice foi capaz de demonstrar em quais áreas há maior recorrência de eventos de estiagem, assim como a sazonalidade das anomalias apresentadas para o período.

Já Sartori et al. (2009) analisaram a influência da estiagem no NDVI na região de Botucatu – SP, comparando o NDVI de um período seco a outro com precipitação próximo a média. Os autores demonstraram a influência da cobertura do solo na variação dos valores de NDVI, onde áreas cobertas com florestas não apresentaram diferenças entre os períodos analisados, por serem áreas com maior cobertura do solo, assim mantendo maior umidade mesmo em estiagens. Ainda destacaram o cuidado que se deve ter ao analisar dois períodos distintos, pois podem ter ocorrido alterações na cobertura do solo, que influenciam nos resultados do índice.

### 3.4. INFORMAÇÕES NÃO – SISTEMÁTICAS PARA ESTUDOS DE SECAS

Muitas vezes nos deparamos com estudos onde, somente, são levados em consideração informações advindas de estações meteorológicas ou por sensoriamento remoto. Porém, essas informações podem ser esparsas, ou ainda com baixa resolução temporal, fazendo com que informações importantes sobre alterações climáticas ou de ocupação da população sejam perdidas ou suprimidas. Destaca-se ainda os eventos hidrológicos extremos, associados à abundância ou escassez de água, que ocorrem com maior magnitude, porém com menor frequência, possuindo poucos registros históricos, e trazendo incertezas associadas aos equipamentos de medição ou métodos de estimativa utilizados (Vanelli, 2020).

Segundo Francés et al. (1994), desde a década de 1970, autores começaram a reconhecer e utilizar outras fontes de dados para estudos de frequência de eventos, como marcas de cheia, registros em jornais, entre outras. Faleiro (2020) apresenta como marcas históricas podem nos ajudar a entender eventos do passado. O autor traz registros históricos de secas ocorridas no rio Taquari, no Rio Grande do Sul, através de marcas nas pedras das margens do rio (Figura 7), onde há registros datados de 1943 e 1945, demonstrando o nível que o curso d'água chegou naqueles anos.



Figura 7. Marcas atingidas em seca históricas no rio Taquari, em Colinas/RS. (Fonte: Faleiro, 2020)

Segundo Vanelli et al. (2020) diversos autores (Francés et al. (1994), Benito et al. (2004), Brázdil et al. (2006)) diferenciam as informações sob duas óticas: dados sistemáticos e dados não-sistemáticos. Os dados sistemáticos são aqueles registrados com intervalos de tempo pré-definidos, normalmente auxiliados por estações ou equipamentos de monitoramento. Já os dados não-sistemáticos são aqueles que se referem as evidências identificadas em diferentes meios, como registros históricos ou observações humanas, com registros pontuais no tempo ou no espaço, enfatizando fenômenos ocorridos no passado, e sua compreensão pela população da época.

Vanelli et al. (2020) sugerem a divisão dos tipos de dados, utilizando diferentes termos quanto à origem das fontes (Figura 8).

- *Evidência instrumental*: mensurações de variáveis, direta ou indiretamente com equipamentos e procedimentos técnicos;
- *Evidência natural*: aspectos geomorfológicos, geológicos, sedimentológicos, botânicos, geoquímicos, dentre outros aspectos que indicam alterações no ambiente natural em decorrência do evento;
- *Evidência documental*: registros inseridos em um contexto histórico e social, tais como documentos oficiais, notícias veiculadas pelos meios de comunicação, registros e/ou observações realizadas pela população.

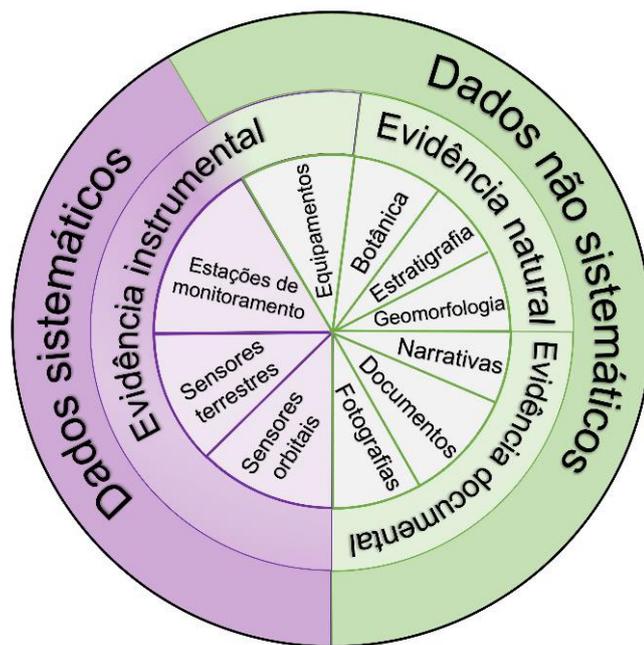


Figura 8. Exemplo de fontes de dados sistemáticos e não-sistemáticos (Fonte: Vanelli et al., 2020).

Em estudos de seca sempre é levado em consideração o período temporal, seja apenas em nível de comparação com outros eventos, ou para classificar a frequência com que ocorrem, principalmente com o uso dos índices, apresentados anteriormente.

As secas socioeconômicas não podem ser caracterizadas através de dados meteorológicos, como os demais tipos de seca. Essas levam em consideração fatores sociais e econômicos. Impactos como o êxodo rural, onde a população rural se desloca para os centros urbanos, diminuição do poder de compra dessa população, devido as perdas causadas no setor primário, ou ainda a falta de abastecimento público de água, tanto para a população rural, quanto para as grandes cidades.

Assim, informações advindas de outras fontes, como reportagens em diferentes mídias, decretos de emergência, ofícios estaduais e das prefeituras, ou mesmo entrevistas com a população, principalmente as mais antigas na região de estudo, ajudam a classificar e entender como esses eventos interferem na rotina da população local.

### 3.4.1 Informações Midiáticas e Governamentais

Diferentes estudos apresentaram como informações midiáticas e governamentais podem ser utilizadas para avaliar a ocorrência e os impactos que eventos extremos tem na sociedade.

Asfora et al. (2017) utilizaram informações de institutos e agências estaduais para avaliar a seca em Pernambuco. Os autores demonstraram a potencialidade do uso desse tipo de

informação ao avaliarem as perdas no setor agropecuário, onde pode-se avaliar quantitativamente os impactos econômicos trazidos por esses eventos.

Brum (2007) considera três enfoques no tratamento jornalístico sobre questões ambientais: denúncias, divulgação amena de nichos ecológicos e propostas de soluções para problemas ambientais, sendo o terceiro o mais ausente das pautas. O autor ao analisar as reportagens na área do Pantanal, conclui que, em geral, essas apenas registram as tragédias, e ainda complementa sobre a importância de se notificar a visão de diferentes grupos sobre um mesmo evento. Assim, em conjunto com outros dados, observações jornalísticas são uma importante ferramenta de percepção de eventos extremos.

Já Valente (2018) demonstrou a grande potencialidade que registros midiáticos possuem em estudos de secas, ainda mais em um período onde se tem esparsos dados sistemáticos, oriundos de estações meteorológicas. O autor, analisou as anomalias climáticas do século XX no estado do Rio Grande do Sul, através de registros em jornais, relatos de viajantes que passaram pelo estado e documentos oficiais.

Kulman (2015) através dos ofícios de decretos de emergência por secas/estiagens apresentou em mapas a espacialização dessas ocorrências no Rio Grande do Sul. Já Reckziegel (2007) fez um levantamento dos desastres naturais ocorridos no Rio Grande do Sul entre 1980 e 2005, através de reportagens de jornal e do diário oficial do estado. A autora destacou o potencial que essas informações possuem em determinar a espacialização desses desastres para estudos de vulnerabilidade, como também avaliar a relação homem/meio ambiente.

Ainda, Nedel (2010) comparou os decretos de situação de emergência no estado do Rio Grande do Sul com a ocorrência do fenômeno ENOS, demonstrando a ligação do fenômeno a severidade dos registros, e conseqüentemente das secas.

Valente (2018) ainda ressalta que “O entendimento dos padrões das anomalias de precipitação do século XX pode auxiliar no planejamento e prevenção de danos e prejuízos causados por eventos extremos futuros”, demonstrando a importância que o conhecimento dos eventos passados tem para o futuro.

### **3.4.2 Percepção Ambiental/Climática**

A percepção da população frente a cenários de estiagens é diferente, e depende de diversos fatores, como a população que vive do campo nota esses eventos diferentemente da população de grandes cidades. A percepção do ambiente se dá através da experiência individual no momento presente, onde há uma apreensão de partes da realidade (PASCOALINO, 2009).

Assim, a percepção e a cognição ambiental e do clima, entendida pelo homem, influencia em seu dia-a-dia junto ao meio atmosférico onde ele está inserido, bem como, direciona suas práticas socioeconômicas e interferências no meio. Resulta disso o conhecimento e experiência da população a respeito da evolução habitual ou excepcional do tempo atmosférico e do ritmo climático (Ribeiro, 2012).

Oliveira e Del Rio (1996) contribuíram através da organização e publicação do livro intitulado *Percepção Ambiental: a Experiência Brasileira*, que tem por intuito abordar as questões do meio ambiente através de estudos aplicados da percepção, tendo como enfoque projetos pautados na percepção ambiental, na interpretação das realidades através dos estudos da percepção, bem como a importância dos estudos de percepção aplicados à educação ambiental (Ribeiro, 2012). Ribeiro complementa que, segundo Sartori (2000), “as pesquisas têm sido conduzidas em relação à percepção do meio ambiente em geral, envolvendo extremos climáticos ou riscos, tais como enchentes e secas”.

Neste contexto, diversos estudos introduzem a ideia de percepção ambiental para analisar como o ser humano, seja ele do meio rural ou urbano, percebe as alterações climáticas ou os eventos climáticos ao seu redor, auxiliando no entendimento das relações homem – meio.

Nys et al. (2016) avaliou os efeitos da seca 2010 – 2015 através de pesquisas com a população do sertão nordestino, onde em sua maioria mencionou que entre os principais problemas enfrentados devido a desastres naturais, estão a crescente escassez de terras produtivas, problemas de saúde e a marginalização social. Ainda destacam que a disponibilidade hídrica na região tende a cair progressivamente a cada ano de seca, prejudicando a sobrevivência tanto de seres humanos, quanto dos animais domésticos e silvestres.

Kulman (2014) realizou visitas a assentamentos agrícolas no município de Santana do Livramento – RS para, através de questionários e entrevistas, verificar as principais dificuldades desses locais quanto ao fenômeno da estiagem. Constatou que a principal dificuldade se dá ao acesso à água para as diferentes formas de consumo, entre elas o abastecimento doméstico, tanto na captação, pela construção de cacimbas ou poços, quanto na distribuição dentro do assentamento.

Outro ponto levantado pelos pesquisadores é a ocorrência do fenômeno principalmente nos meses de verão, com períodos restritos de chuva. Essa informação vai de encontro com os dados apresentados no trabalho de Rossato (2011), que apresenta baixos valores pluviométricos para a região dos assentamentos nos meses de verão.

Para Ribeiro (2012) ao analisar a percepção da população na região das Missões, localizada no noroeste do Rio Grande do Sul quanto a fatos climáticos ocorridos, os mais frequentes apontamentos foram as secas e estiagens, tanto para moradores do meio rural, quanto para moradores urbanos. Entre os moradores do meio rural, a maioria aponta que as estiagens estão mais frequentes na região, porém como contraponto, também afirmam que essas possuem menor duração.

Já para a população urbana, Ribeiro (2012) afirma que o fenômeno meteorológico mais referido é o granizo, e as secas ou estiagens aparecem em terceiro lugar entre os mais mencionados, ainda atrás também do calor intenso. O autor sugere que esta memória da população é explicada por um recente, onde a região foi bastante atingida pelo granizo, com cerca de 90% das residências apresentando danos bastante significativos. Quando questionadas sobre a frequência e duração de secas e estiagens, a resposta da população urbana seguiu a já apresentada por moradores do meio rural, afirmando que esses fenômenos são mais frequentes, porém com menor duração.

Assim, percebe-se a relevância e a percepção dos moradores da cidade tanto quanto os do campo com a questão das secas e estiagens que são corriqueiras na região. Como já comentado, Santo Antônio das Missões tem sua economia assentada no setor primário, assim como todos os municípios missioneiros, e desta forma a população está economicamente vinculada ao campo, pois as atividades agropecuárias são dependentes do clima, principalmente das chuvas regulares (Ribeiro, 2012).

Nota-se através desses pontos a percepção da população frente a cenários climáticos, principalmente a eventos de estiagens, onde ocorre variado grau de intensidade, dependendo das particularidades de cada indivíduo, e principalmente do meio onde vive. Ainda, demonstra-se a importância de levantamentos desse nível de dados, onde pode-se, através da observação da repetitividade desses fenômenos, por moradores de determinada região, e junto a observação de dados sistemáticos, constituir evidências de um padrão atmosférico e determinar seus períodos de ocorrência.

### 3.5. EL NIÑO E LA NIÑA E SUA INFLUÊNCIA NAS SECAS NO SUL DO BRASIL

O fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS) é considerado, muitas vezes, um dos principais responsáveis por eventos de seca, tendo grande importância para as condições climáticas predominantes da Terra (Moreira, 2016).

O ENOS faz parte de uma variação irregular em condições normais do Oceano e da atmosfera na região do Pacífico Tropical (Berlato e Fontana, 2003). Segundo Marengo et al. (2011), é um fenômeno caracterizado pelas alterações dos padrões normais da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) e dos ventos alísios (que sopram do norte e do sul em direção às zonas próximas à linha do Equador) na região do Pacífico Equatorial, entre a Costa Peruana e o Pacífico Oeste, próximo a Austrália, alterando o clima e mudando os padrões de vento em nível mundial, tendo como consequência alterações no regime de chuvas em regiões tropicais e de latitudes médias.

O fenômeno ENOS pode ser dividido em duas fases: fase quente (El Niño) e fase fria (La Niña). Segundo Jacobsen (2002), o El Niño se dá pelo aquecimento das águas do Oceano Pacífico e um enfraquecimento dos ventos alísios, durando em torno de 12 a 18 meses, normalmente iniciando em meados de um ano, atingindo sua máxima intensidade durante os meses de novembro e dezembro, e terminando na metade do ano seguinte. Ainda segundo o autor, de modo geral, o La Niña é o oposto do El Niño, com a temperatura do mar na região diminuindo, e os ventos alísios ficando mais intensos do que o normal.

O ENOS é constituído por uma componente atmosférica, chamada Oscilação Sul, e uma componente oceânica, denominada EN (Pelissaro, 2022). Existem diferentes índices para se quantificar e qualificar as componentes do ENOS. O Índice de Oscilação Sul (*Southern Oscillation Index – SOI*), caracteriza a componente atmosférica, e é dado pela diferença de pressão ao nível do mar (PNM) entre Tahiti e Darwin (Austrália). Já o Índice Oceânico Niño (*Oceanic Niño Index – ONI*), utilizado pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), é utilizado para detectar períodos de ENOS apenas pela componente oceânica, comumente caracterizado pela ocorrência de cinco anomalias consecutivas de três meses consecutivos na temperatura da superfície do mar (TSM) na região Niño 3.4 (delimitada pelas coordenadas 5°N – 5°S e 120°O – 170°O – Figura 9), quando acima de 0,5°C (El Niño) ou abaixo de -0,5°C (La Niña) (NOAA, 2022).

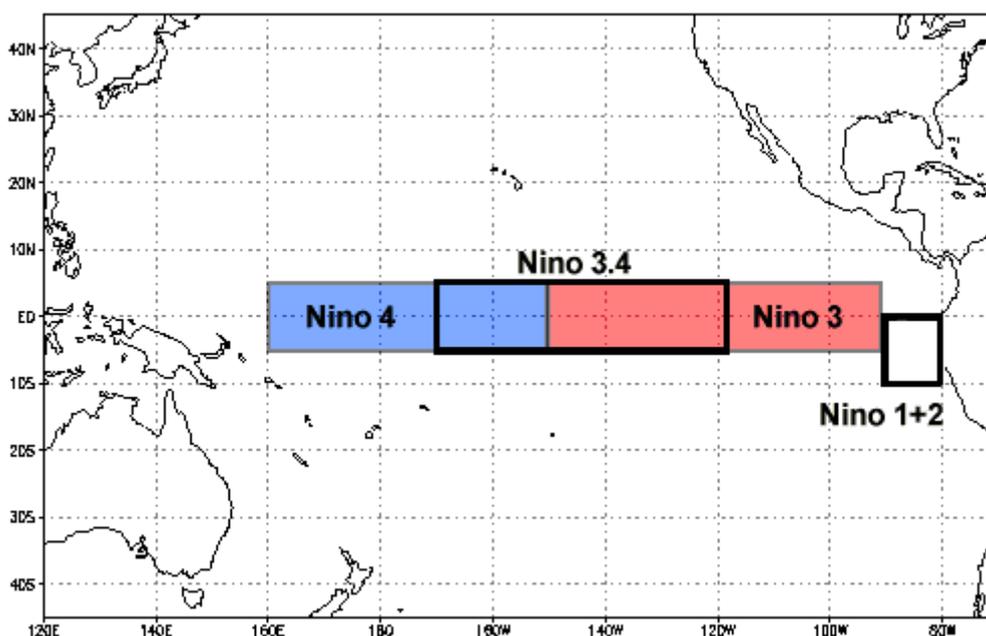


Figura 9. Características das regiões de variação da temperatura oceânica dos eventos ENOS (Fonte: NOAA (2022))

Diversas regiões sofrem com os efeitos do ENOS, apresentando diferentes características, variando quanto a sua fase.

Oertel et al. (2019) apresentam a influência dos eventos ENOS no Chile, onde destacam a menor magnitude no período de inverno, e maior nos meses de primavera e verão. Ainda ressaltam que durante eventos de La Niña mais eventos secos podem ocorrer, tendo anos de El Niño efeito contrário.

Segundo Waylen & Poveda (2002), é interessante destacar que não há dois eventos ENOS iguais, devido as suas interações com outros fatores climáticos regionais, que podem amortecer ou amplificar seus efeitos. Assim, demonstra-se a dificuldade na previsão dos efeitos associados a esse fenômeno.

Já Hoerling et al. (2014) ao analisarem os principais eventos de seca extrema na região das grandes planícies nos Estados Unidos desde 1895, identificou que três eventos ocorreram em anos de La Niña, dois em anos de El Niño e ainda quatro em anos considerados neutros. Os autores mostram que os eventos ENOS sozinhos não são os principais responsáveis por eventos secos na região.

Nascimento & Senna (2020) afirmam que em eventos de El Niño a precipitação fica abaixo da média em toda a parte norte da América do Sul, principalmente entre junho e dezembro. Os autores ainda destacam que, em períodos de La Niña, as precipitações ficam acima da média entre junho e agosto, principalmente no extremo norte da América do Sul.

No Brasil, Marengo (2006) destaca que os impactos dos fenômenos El Niño e La Niña têm sido observados em todas as regiões do país, mais intensamente nas regiões norte e nordeste (secas durante o El Niño) e sul do Brasil (secas durante La Niña e excesso de chuva e enchente durante o El Niño) (Ferreira, 2014).

Penaforte (2016) ao analisar as secas na Bacia do Rio do Peixe na Paraíba, destacou que os biênios de 1993/1994 e 1998/1999 foram considerados severamente secos, coincidindo com eventos de El Niño, onde se destaca o de 1998, que segundo o autor é o mais intenso da história.

No estado do Rio Grande do Sul o fenômeno, em sua fase quente (El Niño), ocorre a inversão nas zonas de pressão, fazendo os jatos de média e alta altitude bloquear as passagens frontais, as quais ficam estacionárias e acabam levando ao aumento das precipitações. Na fase fria (La Niña), ocorre o contrário, havendo uma diminuição das passagens frontais e a consequente diminuição das chuvas (Rossato, 2011).

De acordo com Grimm e Sant'Anna (2000), a primavera é a estação de maior impacto médio de eventos ENOS sobre a precipitação pluvial no sul do Brasil. Durante eventos de El Niño, Almeida e Fontana (2002) afirmam que, tanto o aumento da precipitação pluvial média em dias chuvosos, quanto o aumento do número de dias chuvosos, parece contribuir ao aumento da precipitação pluvial sazonal. O primeiro fator parece predominar a oeste e o segundo a leste, especialmente no litoral de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, e sobre os planaltos paranaenses e região serrana. Já durante eventos de La Niña, predomina a influência da diminuição do número de dias chuvosos, exceto no litoral. No verão, a variação da precipitação pluvial durante eventos de El Niño e La Niña ocorre principalmente no sudoeste do Rio Grande do Sul, e deve-se principalmente à variação da quantidade de precipitação média nos dias chuvosos. Isto pode sugerir a importância do maior ou menor suprimento de umidade para a região.

Jacóbsen (2000) analisou a variação da precipitação ao longo do ano no estado do Rio Grande do Sul em anos de El Niño e La Niña, em comparação a anos considerados neutros (Figura 10 e 11). O autor demonstrou que em anos de El Niño ocorrem anomalias positivas de precipitação ao longo de todo o ano, especialmente de outubro a janeiro. Ainda, o autor demonstra o contrário para anos de La Niña, onde ocorrem anomalias negativas de precipitação na maior parte do estado ao longo de todo o ano, principalmente nos meses de novembro, dezembro, maio e junho.

Já Puchalski (2000) mostra que, os anos em que ocorre La Niña há um aumento significativo no risco de ocorrências, quanto ao déficit hídrico, no final da primavera e no início do verão, com destaque a metade sul do estado. Já em anos de El Niño, a probabilidade de

ocorrer problemas como o déficit hídrico diminuam drasticamente, quase nulos principalmente em áreas do norte e nordeste do estado.

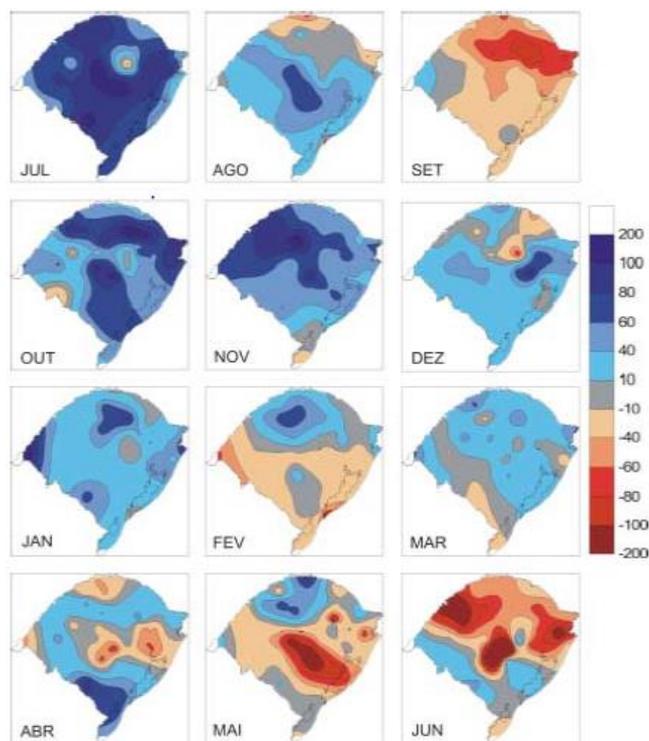


Figura 10. Anomalias de precipitação (mm) médias dos anos de El Niño em relação aos anos neutros de 1981 a 2000 (Fonte: Jacóbsen (2000)).

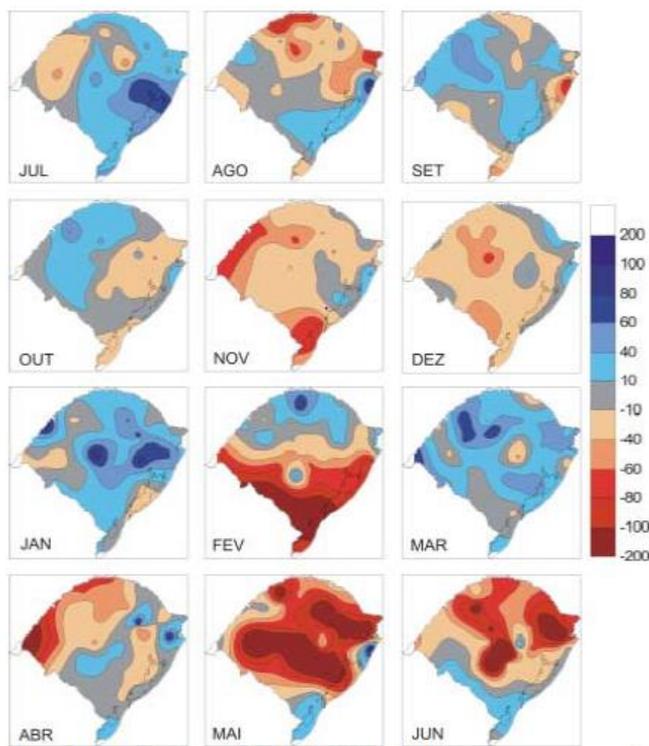


Figura 11. Anomalias de precipitação (mm) médias dos anos de La Niña em relação aos anos neutros de 1981 a 2000 (Fonte: Jacóbsen (2000)).

O impacto de eventos El Niño no sudeste da região sul no inverno do ano seguinte ao início do evento é claramente visível, tanto na quantidade de precipitação pluvial em dias chuvosos, como no número de dias chuvosos, havendo relativa prevalência deste último fator (Jacóbsen, 2002). Ainda segundo o autor podem ocorrer eventos de El Niño que rapidamente são sucedidos por eventos de La Niña, como o caso do biênio 1986-1987, que apresentou episódio de El Niño menos intenso, sendo sucedido por um forte evento de La Niña em 1988-1989. Ainda cita os eventos de El Niño intenso de 1997-1998, que foi seguido quase que imediatamente por La Niña de 1998-1999.

Eventos intensos de estiagens em anos considerados normais ocorreram em 1988/1989, 1991, 1997 e 2004 (Reckziegel, 2007). Porém a autora também destaca as grandes estiagens de 1987/1988 e 2004/2005 que ocorreram em anos de El Niño, onde seriam esperadas grandes enchentes, onde a última se estendeu por cerca de cinco meses, atingindo 458 municípios em todo o estado.

Nedel (2010), ao analisar os decretos de situação de emergência no estado, entre os anos de 2003 e 2009, destacou que dentro do período houveram três ocorrências do El Niño (2004-2005, 2006-2007 e 2009-2010) e apenas uma ocorrência do La Niña (2007-2008). Assim, quando relacionamos esses fenômenos aos anos em que as secas foram mais severas, nota-se que a maioria ocorreu em anos de El Niño, mesmo que de intensidade fraca, e também em anos neutros (onde não ocorreram tais fenômenos), e apenas em 2008 a seca foi influenciada pela presença do La Niña (de forte intensidade).

### 3.6. SECAS NO RIO GRANDE DO SUL

O estado do Rio Grande do Sul, historicamente vem sendo afetado por fenômenos naturais extremos. Estes fenômenos em contato com o ser humano causam sérios desastres naturais e suas causas estão relacionadas, principalmente, a aspectos hidrometeorológicos. Os desastres naturais mais frequentes e de maior intensidade, nos últimos anos, no estado são as inundações, estiagens, vendavais e o granizo (REIS et al, 2012).

Segundo FEE (2013), as estiagens são tratadas como desastres naturais quando ocorrem em locais de presença humana, gerando danos materiais ou sociais. No Rio grande do Sul, sua ocorrência vem afetando a sociedade e a economia dos municípios gaúchos, em especial o setor agropecuário, que é altamente dependente das condições climáticas. Valente (2018) constatou isso ao analisar os eventos de estiagem no estado ao longo do século XX, onde datam do início do século problemas relacionados a falta de água, como mostra a Figura 12.

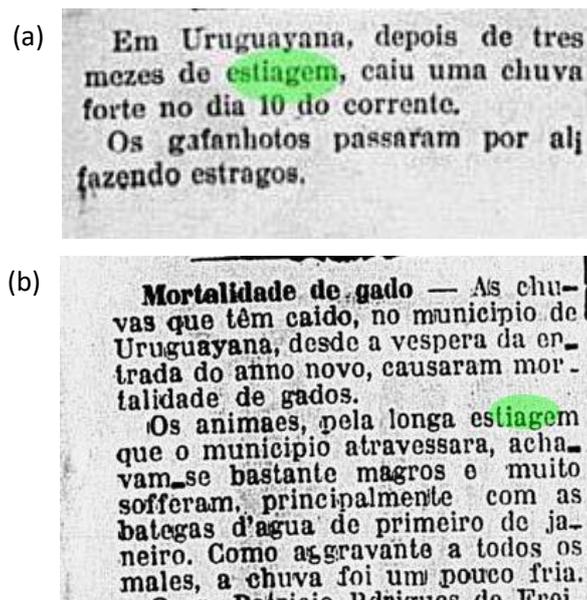


Figura 12. Notícias sobre estiagens na região de Uruguaiana no Rio Grande do Sul.  
(a) 21/03/1906 (b) 16/01/1918 (Fonte: A Federação – Valente (2018))

De acordo com os dados apresentados por CEPED (2013), a região sul do Brasil corresponde a cerca de 27% dos registros de estiagens ou secas, ficando atrás apenas da região nordeste, que corresponde a mais de 56% desses registros.

Rossato (2011) analisou a precipitação no estado entre os anos de 1970 e 2007, e em 26,3% dos anos no período de verão (janeiro, fevereiro e março) apresentam estiagens, com destaque para os anos de 1979, 1991, 2004 e 2005, que foram considerados extremamente secos. Ainda destaca que, a região sudoeste do estado apresenta menor quantidade de dias de chuva, especialmente no mês de dezembro, e a região nordeste apresenta maior concentração de dias de chuva, onde a amplitude dessa diferença aumenta nos meses de dezembro e janeiro, explicada pelo trajeto do sistema Frontal Polar Atlântico (FPA), ou Frente Fria.

Pode-se destacar que a metade sul do estado apresentou os menores valores mensais de precipitação, em comparação com a metade norte, principalmente nos meses de primavera e verão.

Afim de determinar quais regiões do estado sofrem com recorrentes estiagens, Kulman (2014), analisou a ocorrência de estiagens nos municípios do Rio Grande do Sul no período de 1981 a 2011, onde o município de Bagé apresenta 22 ocorrências. Ainda destacou que a região sudoeste do estado registra as maiores ocorrências para o período, e o litoral norte os menores (Figura 13). Ainda, nota-se na última década do estudo, de 2001 a 2010, uma maior ocorrência de estiagens na faixa do norte ao noroeste do estado, próximo ao município de Quaraí.

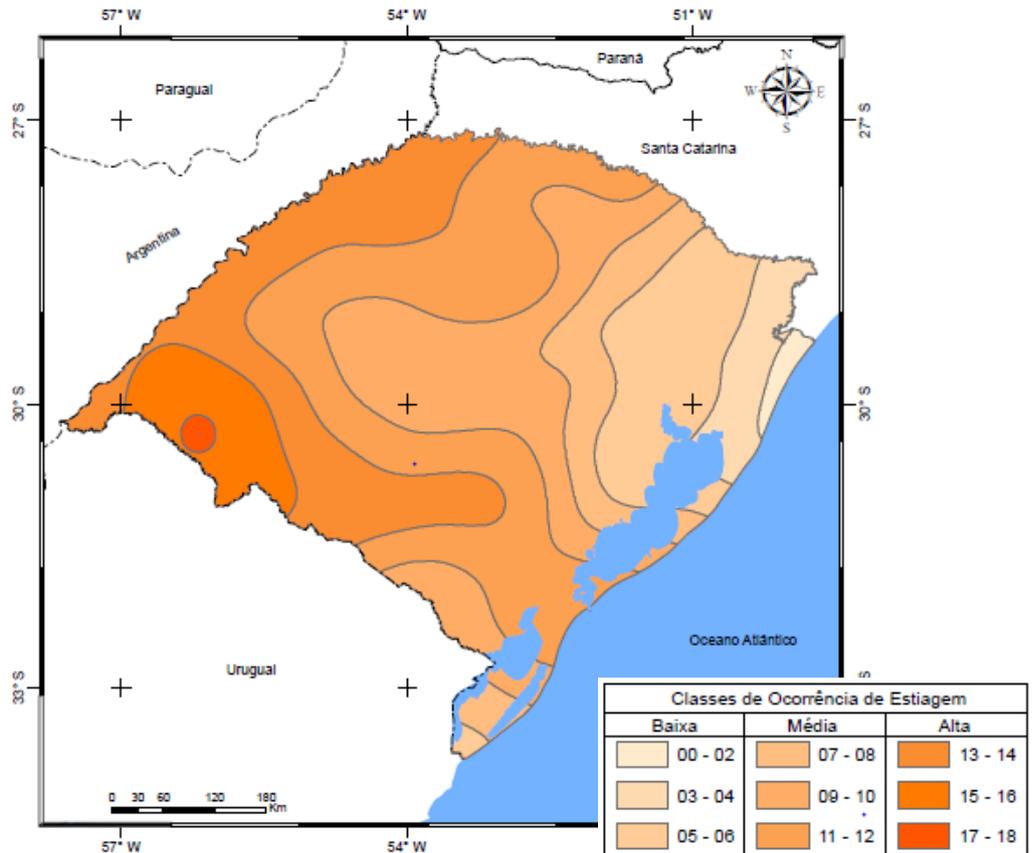


Figura 13. Áreas de ocorrência de eventos de estiagem no período de 1981-2011 (Fonte: Kulman (2014))

Reckziegel (2007) analisou os eventos ocorridos entre os anos de 1980 e 2005, onde foram homologados 2.114 decretos de situação de emergência e 22 de estado de calamidade pública decorrentes de estiagens, tendo os anos de 2004 e 2005 o maior número de municípios atingidos, com 458 e 406 ocorrências respectivamente. Quanto a faixa mais atingida por eventos de estiagens, Reckziegel destaca as porções oeste, noroeste e norte do estado, tendo os municípios de Uruguai, Bagé e Santo Ângelo com o maior número de registros.

Já Nedel *et al.* (2010) ao analisar os eventos de secas registrados pelos municípios do Rio Grande do Sul, entre os anos de 2003 e 2009, destacou que a metade norte do estado foi a área onde ocorreu o maior número de decretos, registrando 70% do total de registros no estado. O autor destaca também que os maiores números de registros ocorreram no verão, seguido do outono, onde acredita-se que as perdas com a quebra na produtividade nas culturas agrícolas desses municípios, principalmente soja e milho, os levaram a decretarem situação de emergência.

As consequências das estiagens, normalmente são mais intensas nas áreas rurais, não somente pela quebra na agricultura e pecuária, mas também pela falta de água para o consumo humano. Conforme o período que esse evento se estende, poços, açudes e rios que são utilizados

para consumo, acabam secando, fazendo com que essa parte da população dependa dos chamados caminhões-pipa para seu abastecimento.

Problemas no abastecimento também podem ser sentidos pela população urbana, que devido a prolongados períodos sem chuva, que reduzem os níveis dos rios e barragens de abastecimento, podem ter implementados racionamento de água, e em alguns casos mais graves até mesmo o desabastecimento total. Como o caso de Bagé (Figura 14), onde normalmente em períodos de verão ocorre o racionamento, deixando metade do município sem água durante metade do dia (G1, 2021).

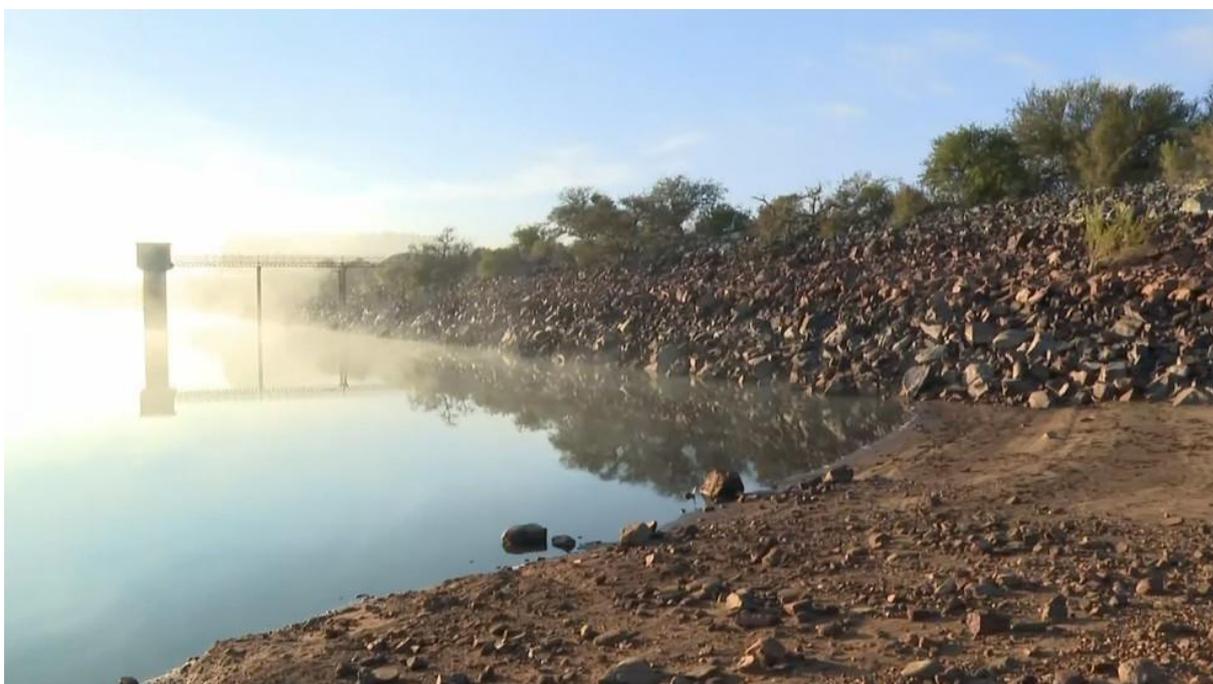


Figura 14. Barragem com baixo nível de água em Bagé (Fonte: G1 (2021))

#### **4. ÁREA DE ESTUDO E O EVENTO DE SECA 2019/2020 A PARTIR DE DADOS NÃO-SISTEMÁTICOS**

A região de estudo compreende o estado do Rio Grande do Sul, sendo o estado mais ao sul do Brasil, fazendo divisa com o estado de Santa Catarina, ao norte, a Argentina a oeste e com o Uruguai ao sul (Figura 15).



Figura 15. Localização do estado do Rio Grande do Sul (Fonte: Autor).

O Rio Grande do Sul apresenta diferentes regimes de precipitação ao longo de seu território. No Sul do estado a precipitação média anual fica entre 1300 e 1500mm, e no Norte está entre 1500 e 1800 mm anuais, com destaque ao nordeste do Estado (Figura 16). Destaca-se que em termos climáticos, o estado se caracteriza por ter uma precipitação bem distribuída em todas as estações do ano, não havendo uma estação seca.

Diversos fatores contribuem para que haja diferença espacial da chuva no estado, como o relevo, a ciclogênese, frontogênese, as teleconexões, entre outros sistemas atmosféricos e o próprio homem (Valente, 2018). Moreno (1961) complementa afirmando que o regime pluviométrico do estado além de sua formação pelo deslocamento de frentes é acentuado pela orografia, onde nas maiores altitudes as chuvas ocorrem em volumes maiores. O relevo obriga a elevação das massas de ar, as quais se resfriam, condensando-se e ocasionando as chuvas. É por isso, que nas encostas e no bordo do Planalto a precipitação atinge o máximo, e onde a orografia é inexistente as chuvas ocorrem em menor volume, como no litoral. A Figura 17 apresenta o mapa de relevo do estado.

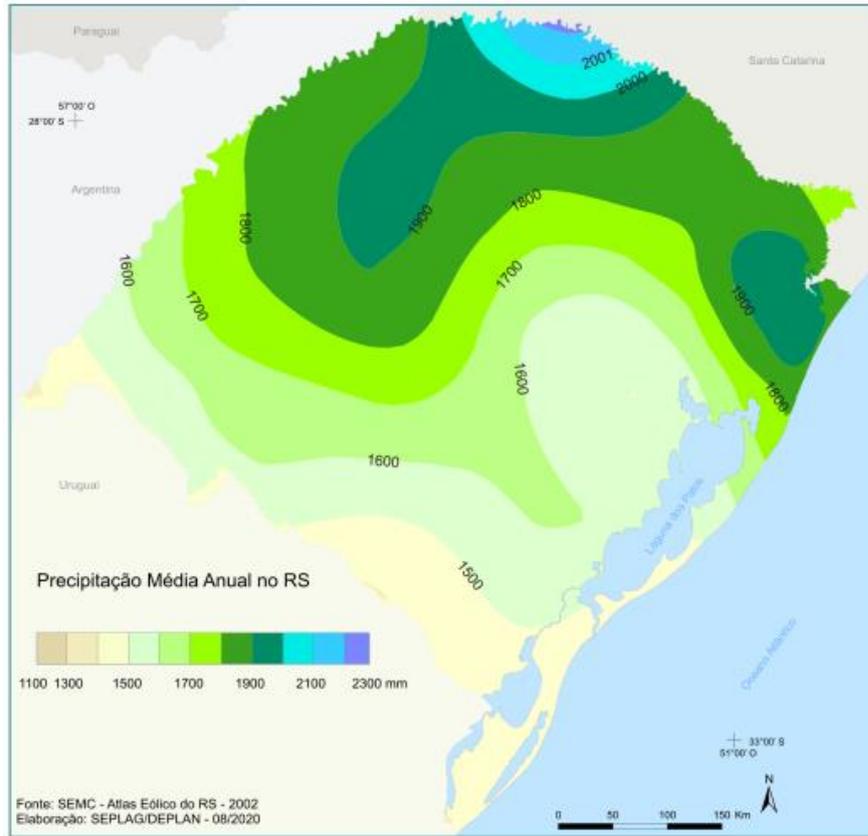


Figura 16. Precipitação média anual no Rio Grande do Sul (Fonte: Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul, 2020).

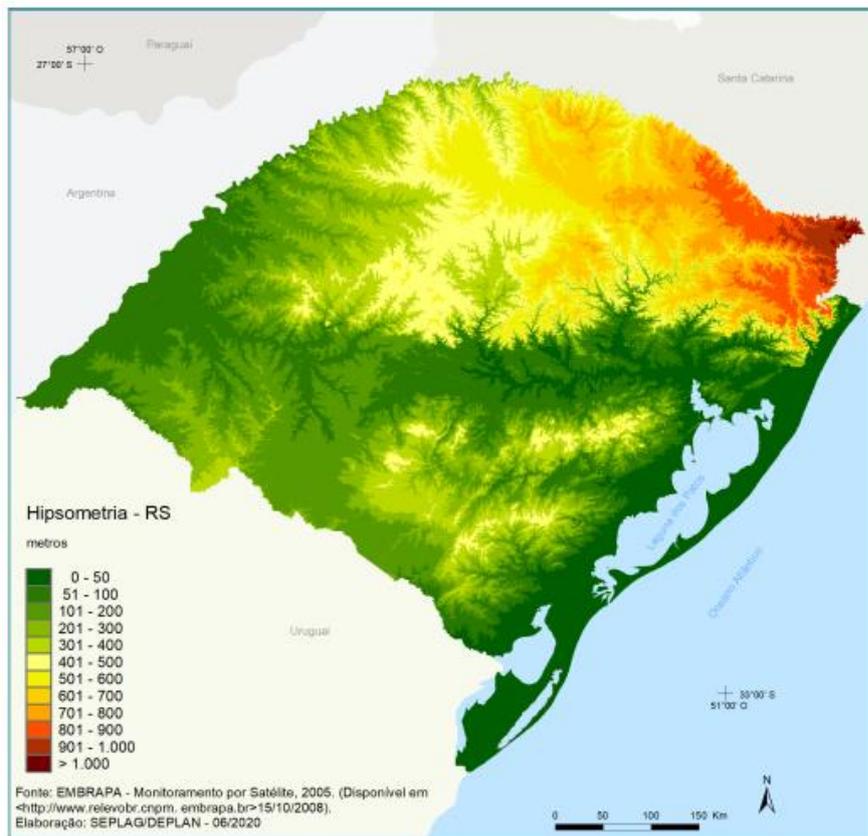


Figura 17. Relevo do estado do Rio Grande do Sul (Fonte: Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul, 2020).

O estado do Rio Grande do Sul possui uma densa hidrografia, contando com três grandes regiões hidrográficas. A Região do Uruguai que contempla cerca de 57% da área total do estado. A Região do Guaíba, com 30% da área estadual, e a Região do Litoral, com 13% do território. Ainda, essas regiões são subdivididas em 25 bacias hidrográficas.

Quanto ao uso e ocupação do solo (Figura 18), o estado do Rio Grande do Sul se destaca pela grande área agrícola, que é predominante principalmente na região Centro-Norte do estado, e as áreas de campo, concentradas nas regiões da Serra (Nordeste), Campanha (Sudoeste) e parte do Sul do estado.

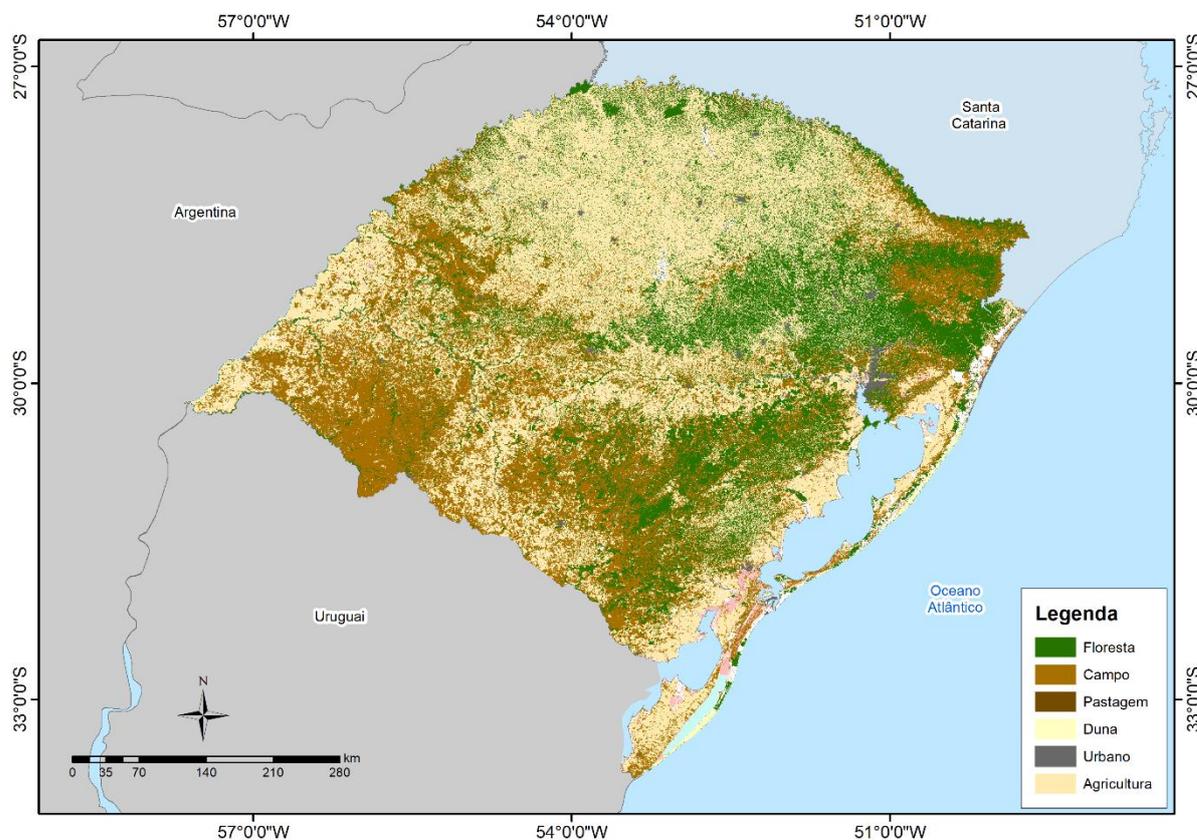


Figura 18. Mapa de Uso e Ocupação do solo. (Fonte: Adaptado de MapBiomias (2022)).

Quanto à economia, segundo o DEE (Departamento de Economia e Estatística Estadual) a agropecuária representa em torno de 9% do valor bruto da economia gaúcha, tendo impacto direto nos demais setores.

Assim, um dos principais reflexos de eventos de seca, como o ocorrido a partir do ano de 2019/2020 são as perdas em safras, que no estado do Rio Grande do Sul, se caracteriza como uma das principais fontes econômicas. Segundo a Secretaria da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural (SEAPDR, 2020) as perdas nas lavouras de soja chegaram a aproximadamente 32,3% no estado, e 26,3% nas de milho, representando diminuição da renda para agricultores em todas as regiões do estado. Devido as perdas da safra, diminui-se a

disponibilidade dos produtos, e conseqüentemente os preços de uma gama de produtos sobem. Como trazido pela BBC Brasil (2021), que demonstra a reação em cadeia do evento de seca, onde a baixa disponibilidade de milho, traz reflexos no preço da carne, devido ao aumento no preço da ração animal.

O evento de seca que assolou o estado do Rio Grande do Sul pode ser percebido pelo número de decretos de situação de emergência expedidos no período. Segundo a Defesa Civil Estadual, no período 2019/2020, 394 municípios gaúchos decretaram situação de emergência devido à seca. Nota-se através da Figura 19 como todo o estado foi afetado por este evento de seca, onde apenas alguns municípios da região metropolitana de Porto Alegre, da região do Litoral e parte da região Sudoeste do estado não tiveram decretos de emergência.

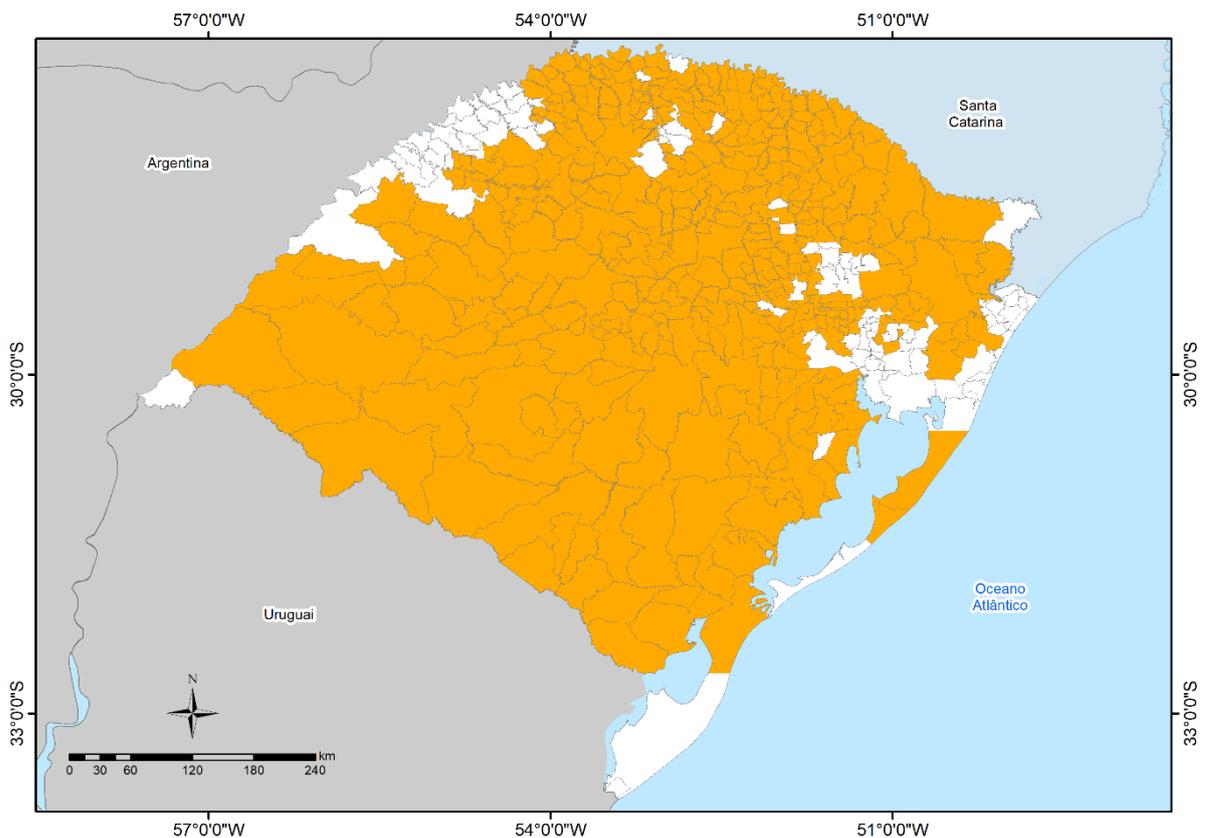


Figura 19. Municípios com decretos de emergência devido à seca/estiagem 2019/2020 (Fonte: Adaptado de Defesa Civil do RS).

Uma percepção interessante sobre o evento de seca de 2019/2020 no estado se dá ao analisar-se as previsões anteriores ao evento. Os boletins emitidos mensalmente pela Sala de Situação, pertencente a SEMA-RS, demonstram isso, onde em boletim publicado em dezembro de 2019 (SEMA, 2019), já destacava a previsão de um mês de fevereiro com chuvas bem abaixo do padrão para o mês, onde já se demonstrava a tendência de piora na estiagem em todo o

estado. Tal boletim também destaca as condições de atenção para estiagem em relação aos níveis dos rios em todo o estado do Rio Grande do Sul.

Esse tipo de informação é parte importante na percepção das secas pela população em geral, juntamente as divulgadas pelas diferentes mídias através de dados não-sistemáticos, e sendo necessárias principalmente para a caracterização de eventos de secas socioeconômicas.

O site GZH apresenta todas as reportagens que trataram da seca no período de estudo, através da *tag* “seca no RS”. A Tabela 1 apresenta um compilado dessas informações não-sistemáticas que sintetizam a ocorrência do evento de seca 2019/2020 no estado do Rio Grande do Sul, através de notícias veiculadas pela mídia que demonstram os impactos nos diferentes setores da sociedade. Notam-se através das informações constantes como o evento de seca avançou pelo estado do Rio Grande do Sul no ano de 2020, mostrando os diversos problemas causados ao longo do tempo.

Tabela 1. Informações não-sistemáticas da estiagem 2019/2020 no estado do Rio Grande do Sul (Fonte: GZH).

Fonte	Data	Informação
GZH	06/01/2020	Colheita do milho adiantada para diminuir as perdas.
	07/01/2020	Nove (9) municípios decretam situação de emergência no estado.
	08/01/2020	Estiagem afeta reservatórios de usinas de energia no RS.
	09/01/2020	Impactos na produção de leite e carne no estado.
	12/01/2020	Açudes secos e falta d'água para o gado no RS.
	18/01/2020	Falta de alimentos devido à seca.
	31/01/2020	Busca por sistemas de irrigação crescem 20%.
	31/01/2020	Noventa e nove (99) municípios com decretos de emergência.
	19/02/2020	Caminhões-pipa utilizados no abastecimento de água no norte do estado.
	20/02/2020	Racionamento na Campanha Gaúcha.
	03/03/2020	Aumento do número de municípios com uso de caminhão-pipa.
	05/03/2020	Cento e vinte e nove (129) municípios com decretos de emergência.
	31/03/2020	46% (231) dos municípios gaúchos com decretos.
	03/04/2020	Duzentos e cinquenta e três (253) municípios com decreto no RS.
	06/04/2020	Oito bacias hidrográficas em situação de alerta no estado.
	07/04/2020	Distribuição de cestas básicas e caixas d'água no RS.
	08/04/2020	Problemas no porto de Porto Alegre devido à estiagem.
	30/04/2020	Ampliação na construção de novos açudes no estado e trezentos e trinta e quatro (334) municípios com decretos.
	30/04/2020	Níveis críticos em barragens de hidrelétricas.
	03/05/2020	Trezentos e quarenta e seis (346) municípios com decretos.
12/05/2020	Safra de soja de 2020 é 40% menor no estado.	
15/05/2020	Perdas de 15,5 bilhões em lavouras de soja e milho no RS.	
10/06/2020	PIB do RS cai 3,3% no primeiro trimestre de 2020.	

Ainda, o Programa Vigiágua (Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano) que consiste no conjunto de ações adotadas por autoridades de saúde

pública para garantir à população o acesso à água, realizou um levantamento, através de questionário desenvolvido para preenchimento dos municípios, visando avaliar os efeitos da estiagem em relação à quantidade e qualidade das águas para o consumo em todo o estado. Segundo Azambuja et al. (2020), pelo menos 173 municípios apresentaram algum impacto no abastecimento de água para consumo humano, com destaque para os municípios com população inferior a dois mil habitantes. Uma das principais consequências relatadas foram a interrupção total ou parcial na captação de águas superficiais.

Outro problema causado pela diminuição nos volumes de precipitação e quantidade de água em rios e reservatórios, é a qualidade dessas águas para o abastecimento público. O Programa ainda destaca que a floração de cianobactérias, devido à falta de tratamento de efluentes, e aumento da turbidez nesses mananciais, prejudicaram o tratamento e fornecimento de água para a população. Outros problemas levantados são o fornecimento de água oriunda de fontes desconhecidas e a utilização de carros-pipa não licenciados, podendo ser fontes de problemas de saúde para a população.

Com isso demonstra-se como as consequências das secas se propagam dentro da sociedade, afetando diretamente e indiretamente todos os setores. Assim, discutir os eventos de secas e seus impactos é essencial, já que sua ocorrência não pode ser impedida, mas sim mitigada, com ações e medidas que diminuam seus impactos sociais e econômicos.

## **5. METODOLOGIA**

Através do explicitado até aqui, nota-se a relevância que estudos de seca têm, para que o conhecimento adquirido através de eventos passados, ajudem no planejamento e mitigação de eventos futuros. Nesta seção é apresentada a metodologia de cálculo dos índices de seca a serem aplicados, juntamente aos dados utilizados para a realização deste trabalho. Ao final da seção descreve-se os métodos utilizados para obtenção dos principais resultados obtidos e respostas as questões levantadas.

### **5.1. ÍNDICES DE SECA**

Nas seções anteriores foram apresentados índices de seca para avaliação dos principais eventos de seca ocorridos ao redor do mundo. Para esse estudo definiram-se três diferentes índices de seca, contemplando a avaliação das principais variáveis atingidas, sendo eles: SPI, SSI e SVI.

Foram escolhidos tais índices devido a sua ampla utilização em outros estudos semelhantes, boa representatividade e praticidade na análise do comportamento das variáveis

atingidas. Além da grande vantagem desses métodos ser o fato de padronizar a análise, permitindo comparar regiões distintas, como regiões mais úmidas com outras áridas e secas.

### 5.1.1 Índice de Precipitação Padronizado (SPI)

O déficit de precipitação normalmente é o primeiro efeito perceptível em eventos de seca, podendo ser o único ou o primeiro, dependendo de sua duração. Perceber e quantificar o déficit na precipitação de determinada região é importante na contextualização e possível mitigação dos seus impactos.

Assim McKee et al. (1993) desenvolveram o Índice de Precipitação Padronizado (*Standardized Precipitation Index – SPI*), que quantifica o déficit de precipitação para múltiplas escalas de tempo, baseado nos registros de precipitação de longo prazo.

Para calcular o SPI, deve-se utilizar pelo menos trinta anos de dados de precipitação, sendo ajustado pela distribuição gama, e depois transformada em uma distribuição normal, que apresenta a média com valor zero e variância unitária.

A distribuição gama é definida pela função de densidade de probabilidade dada pela equação 1.

$$g(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad (1)$$

Sendo  $\alpha > 0$  = parâmetro de forma (adimensional);  $\beta > 0$  = parâmetro de escala (mm);  $x > 0$  = total de precipitação acumulada (mm);  $\Gamma(\alpha)$  = função gama.

E a função gama é obtida pela equação 2.

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (2)$$

Para estimar os parâmetros de forma  $\alpha$  e  $\beta$ , utiliza-se o método da máxima verossimilhança (Thom, 1966), apresentadas pelas equações 3, 4 e 5.

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (3)$$

$$\beta = \frac{\bar{X}}{\alpha} \quad (4)$$

$$A = \ln(\bar{X}) - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln(x) \quad (5)$$

Onde,  $\bar{X}$  = média aritmética da precipitação pluvial (mm);  $\ln$  = logaritmo neperiano;  $N$  = número de observações de precipitação.

Os parâmetros obtidos são aplicados para encontrar a probabilidade cumulativa de um evento de precipitação observado para uma escala de tempo mensal. Essa probabilidade cumulativa é representada pela equação 6.

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx \quad (6)$$

Substituindo  $t = \frac{x}{\beta}$ , a equação 7 se transforma na função gama incompleta, apresentada na equação 7.

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^x t^{\alpha-1} e^{-t} dt \quad (7)$$

Como a função gama é indeterminada para x igual a 0, e a distribuição de precipitação pode conter zeros, a probabilidade cumulativa toma o seguinte aspecto.

$$H(x) = q + (1 - q)G(x) \quad (8)$$

Sendo,  $H(x)$  = distribuição de probabilidade cumulativa; q = probabilidade de ocorrência de valores nulos (zeros);  $G(x)$  = distribuição cumulativa teórica.

Thom (1966) indica que q pode ser estimado por  $\frac{m}{n+1}$ , sendo m o número de zeros presentes na série temporal de precipitação e n o tamanho da amostra.

A distribuição de probabilidade cumulativa  $H(x)$  é então transformada em uma variável aleatória normalizada Z, com média zero e desvio padrão 1, com a variável Z correspondendo ao SPI, através da aproximação matemática desenvolvida por Abramowitz e Stegun (1965), que converte a probabilidade cumulativa em uma distribuição normal a variável Z, pelas equações 9 e 10.

$$Z = SPI = - \left( t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad \text{para } 0 < H(x) \leq 0,5 \quad (9)$$

$$Z = SPI = + \left( t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad \text{para } 0,5 < H(x) \leq 1 \quad (10)$$

Sendo t definido pelas equações 11 e 12.

$$t = \sqrt{\ln \left[ \frac{1}{(H(x))^2} \right]} \quad \text{para } 0 < H(x) \leq 0,5 \quad (11)$$

$$t = \sqrt{\ln \left[ \frac{1}{1 - (H(x))^2} \right]} \quad \text{para } 0,5 < H(x) \leq 1 \quad (12)$$

E os coeficientes utilizados nas equações:

$$C_0 = 2,515517; C_1 = 0,802853; C_2 = 0,010328;$$

$$d_1 = 1,432788; d_2 = 0,189269; d_3 = 0,001308.$$

O SPI pode ser aplicado em diferentes escalas de tempo, assim, por exemplo, o SPI-1 corresponde a precipitação acumulada em períodos mensais, e o SPI-12 corresponde a precipitação acumulada no período de doze meses. É interessante notarmos como a escala temporal altera a percepção sobre os eventos de seca, ao utilizar o índice, onde a medida que se aumenta a escala temporal, o SPI responde mais lentamente a mudanças. Por exemplo, o SPI de 12 meses responde mais rapidamente a seca, categorizando uma seca como mais severa, enquanto que o SPI de 36 meses, por considerar um período três vezes maior, demora mais a entrar na categoria mais severa, porém, sai de forma mais lenta. Assim, deve-se levar em consideração qual o fator a ser estudado, para definir-se qual a escala temporal será utilizada.

McKee et al. (1993) usaram os valores de SPI para definir a existência de seca e seu grau de intensidade, como apresentado na Tabela 2. Segundo os autores, a seca ocorre quando o valor do SPI é continuamente negativo, chegando a uma intensidade igual ou menor a -1, e terminando quando o SPI se torna positivo. Como mostra a Tabela 2, o SPI indica não somente a existência de secas, mas também identifica períodos úmidos.

Tabela 2. Classificação do Índice de Precipitação Padronizada (Fonte: adaptado de McKee et al. (1993)).

SPI	Classificação
$\geq 2,00$	<b>Extremamente úmido</b>
1,50 a 1,99	<b>Severamente úmido</b>
1,00 a 1,49	<b>Moderadamente úmido</b>
0,99 a -0,99	<b>Próximo ao normal</b>
-1,00 a -1,49	<b>Moderadamente seco</b>
-1,50 a -1,99	<b>Severamente seco</b>
$\leq -2,00$	<b>Extremamente seco</b>

### 5.1.2 Índice de Vazão Padronizado (SSI)

Como citado anteriormente, Modarres (2007) e Vicente-Serrano et al. (2012) utilizam o Índice de Vazão Padronizado (*Standardized Streamflow Index – SSI*), com o objetivo de determinar secas hidrológicas mais simplificadamente, em comparação com outros índices, que necessitam de diferentes variáveis.

Esse índice se caracteriza por utilizar os mesmos princípios do SPI, porém considerando a vazão média mensal. Assim, segue-se o mesmo sistema de equações apresentados pelo SPI, dependendo de pelo menos trinta anos de dados medidos de vazão, onde seus resultados são classificados de acordo com a Tabela 2, indo de extremamente úmido a extremamente seco.

### 5.1.3 Índice de Vegetação Padronizado (SVI)

A principal diferença dos índices de vegetação, é a necessidade de se utilizar dados advindos de sensoriamento remoto, ou seja, esses índices são obtidos através do uso das faixas espectrais obtidas por esse tipo de informação. Segundo Moreira (2016), a faixa espectral da região do vermelho é uma das principais bandas de absorção da radiação eletromagnética pela clorofila, tendo a faixa do infravermelho próximo como a mais sensível a umidade da vegetação. Esses índices apresentam aumento nos valores quando se tem maior quantidade de vegetação fotossinteticamente ativa e a diminuir quando atingidas por períodos de estresse hídrico.

O Índice de Vegetação Melhorado (EVI) tende a otimizar o sinal da vegetação, tendo maior sensibilidade à variação do dossel, onde segundo Huete et al. (2002) esse índice realça o sinal da vegetação através da otimização na sensibilidade em regiões com valores altos de biomassa, permitindo melhorar o monitoramento através da redução dos efeitos de substrato do dossel e da influência da atmosfera.

$$EVI = G \cdot \frac{NIR - RED}{NIR + C_1 \cdot RED - C_2 \cdot BLUE + L} \quad (13)$$

Onde: *NIR* é a refletância do infravermelho próximo; *RED* é a refletância do vermelho; *BLUE* é a refletância do azul; *G* é um fator de ganho (geralmente 2,5); *L* é o ajuste de fundo do dossel vegetal (geralmente 1); *C<sub>1</sub>* e *C<sub>2</sub>* são coeficientes de correção dos efeitos atmosféricos para as bandas do vermelho e azul (geralmente 6 e 7,5, respectivamente)

Devido a relação existente entre vigor vegetativo e as condições meteorológicas, esses índices são utilizados na formulação de indicadores de situação de secas ou estiagens, auxiliando no monitoramento e quantificação desses fenômenos. Como exemplo tem-se a padronização do índice EVI, que busca a identificação de anomalias da vegetação, assim identificando períodos de seca e estiagem (Leivas et al., 2014; Júnior et al., 2010; Sartori et al.; 2009).

O Índice de Vegetação Padronizado (*Standardized Vegetation Index* – SVI) permite verificar o quanto a cobertura vegetal ficou acima ou abaixo do comportamento normal da

vegetação para determinado período. Essa padronização ainda permite realizar comparações entre diferentes regiões.

$$SVI = \frac{X_{valor} - \bar{X}_{ref}}{\sigma} \quad (14)$$

Onde:  $X_{valor}$  representa o valor referido;  $\bar{X}_{ref}$  é a média para diversos anos no período referido; e  $\sigma$  é o desvio padrão de vários anos no período referido.

O SVI pode ser categorizado de muito abaixo do normal, a muito acima do normal, que leva em consideração o verdor da vegetação.

Tabela 3. Intervalos de classes de valores do SVI (Fonte: adaptado de Leivas et al. (2014)).

SVI	Categorização
$\geq 2,00$	Muito acima do normal
1,50 a 1,99	Acima do normal
1,00 a 1,49	Ligeiramente acima do normal
0,99 a -0,99	Normal
-1,00 a -1,49	Ligeiramente abaixo do normal
-1,50 a -1,99	Abaixo do normal
$\leq -2,00$	Muito abaixo do normal

## 5.2. DADOS UTILIZADOS

Os dados necessários para a aplicação dos índices e análises utilizados nesse trabalho foram obtidos de diferentes fontes, conforme a variável verificada.

### 5.2.1 Precipitação

Os dados de precipitação utilizados foram obtidos a partir das estações pluviométricas automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), para o período que contempla os anos de 2019 a 2021, para todas as estações do estado que possuem informação de Normal Climatológica, que segundo a Organização Meteorológica Mundial (OMM) é obtida através dos valores médios calculados para um período de, no mínimo, trinta anos de dados. As estações utilizadas estão apresentadas na Tabela 4 e na Figura 20.

Tabela 4. Estações Pluviométricas INMET.

ID	Código	Nome da Estação	Latitude (°)	Longitude (°)	Atitude (m)
1	83980	Bagé	-31,31	-54,12	245,66
2	83919	Bom Jesus	-28,67	-50,44	1047,50
3	83942	Caxias do Sul	-29,20	-51,19	750,16
4	83916	Lagoa Vermelha	-28,22	-51,51	833,73

ID	Código	Nome da Estação	Latitude (°)	Longitude (°)	Atitude (m)
5	83914	Passo Fundo	-28,23	-52,41	684,05
6	83985	Pelotas	-31,78	-52,42	13,00
7	83967	Porto Alegre	-30,05	-51,17	41,18
8	83936	Santa Maria	-29,72	-53,72	103,10
9	83907	São Luiz Gonzaga	-28,42	-54,96	245,49
10	83948	Torres	-29,35	-49,72	4,66
11	83927	Uruguaiana	-29,84	-57,08	74,41

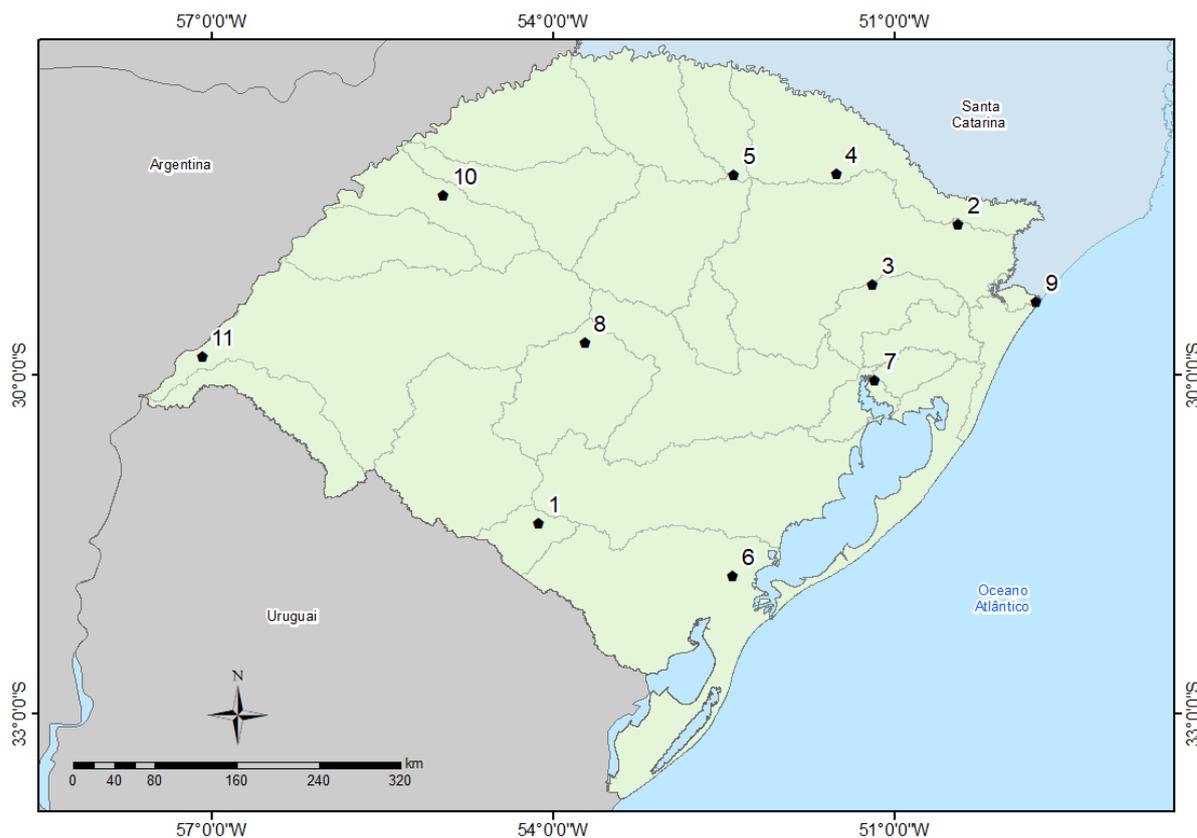


Figura 20. Localização das estações pluviométricas INMET selecionadas (Fonte: Autor)

Ainda, o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) avalia informações de secas através dos dados de SPI para todo o Brasil, apresentando seus resultados mensalmente. Os dados para o cálculo do Índice de Precipitação Padronizado (SPI) são obtidos através da compilação de dados de estações pluviométricas do próprio CEMADEN e do INPE/CPTEC (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Essas informações são especializadas com resolução de 25km, e o cálculo do SPI é obtido para cada quadricula.

## 5.2.2 Temperatura

Os dados de temperatura foram obtidos a partir das estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), para o período que contempla os anos de 2019 e 2020, para as estações do estado que possuem informação de Normal Climatológica, ou seja, possuem ao menos trinta anos de dados medidos. As estações utilizadas estão apresentadas na Tabela 5 e na Figura 21.

Tabela 5. Estações Meteorológicas INMET.

ID	Código	Nome da Estação	Latitude (°)	Longitude (°)	Atitude (m)
1	83980	Bagé	-31,31	-54,12	245,66
2	83919	Bom Jesus	-28,67	-50,44	1047,50
3	83942	Caxias do Sul	-29,20	-51,19	750,16
4	83912	Cruz Alta	-28,62	-53,61	475,52
5	83914	Passo Fundo	-28,23	-52,41	684,05
6	83985	Pelotas	-31,78	-52,42	13,00
7	83967	Porto Alegre	-30,05	-51,17	41,18
8	83936	Santa Maria	-29,72	-53,72	103,10
9	83997	Santa Vitória do Palmar	-33,53	-53,35	24,01

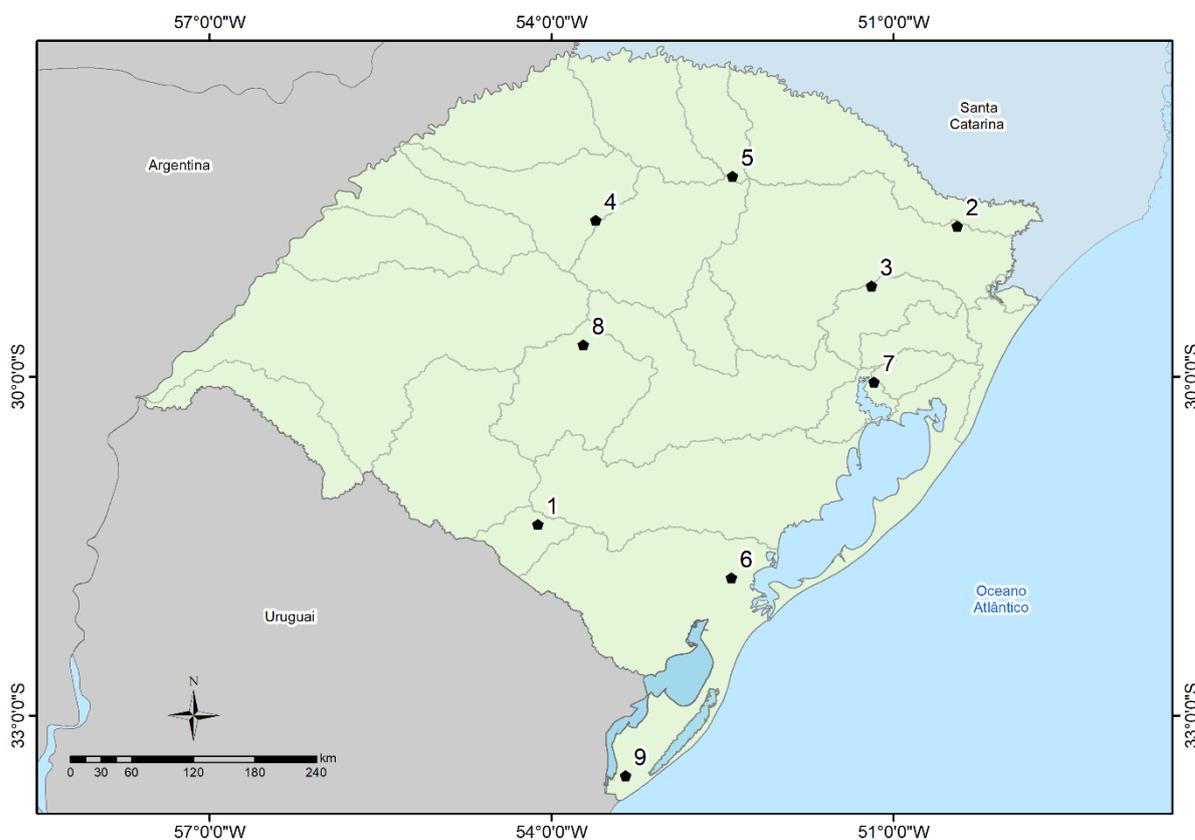


Figura 21. Localização das estações meteorológicas INMET selecionadas (Fonte: Autor).

### 5.2.3 Vegetação

Para obtenção do índice de vegetação padronizado, utilizou-se o produto do índice de vegetação aprimorado (EVI), derivado de dados obtidos a partir do sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), a bordo dos satélites Terra e Aqua. O produto denominado MOD13Q1, refere-se a índices espectrais com resolução temporal de 16 dias e resolução espacial de 250 metros, com dados disponíveis desde o ano 2000.

Com o uso da plataforma Google Earth Engine (GEE), que é uma plataforma de análise geoespacial baseada na nuvem, utilizada para diferentes estudos e pesquisas de sensoriamento remoto, obteve-se o resultado do EVI mensal para toda a área de estudo para o período selecionado. Para isso, obtêm-se a média para o mês de referência em todo o período de dados apresentados pelo sensor, ou seja, de 2000 a 2020, e a partir do mesmo período de dados, calcula-se o desvio padrão do mês em questão. A partir disso, com o uso da Equação 14 apresentada anteriormente, obtemos o valor do SVI para o mês.

Para a avaliação dos diferentes usos do solo no estado, utilizou-se a coleção 7 do MapBiomas, que apresenta mapas anuais de uso e cobertura do solo para todo o Brasil, obtidos a partir da classificação em vinte e sete classes, e divulgados em formato matricial com pixel de 30 metros.

### 5.2.4 Vazão/Escoamento

As informações de vazão utilizadas neste estudo foram obtidas a partir de 30 estações fluviométricas (Tabela 6 e Figura 22) da CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil), obtidas a partir do sistema *Hidroweb/ANA*. Foram escolhidas estas estações devido ao período e qualidade dos seus dados, e sua especialização no estado.

Tabela 6. Estações Fluviométricas CPRM.

ID	Código	Nome	Rio	Latitude (°)	Longitude (°)
1	72430000	Passo Do Granzotto	Rio Forquilha ou Inhanduva	-27,87	-51,75
2	72680000	Passo Colombelli	Rio Apue ou Ligeiro	-27,56	-51,85
3	74100000	Iraí	Rio Uruguai	-27,19	-53,26
4	74205000	Linha Cescon	Arroio Caturete	-27,81	-53,02
5	74270000	Passo Rio da Várzea	Rio da Várzea	-27,28	-53,31
6	74370000	Palmitinho	Rio Guarita	-27,33	-53,63
7	74460000	Ponte do Rio Turvo	Rio Turvo	-27,82	-53,73
8	74800000	Porto Lucena	Rio Uruguai	-27,85	-55,02
9	75230000	Santo Angelo	Rio Ijuí	-28,35	-54,26
10	75600000	Passo das Turnas	Rio Icamaquã	-28,83	-54,85
11	75700000	Passo do Novo	Rio Icamaquã	-28,67	-55,58

ID	Código	Nome	Rio	Latitude (°)	Longitude (°)
12	75900000	Itaqui	Rio Uruguai	-29,11	-56,55
13	76085000	Cachoeira 5 Veados	Rio Toropi	-29,42	-54,05
14	76310000	Rosário do Sul	Rio Santa Maria	-30,24	-54,91
15	76560000	Manoel Viana	Rio Ibicuí	-29,59	-55,48
16	76750000	Alegrete	Rio Ibirapuitã	-29,76	-55,78
17	77500000	Quarai	Rio Quarai	-30,38	-56,45
18	85400000	Dona Francisca	Rio Jacuí	-29,62	-53,35
19	85623000	São Sepé - Montante	Rio São Sepé	-30,19	-53,56
20	85642000	Passo São Lourenço	Rio Jacuí	-30,00	-53,01
21	85830000	Santa Cruz - Montante	Rio Pardinho	-29,70	-52,46
22	86100000	Passo do Gabriel	Rio das Antas	-28,80	-50,49
23	86410000	Passo Barra do Guaiaveira	Rio Turvo	-28,73	-51,42
24	86510000	Muçum	Rio Taquari	-29,16	-51,86
25	86745000	Passo do Coimbra	Rio Forqueta	-29,21	-52,18
26	87380000	Campo Bom	Rio dos Sinos	-29,69	-51,04
27	87399000	Passo das Canoas - Auxiliar	Rio Gravataí	-29,96	-50,97
28	87905000	Passo do Mendonça	Rio Camaquã	-31,01	-52,05
29	88575000	Cerro Chato	Arroio Basílio	-31,86	-53,26
30	88850000	Ponte Cordeiro de Farias	Arroio Pelotas	-31,57	-52,46

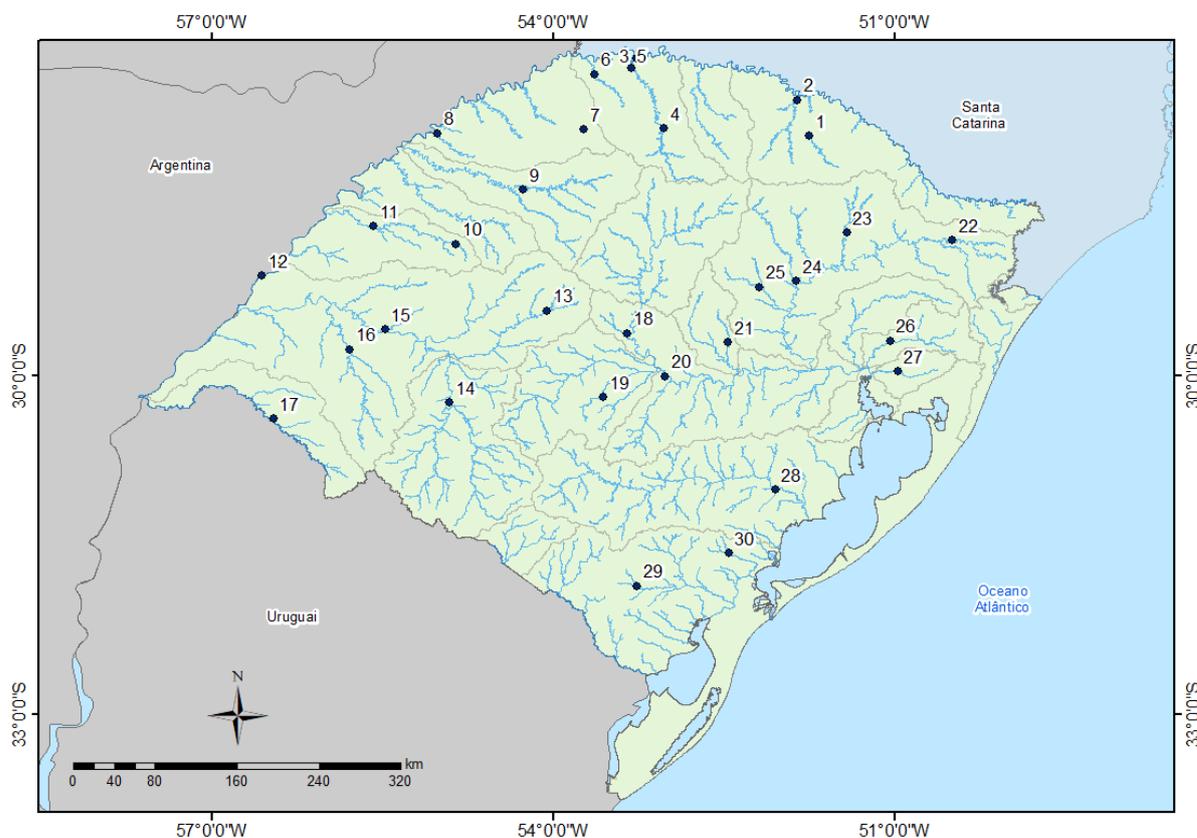


Figura 22. Localização das estações fluviométricas CPRM selecionadas (Fonte: Autor)

### 5.3. MÉTODOS

Através dos dados levantados e da aplicação dos índices adequados, apresentam-se os métodos de análise utilizados para obtenção dos principais resultados.

#### 5.3.1 Análise das variáveis e índices de seca

Para a avaliação da precipitação e da temperatura para o período de estudo, faz-se a comparação com a normal climatológica para cada estação utilizada. Essa avaliação é realizada para comparação do volume de precipitação e da temperatura média ocorrido com o esperado para o mesmo período em anos anteriores. Tal análise é realizada através das estações do INMET que possuem normais climatológicas associadas e com dados atualizados para o período de estudo. Essas estações foram especializadas e classificadas como abaixo ou acima do esperado para o mês, a fim de facilitar a compreensão e possibilitar a identificação das regiões do estado que foram mais afetadas por variações no período.

Posteriormente faz-se a análise dos índices de seca aplicados para cada variável estudada. A metodologia para caracterização e identificação do evento de seca seguiu o proposto por McKee et al (1993), onde um evento de seca é caracterizado quando o índice é continuamente negativo, com valor igual ou inferior a -1.

O índice de precipitação foi aplicado para diferentes períodos, por ser o fator inicial de um período de seca, que se inicia a partir da redução da precipitação, posteriormente atingindo outras variáveis como vazão e vegetação. Ainda, compara-se em quais as estações do ano foram percebidos os menores volumes de precipitação, juntamente a avaliação de quais áreas no estado foram as mais afetadas.

O índice de vegetação foi aplicado para um período mensal, a fim de avaliar-se o quanto a vegetação foi influenciada pelo evento de seca. Para verificar os tipos de vegetação mais afetados por esse evento, avaliou-se o tipo de uso e cobertura do solo das áreas onde o índice apresentou maior severidade, a partir do mapa de classes do MapBiomas.

Avaliou-se o índice de vazão/escoamento em um período mensal, analisando também a localização dessas estações dentro da bacia hidrográfica, a fim de verificar o quanto a proximidade com o divisor de águas altera a ocorrência de menores vazões durante o evento estudado. Ainda, foram selecionadas algumas estações representativas de diferentes bacias hidrográficas no estado, onde primeiramente obteve-se as vazões  $Q_{85}$ ,  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$ , que são utilizadas como valores de referência para vazões baixas, onde representam vazões ocorridas em 85%, 90% e 95% do tempo, respectivamente.

Todos os resultados apresentados pelos índices aplicados foram especializados através de figuras apresentadas ao longo das próximas seções, para que fosse analisada a extensão espacial do evento em questão, e permitir avaliar quais as regiões do estado mais afetadas. Esse tipo de avaliação permite uma caracterização das áreas mais vulneráveis do estado, auxiliando nas tomadas de decisão em períodos de eventos de seca que possam vir a ocorrer.

### **5.3.2 Análise temporal do evento**

O tempo de resposta entre as diferentes variáveis é determinante quando tratamos de mitigação dos problemas causados por eventos de seca.

Com o intuito de avaliar o tempo de propagação entre os diferentes tipos de seca relacionados ao evento estudado, fez-se a comparação do tempo de resposta da percepção entre a anomalia de precipitação e seu reflexo nas vazões e na vegetação.

Para isso, realizou-se a comparação entre os diferentes índices aplicados ao período mensal, onde é possível ter uma melhor resposta da relação entre as variáveis.

### **5.3.3 Análise da ocorrência do fenômeno ENOS**

Um dos principais fatores normalmente relacionados como causadores, ou intensificadores dos eventos extremos no Rio Grande do Sul é o fenômeno ENOS, onde os anos de La Niña estão relacionados com a diminuição da precipitação em todo o Sul do Brasil.

Para verificar a ocorrência desse fenômeno, avalia-se os resultados apresentados pelo Índice Oceânico Niño (*Oceanic Niño Index* – ONI), através dos dados relativos as anomalias de temperatura extraídos da NOAA (disponível em <https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products>) que é um dos índices mais utilizados para verificar a ocorrência do fenômeno ENOS.

Analisaram-se os dados com as médias móveis trimestrais, e avaliou-se a ocorrência do fenômeno ENOS para o período de estudo.

### **5.3.4 Análise do evento a partir dos dados não-sistemáticos**

Os dados não-sistemáticos são uma das principais fontes de verificação dos impactos que eventos de seca tem na sociedade.

Para validar a propagação do evento de seca ocorrido e sua percepção pelos impactos causados em diferentes setores da sociedade, analisa-se e compara-se os dados não-sistemáticos apresentados na Tabela 1 as informações sistemáticas apresentadas ao longo dos resultados.

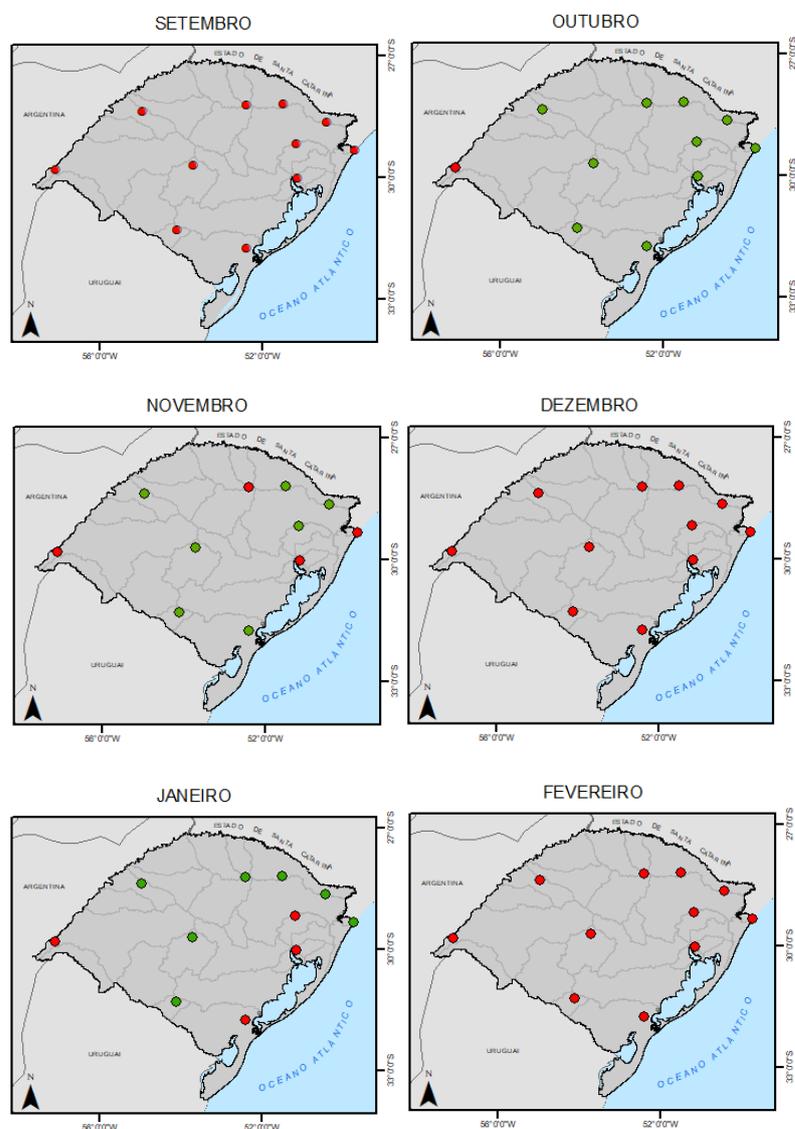
## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção estão apresentados os principais resultados obtidos, assim como as discussões quanto a eles.

### 6.1. PRECIPITAÇÃO

Na Figura 23 estão apresentadas as estações INMET para os meses de setembro, outubro, novembro e dezembro de 2019, e de janeiro, fevereiro, março e abril de 2020, comparando com a normal climatológica para o período de 1991 a 2020. Esses meses consistem no período de primavera e verão, considerado menos chuvoso no estado.

No Anexo I encontram-se os gráficos abrangendo o período de 2019 a 2021 comparados com a normal climatológica (1991-2020) para todas as estações selecionadas.



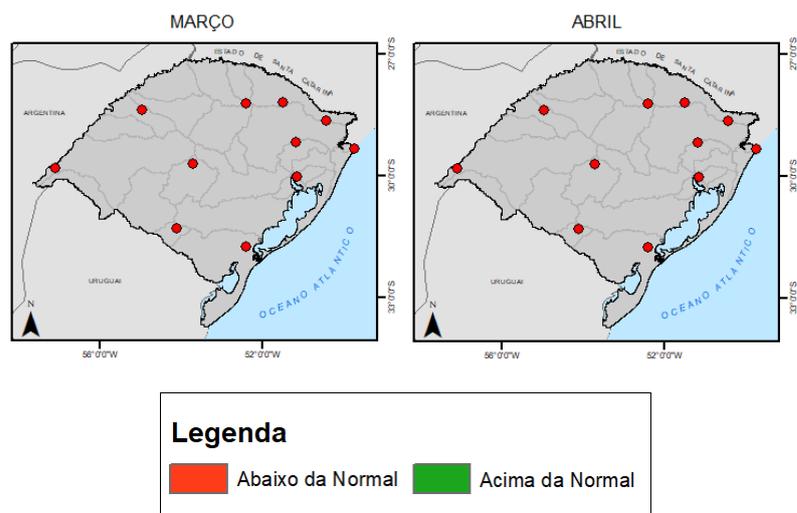
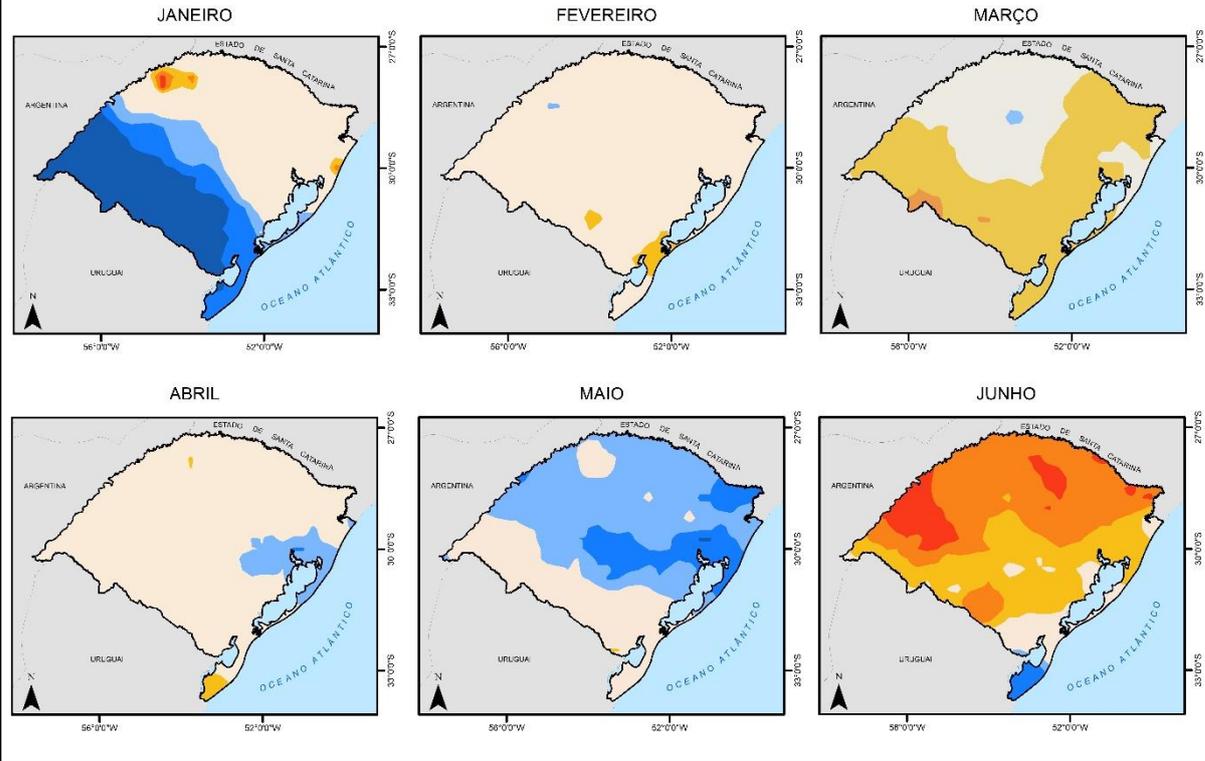


Figura 23. Comparativo do volume de chuva e normal climatológica em estações do INMET (Fonte: Autor)

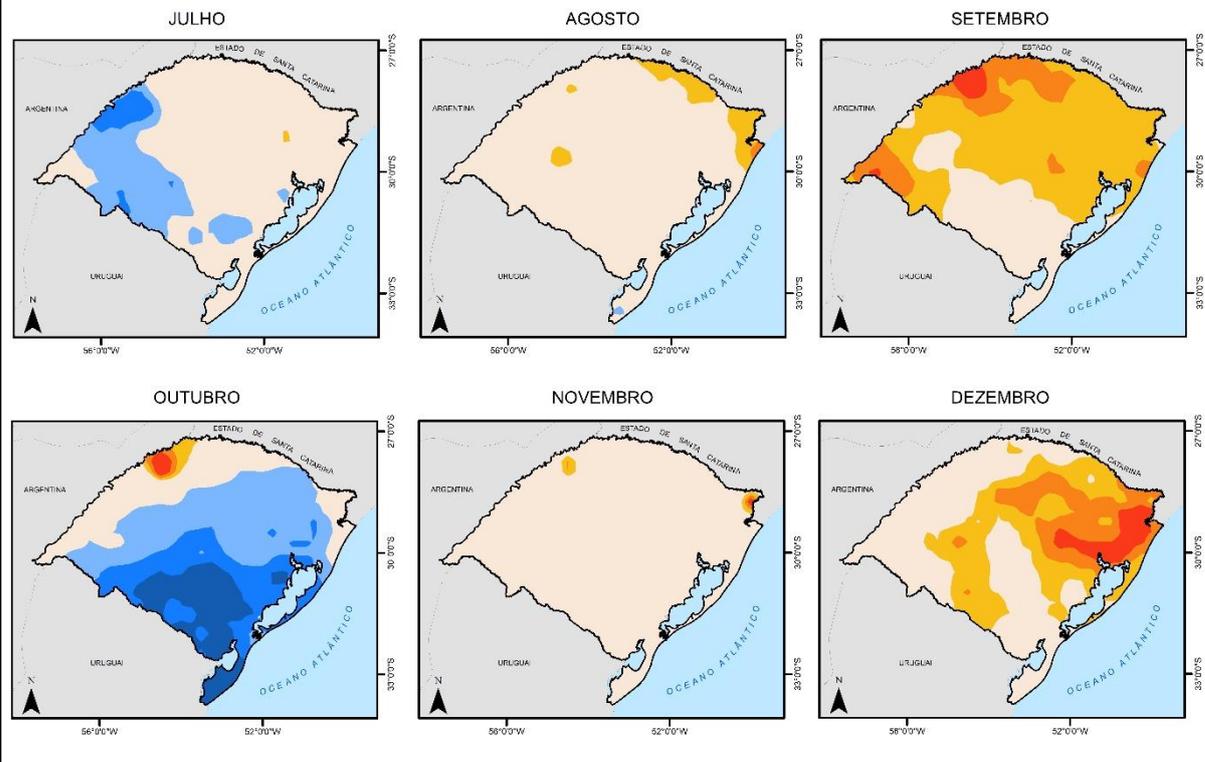
Quanto ao quadrimestre final de 2019, notam-se variações expressivas na pluviosidade no estado. Os meses de setembro e dezembro foram caracterizados com chuvas abaixo do esperado em todas as estações avaliadas, e os meses de outubro e novembro com chuvas dentro a acima da média na maioria das estações no estado. Já o início de 2020 apresentou chuvas bem distribuídas no estado, ficando o acumulado acima do esperado no mês de janeiro, na região Centro-Norte do estado. Porém, a partir do mês de fevereiro, os acumulados apresentaram significativa redução em relação à média esperada para o mês. Algo que se repetiu ao longo dos meses seguintes, onde no mês de março foram registradas chuvas cerca de 100 mm abaixo do esperado, seguido do mês de abril com acumulados bem abaixo da média para o mês. Os meses seguintes de 2020 já apresentaram chuvas variando próximas a média na maior parte das regiões do estado.

Para melhor avaliação do quanto abaixo da média para o mês o volume de precipitação está, a Figura 24 apresenta o SPI em escala mensal (SPI-1) espacializado para todo o estado. A escala de um mês do índice tende a ser mais variável, quando comparada a períodos maiores do mesmo índice, devido ao seu período de cálculo, que compara o total acumulado no mês ao mesmo período em outros anos, semelhante a comparação quanto a normal climatológica apresentada anteriormente.

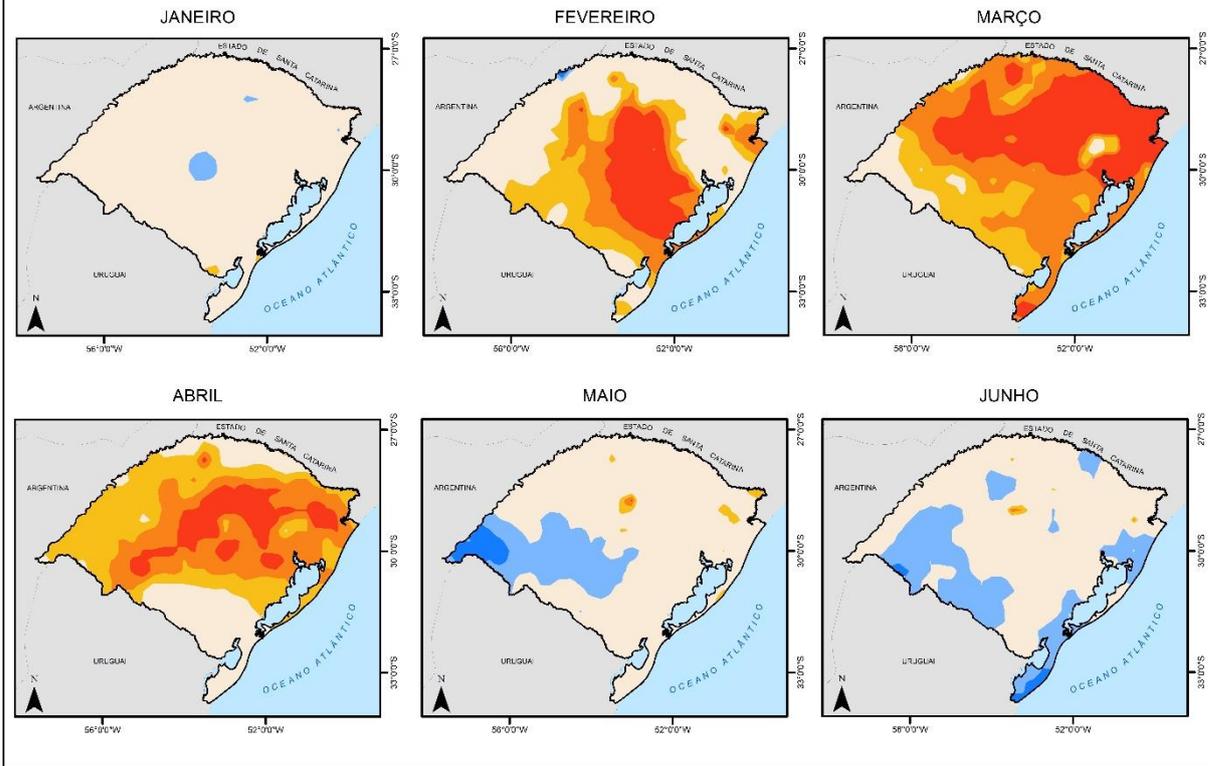
### SPI 01 - 2019



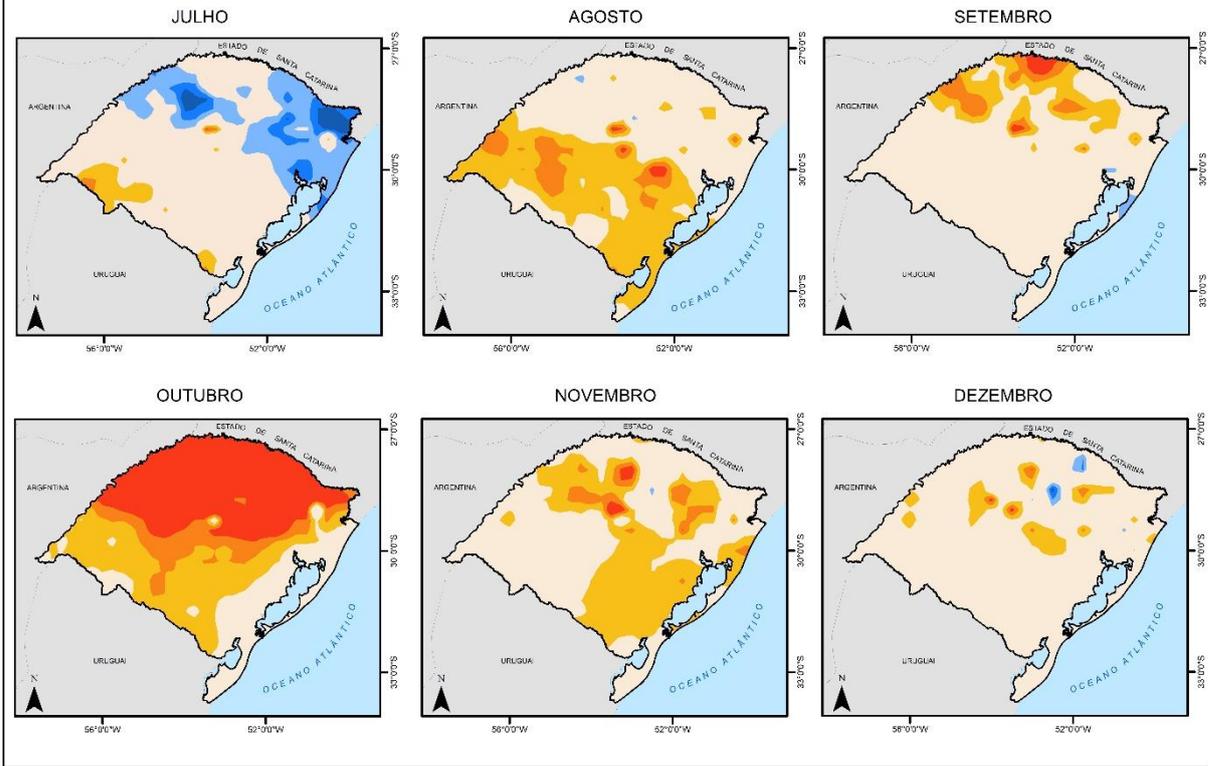
### SPI 01 - 2019



### SPI 01 - 2020



### SPI 01 - 2020



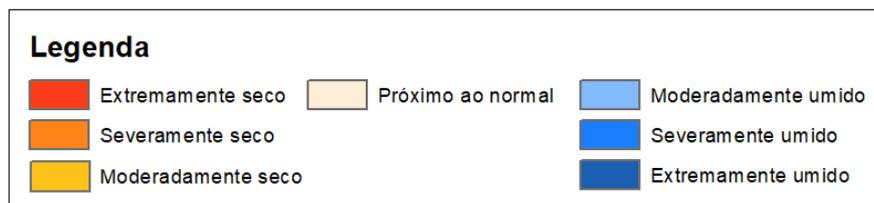


Figura 24. Resultados do SPI-1 para os anos de 2019 e 2020. (Fonte: Adaptado de CEMADEN)

Quando analisa-se o SPI-1 já no ano de 2019, obtêm-se a mesma resposta demonstrada pela comparação dos dados obtidos no comparativo entre as estações INMET e as normais climatológicas, onde os meses de setembro e dezembro apresentam chuvas bem abaixo da média, podendo ser classificados como de moderadamente secos a extremamente secos, destacando-se a região norte do estado no mês de setembro, e a região do litoral no mês de dezembro. Cabe destacar ainda no ano de 2019 que o mês de outubro foi considerado um mês úmido, comparado ao mesmo para o período, porém já o mês de novembro ficou dentro da média (entre -1 e 1), não mantendo a tendência apresentada pelo mês anterior.

Já o início de 2020, percebe-se que a precipitação se manteve abaixo do esperado para o período. O mês de janeiro apresentou chuvas dentro esperado, mas a partir de fevereiro nota-se que somente as áreas mais ao norte do estado apresentam precipitações dentro do esperado para o mês, enquanto o Centro-Sul do Rio Grande do Sul apresenta situação de seca severa a extrema.

Os meses de março e abril de 2020 representam os meses mais críticos quanto as chuvas, onde todo o estado se encontra em situação de seca, no primeiro destaca-se as regiões nordeste e centro, classificados como extremamente secos. Já abril, segue a situação de seca, porém mais amena quando comparada ao mês anterior.

Nota-se no decorrer do ano de 2020, uma pequena atenuação nos meses de maio, junho e julho, porém a maior parte do estado apresentando chuvas dentro da normalidade esperada para o período. Já o último semestre do ano voltou a ter precipitação abaixo do esperado, com destaque para a região Centro-Norte do estado, classificado como extremamente seco.

A aplicação do SPI-1 é interessante para avaliarmos o quanto o mês teve precipitação abaixo do esperado, porém para se ter a representatividade do evento é interessante a validação quanto a um período maior. Silva (2013) comenta que, por poder ser implementado em diferentes escalas temporais, o SPI pode apresentar diferentes respostas, onde conforme aumenta-se a escala de tempo, o índice responde mais lentamente a mudanças na precipitação. Ainda, como proposto por McKee et al. (1993), considera-se como evento de seca todo o período em que o índice é continuamente negativo, e alcança um valor igual ou menor a -1.

Tendo em vista a rápida variação que o SPI-1 apresenta, devido a considerar o acumulado mensal de chuvas, torna-se difícil mensurar a duração real do evento de seca.

Hayes et al. (1999) complementa afirmando que por permitir variadas escalas de tempo, o SPI é útil para o monitoramento de curto prazo da umidade do solo, primordial para a agricultura, e ainda em longo prazo, para o monitoramento de reservatórios de água e fontes subterrâneas. A partir disso, delimita-se também o comportamento do SPI nas escalas de 3 e 12 meses, afim de facilitar a interpretação do índice frente ao evento.

A Figura 25 representa o comportamento da precipitação ao longo das estações do ano, verão (janeiro, fevereiro e março), outono (abril, maio e junho), inverno (julho, agosto e setembro) e primavera (outubro, novembro e dezembro) durante o período avaliado. Para essa análise leva-se em consideração o SPI-3, que apresenta o acumulado de três meses.

Nota-se que o índice já caracteriza o inverno de 2019 com valores de precipitação abaixo do esperado para o período, principalmente no norte e nordeste do estado, sendo seguido de uma primavera com valores mais próximos ao esperado. O verão de 2020 já é caracterizado como severo e extremamente secos e todas as regiões do estado. O outono e a primavera de 2020 seguiram uma tendência mais próxima ao normal, com algumas poucas áreas onde o índice classifica como secas. Já o verão de 2021 volta a apresentar-se extremamente seco em todas as regiões do estado.

Essa análise é interessante para vermos como os meses de verão foram os meses que apresentaram os maiores déficits com relação aos acumulados de precipitação.

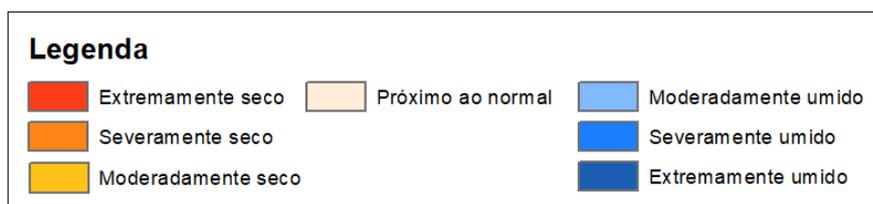
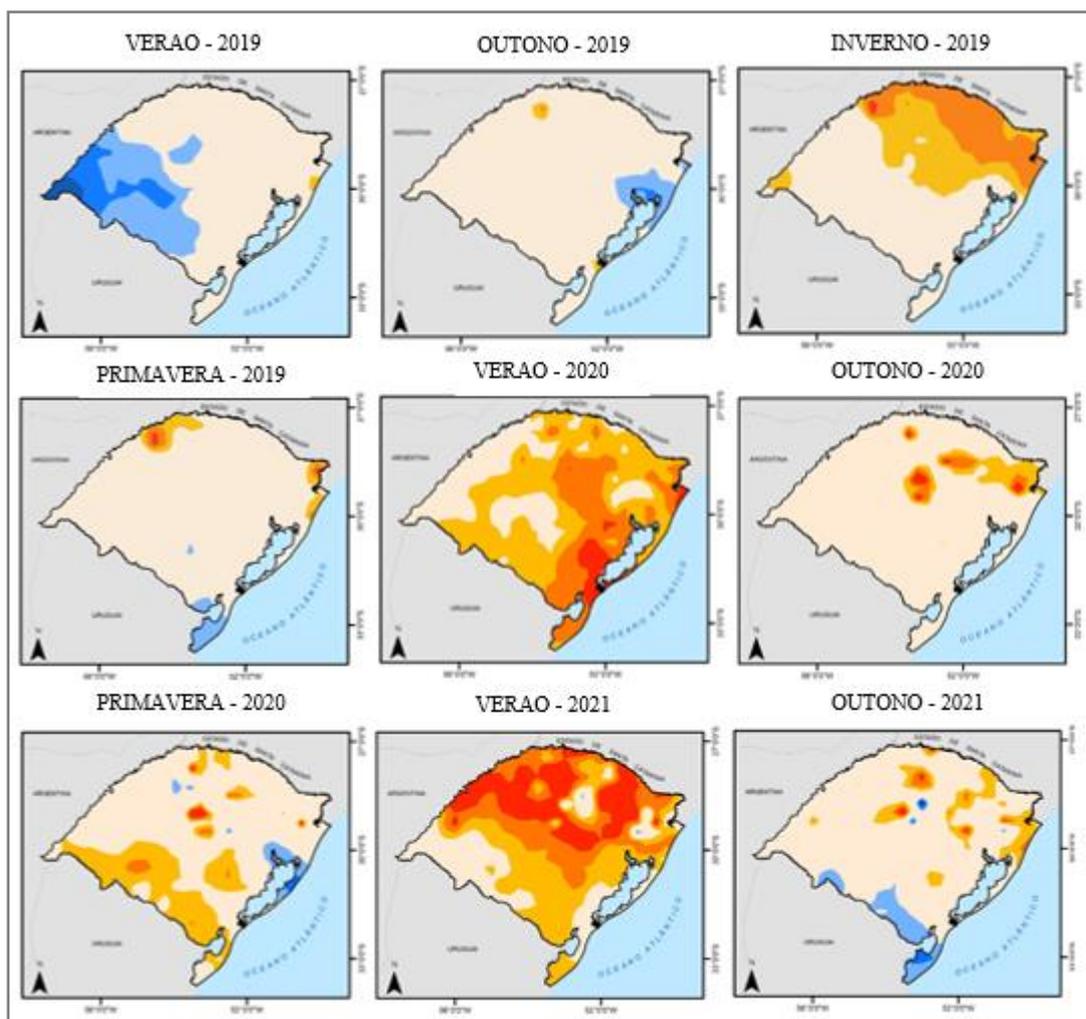


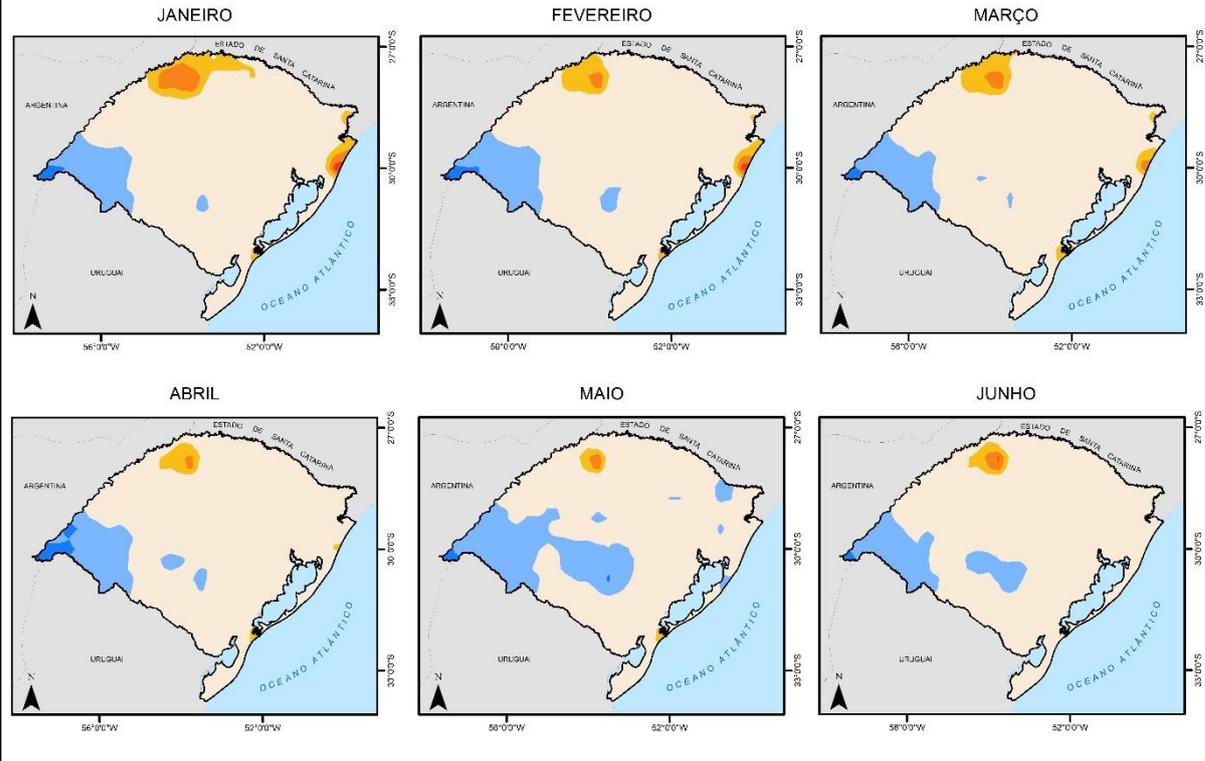
Figura 25. Resultados do SPI-3 para as estações nos anos de 2019, 2020 e 2021.  
(Fonte: Adaptado de CEMADEN)

Ao analisarmos o SPI-12, onde é verificado o quanto o acumulado de chuvas nos últimos doze meses ficou acima ou abaixo do esperado, pode-se notar o quanto o período anterior tem influência sobre o evento de seca.

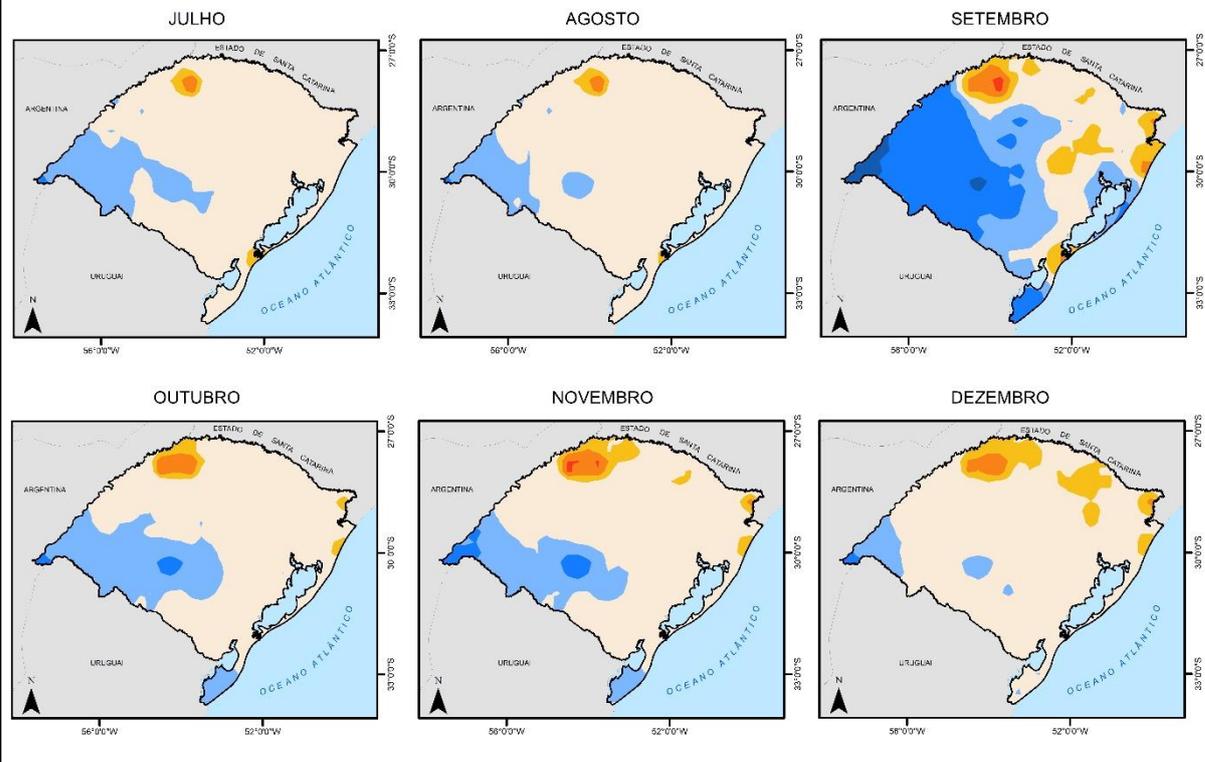
Durante todo o ano de 2019, o SPI-12 indica precipitação acumulada dentro da normalidade em quase todo o estado, com destaque apenas para o oeste indicando um período úmido. Porém, a partir de janeiro de 2020, já se apresentam áreas atingidas pela falta de chuvas.

A partir disso vê-se a propagação da seca pelo estado, iniciando pela região Norte e Nordeste do estado, na divisa com o estado de Santa Catarina, e se espalhando por todo o estado ao longo do ano.

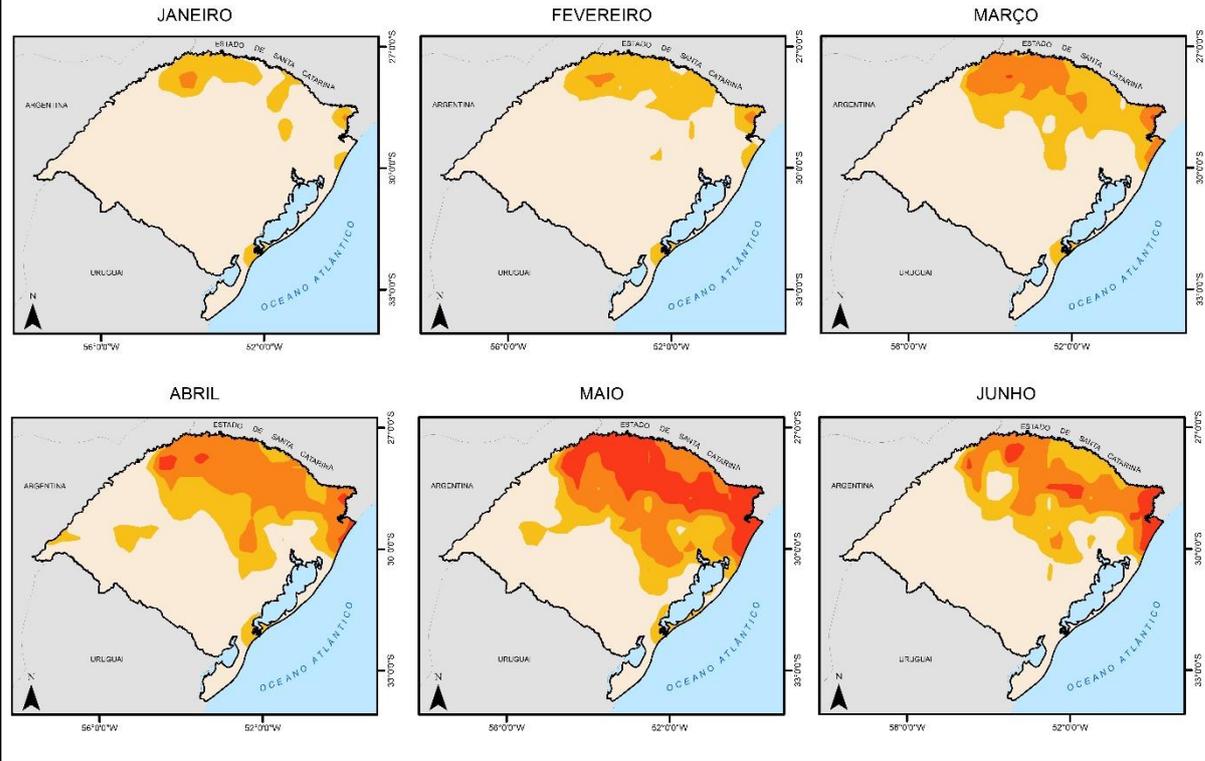
### SPI 12 - 2019



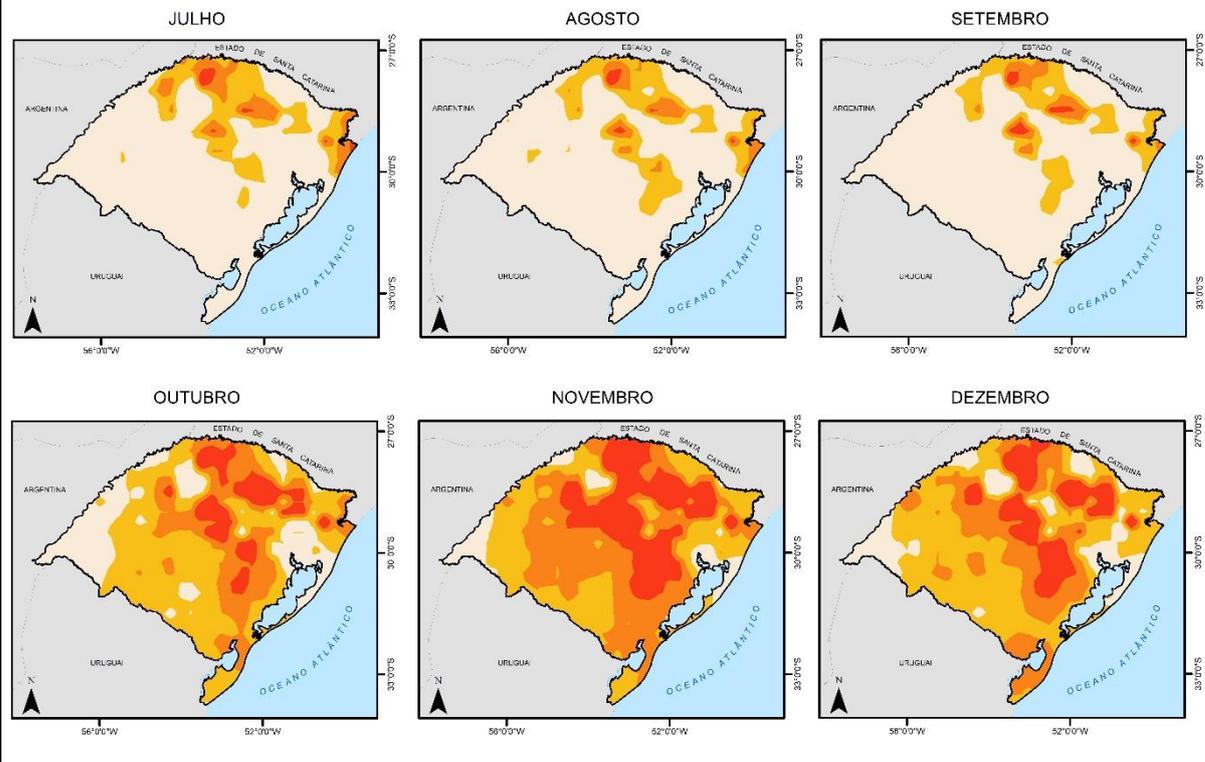
### SPI 12 - 2019



### SPI 12 - 2020



### SPI 12 - 2020



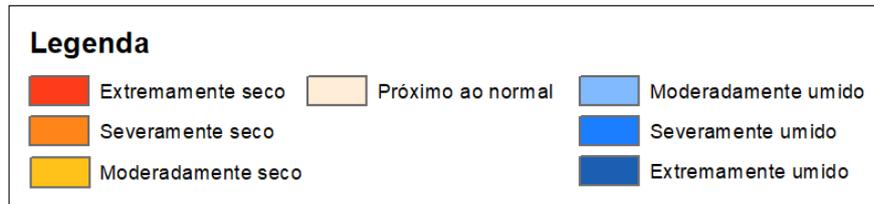


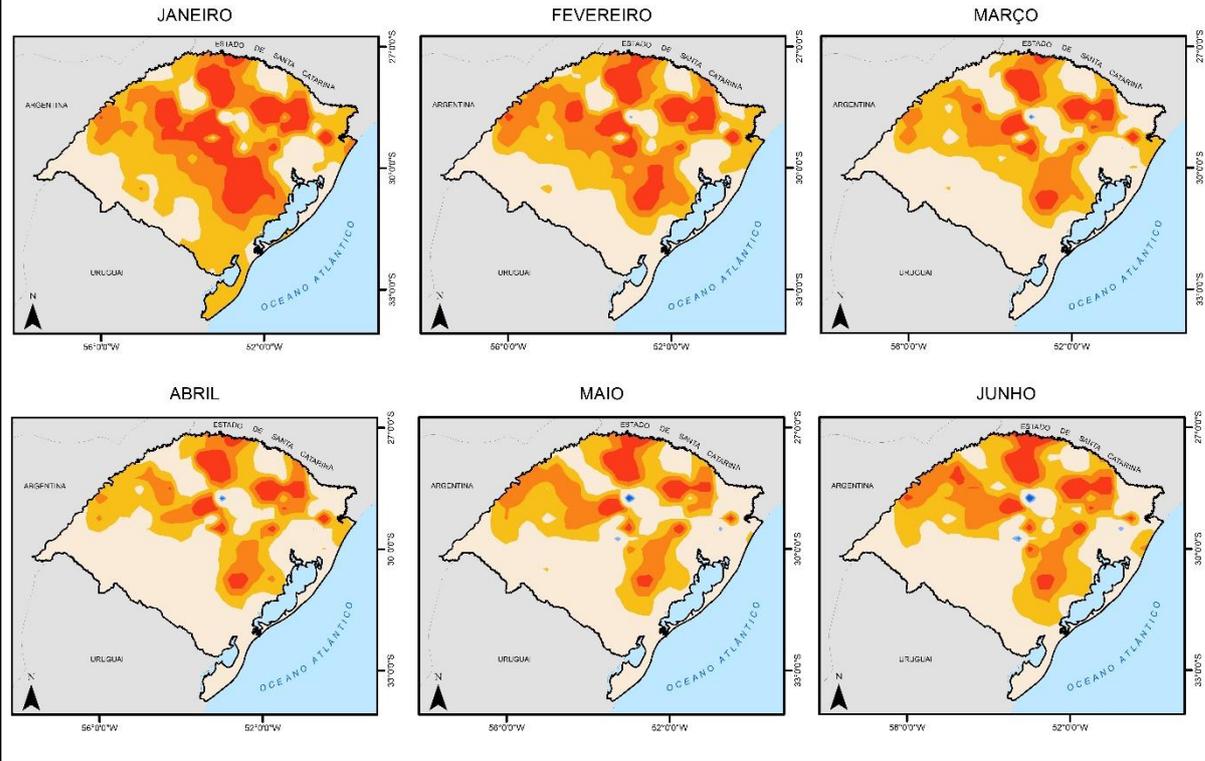
Figura 26. Resultados do SPI-12 para os anos de 2019 e 2020. (Fonte: Adaptado de CEMADEN)

Como proposto por McKee et al. (1993), considera-se como evento de seca todo o período em que o índice é continuamente negativo, e alcança um valor igual ou menor a -1. O SPI-12 é interessante principalmente para avaliação do início e do final do evento de seca. Assim, optou-se por estender o período de análise até o final do ano de 2021, como mostra a Figura 27.

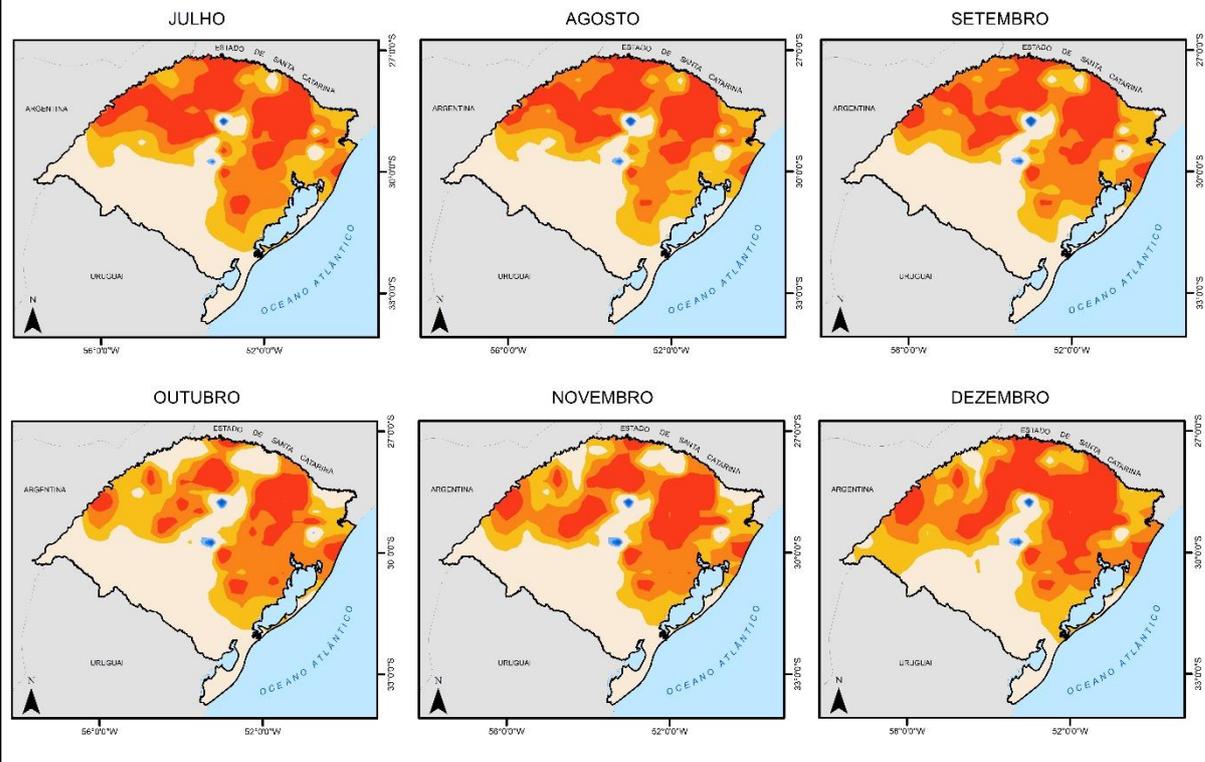
Nota-se que a precipitação ao longo do ano de 2021 não foi suficiente para caracterizar o fim do evento de seca, de acordo com o índice analisado, com o período variando entre leve e extremamente seco e todo o estado.

Percebe-se ainda que as regiões mais afetadas pela falta de chuvas nesse evento ficam no Centro-Norte do estado. As regiões Sul e Sudoeste se apresentam próximos a normalidade, possivelmente pelo fato dessas áreas já recebem volumes mais baixos de precipitação ao longo do ano, onde isso faz com que o índice apresente menor variação ao longo da observação desse evento.

## SPI 12 - 2021



## SPI 12 - 2021



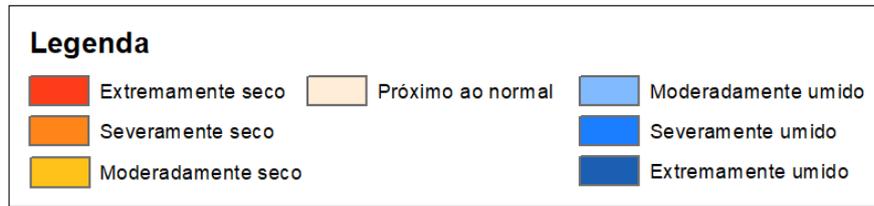
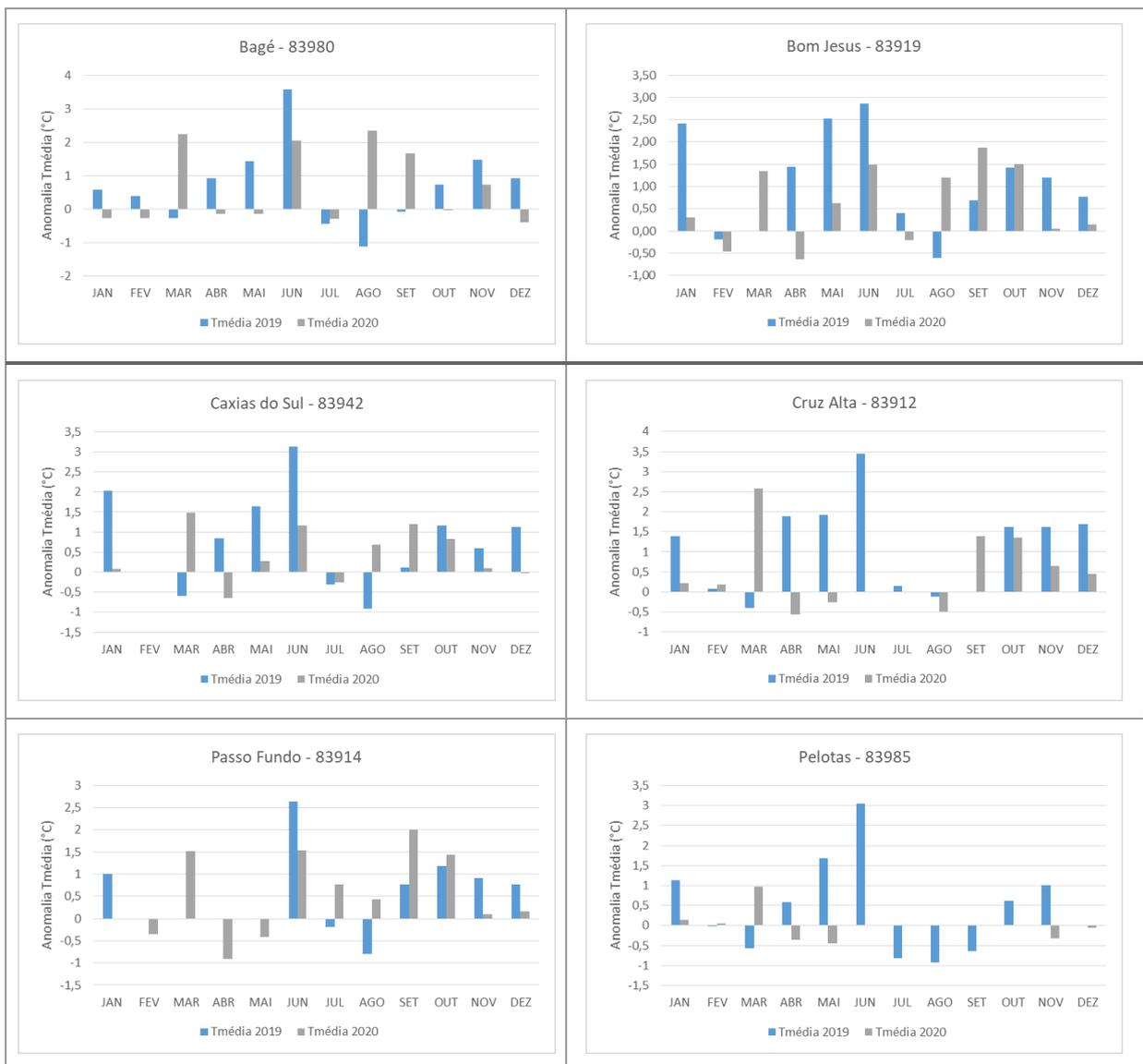


Figura 27. Resultados do SPI-12 para o ano de 2021. (Fonte: Adaptado de CEMADEN)

## 6.1. TEMPERATURA

Estão apresentadas nos gráficos da Figura 28 a anomalia entre a temperatura média mensal das temperaturas em comparação a normal climatológica para os anos de 2019 e 2020.



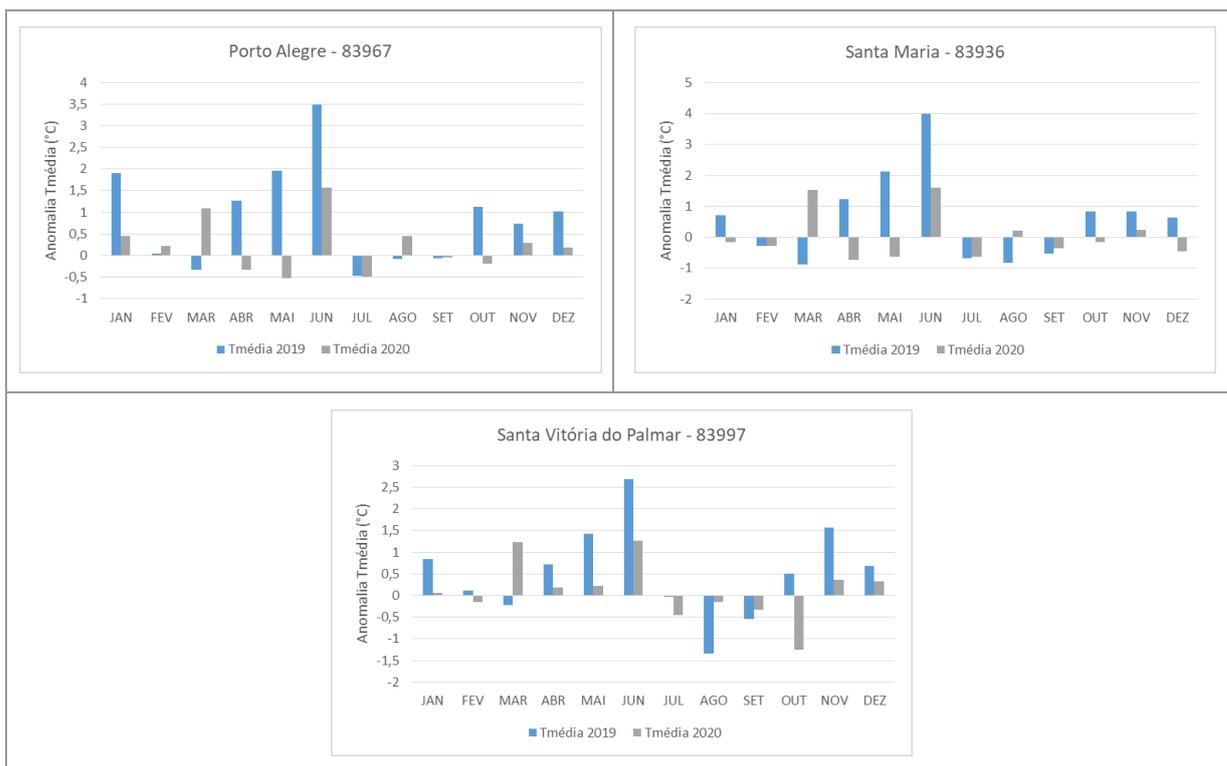


Figura 28. Anomalia das temperaturas médias mensais das estações INMET no período 2019 e 2020 (Fonte: Autor).

Ao analisar-se os gráficos de temperatura apresentados, nota-se que o último trimestre de 2019, composto pelos meses de outubro, novembro e dezembro, todas as estações analisadas apresentaram temperaturas médias mensais acima da normal climatológica, ou seja, acima da média para o período. Notam-se no mês de outubro, temperaturas acima de 0,5°C acima do esperado no Centro-Sul do estado, sendo +0,7°C em Bagé, +0,6°C em Pelotas, +0,8°C em Santa Maria, e +0,5°C em Santa Vitória do Palmar. Já nas demais regiões do estado, para o mesmo mês registraram-se temperaturas acima de 1°C acima da média, sendo +1,4°C em Bom Jesus, +1,1°C em Caxias do Sul, Porto Alegre e Passo Fundo, e +1,6°C em Cruz Alta.

Já no mês de novembro de 2019 as temperaturas em todas as estações analisadas no estado apresentaram variação acima da média, indo de +0,6°C em Caxias do Sul, a +1,6°C em Cruz Alta e Santa Vitória do Palmar. Ainda no mês de dezembro de 2019 as temperaturas seguiram a mesma tendência dos meses anteriores, ficando em média 0,8°C acima da normal, exceto no município de Cruz Alta, onde a temperatura ficou 1,7°C acima da média no município.

No início de 2020, os meses de janeiro e fevereiro, que já possuem a maior média de temperatura do ano, não apresentaram grande variação nas estações analisadas, tendo as temperaturas ficado dentro da média em todo o estado.

Já no mês de março de 2020 as temperaturas médias voltam a atingir valores acima do esperado para o mês, ficando acima de 1°C em todas as estações avaliadas. Destaca-se novamente a estação localizada no município de Cruz Alta, onde a temperatura no mês de março ficou 2,5°C acima do esperado para o mês, sendo seguido do município de Bagé, onde a estação registrou temperatura de 2,2°C acima da média mensal. Os meses de abril e maio de 2020 voltaram a registrar temperaturas dentro da normalidade para o período em todas as estações analisadas no estado do Rio Grande do Sul.

Ainda, vale o destaque para o mês de junho dos anos de 2019 e 2020, que como mostra a normal climatológica, em média é o segundo mês mais frio do ano, atrás apenas do mês de julho. No ano de 2019, o mês de junho apresentou temperaturas acima da normalidade em todas as estações analisadas, chegando a mais de 3°C acima da média nas estações de Bagé, Caxias, Cruz Alta, Pelotas, Porto Alegre e Santa Maria, e acima de 2,5°C nas estações de Bom Jesus, Passo Fundo e Santa Vitória. Já no mês de junho de 2020 as temperaturas voltaram a atingir valores acima do esperado para o mês, ficando em média 1,3°C acima do esperado em todas as estações analisadas, com destaque para a estações no município de Bagé, que ficou 2°C acima do esperado para o período no município.

## 6.2. VEGETAÇÃO

Os eventos de seca têm grande influência sobre as plantas, sobretudo na agricultura, onde devido à redução de umidade e precipitação, e se for longa o suficiente, podem afetar o ciclo como um todo (Braz et al. (2015).

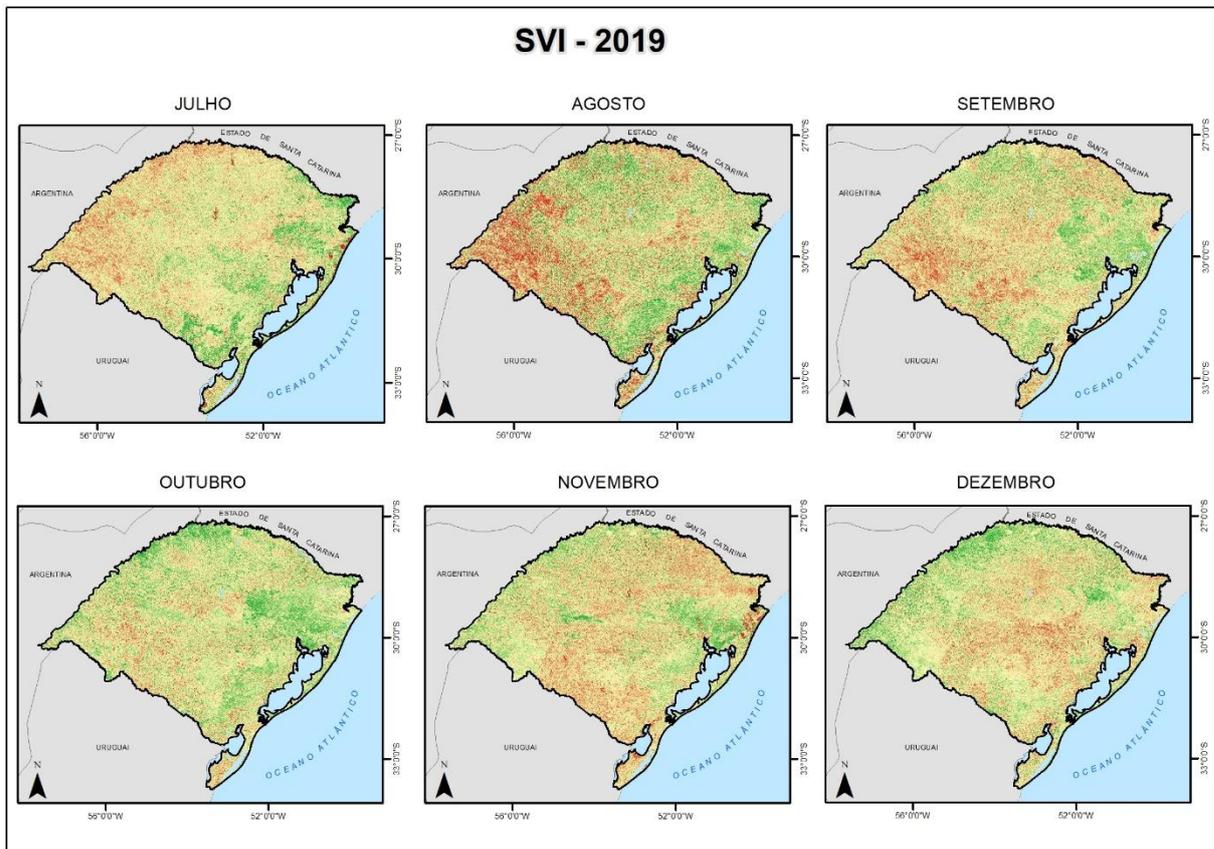
Através da padronização do índice de vegetação é possível avaliar o impacto do período de seca sobre as áreas do estado. A Figura 29 demonstra o índice mensal para o segundo semestre do ano de 2019 e ao longo do ano de 2020.

O índice apresenta pequenas áreas com variação negativa ao longo de todo o ano de 2019, porém destaca-se a maior abrangência de áreas afetadas a partir do mês de novembro, onde nota-se a maior espacialização com vegetação afetada, mas ainda próxima a normalidade.

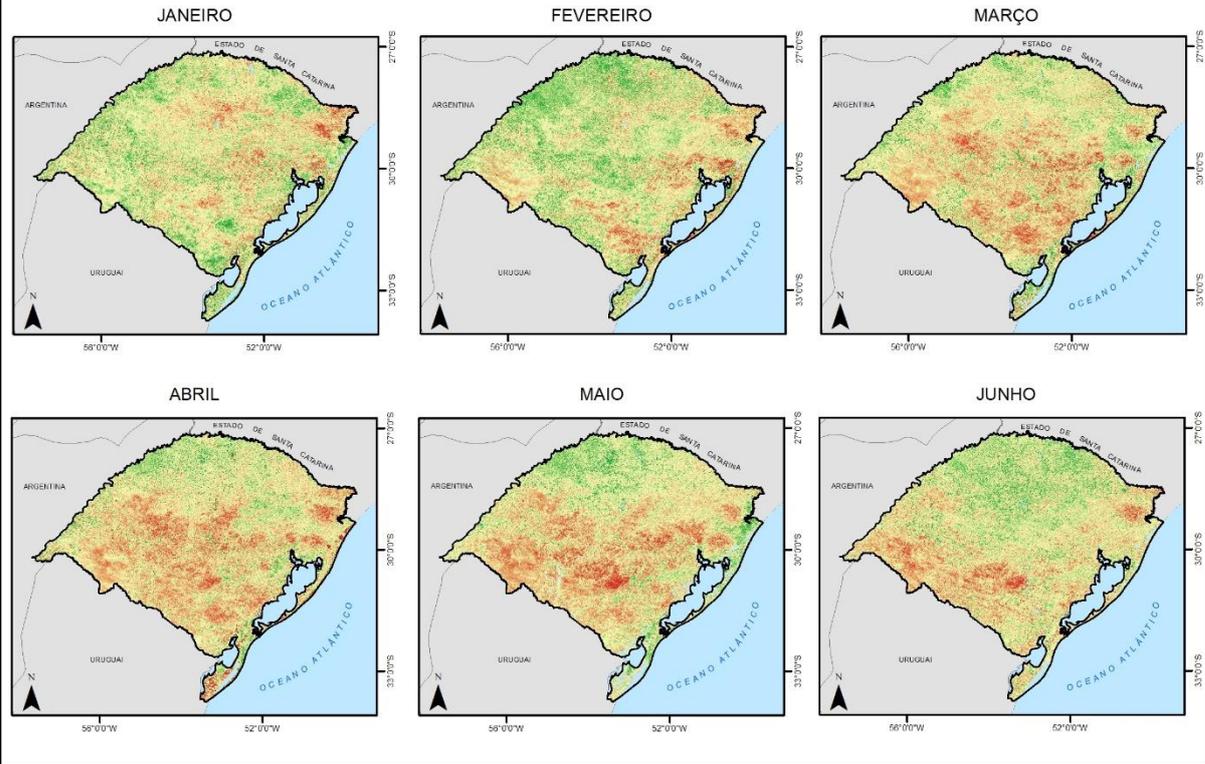
A partir do mês de janeiro de 2020 verifica-se uma piora pontual em algumas regiões do estado, com destaque a região sudeste do estado. Nas demais regiões o índice fica de próximo a ligeiramente abaixo do normal.

Notam-se variações no índice durante o ano de 2020, porém pode-se destacar o período a partir de fevereiro a maio como o período de evidência do período do evento de seca, onde destacam-se áreas caracterizadas como muito abaixo do normal. Esse período é concomitante com o período das safras de verão no estado, como citado por Junges et al. (2020), onde a

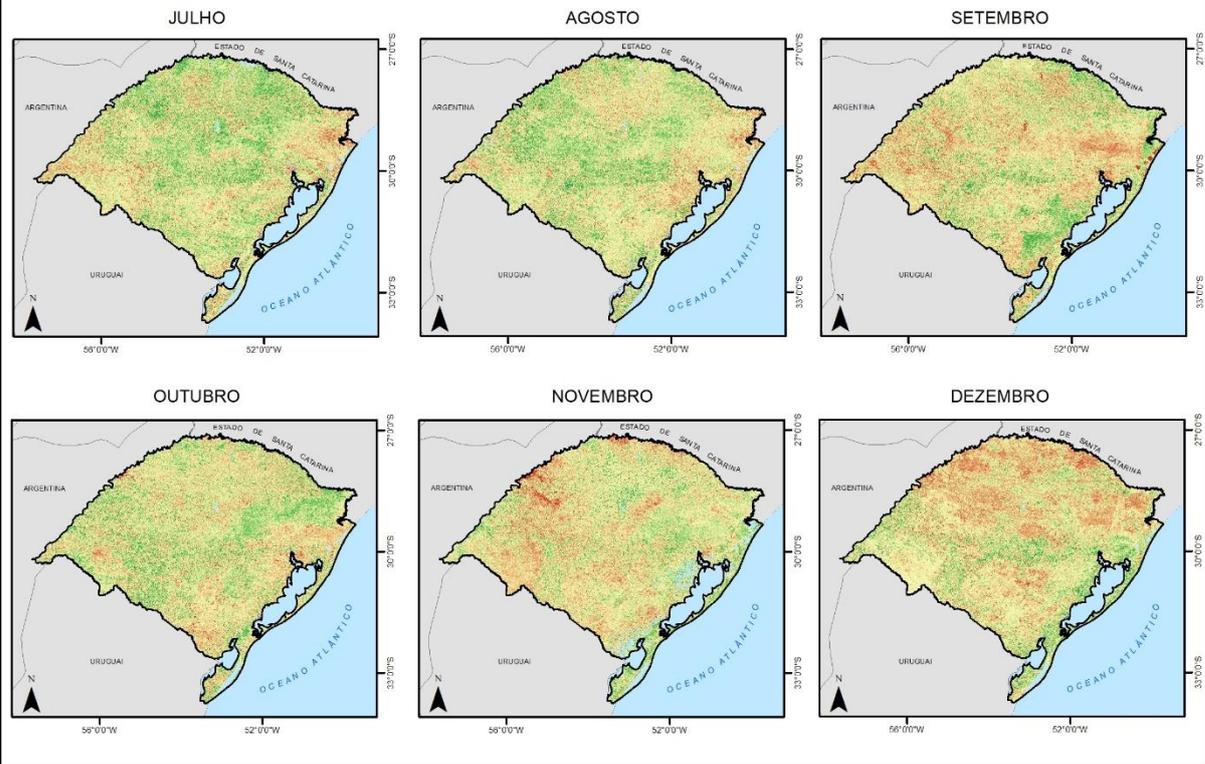
resposta da vegetação apresenta alterações no seu desenvolvimento devido à baixa pluviosidade.



### SVI - 2020



### SVI - 2020



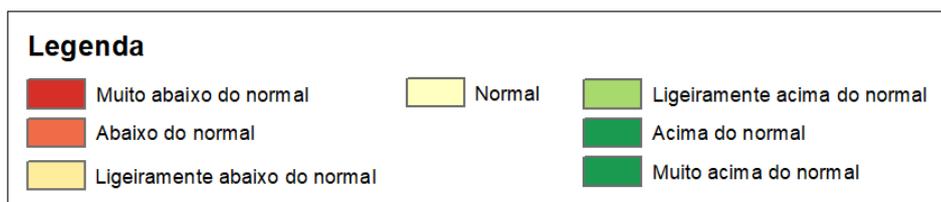


Figura 29. Resultados do SVI para os anos de 2019 e 2020. (Fonte: Autor)

As variações apresentadas no SVI podem se dar por diferentes formas. Por ser principalmente influenciado pela agricultura, o índice pode sofrer alteração devido ao atraso no plantio, ou alternância de culturas. Porém, vale destacar, que mesmo que essa variação seja influência do atraso no plantio, esse também se dá na maioria das vezes devido à falta de chuvas. Leivas et al. (2014) comenta que as chuvas de dezembro a março explicam cerca de 80% do rendimento de grãos no Rio Grande do Sul, principalmente para a cultura da soja.

Ao comparar-se o mapa de uso e ocupação do solo no Rio Grande do Sul e as áreas afetadas apresentadas pelo SVI (Figura 30), notam-se que as áreas de agricultura foram realmente afetadas pelo evento, onde, de acordo com a classificação apresentada, classificam-se em categorias de seca. Cabe destacar as áreas classificadas como “campo”, que principalmente nos meses de março, abril e maio, mostram que esse tipo de vegetação apresentava sinais de problemas devido à seca prolongada, em conjunto as altas temperaturas ocorridas, principalmente no mês de março, como destacado anteriormente. É interessante notar que essas áreas de campo, não são áreas cultivadas, demonstrando que mesmo a vegetação natural sofreu com os impactos da seca.

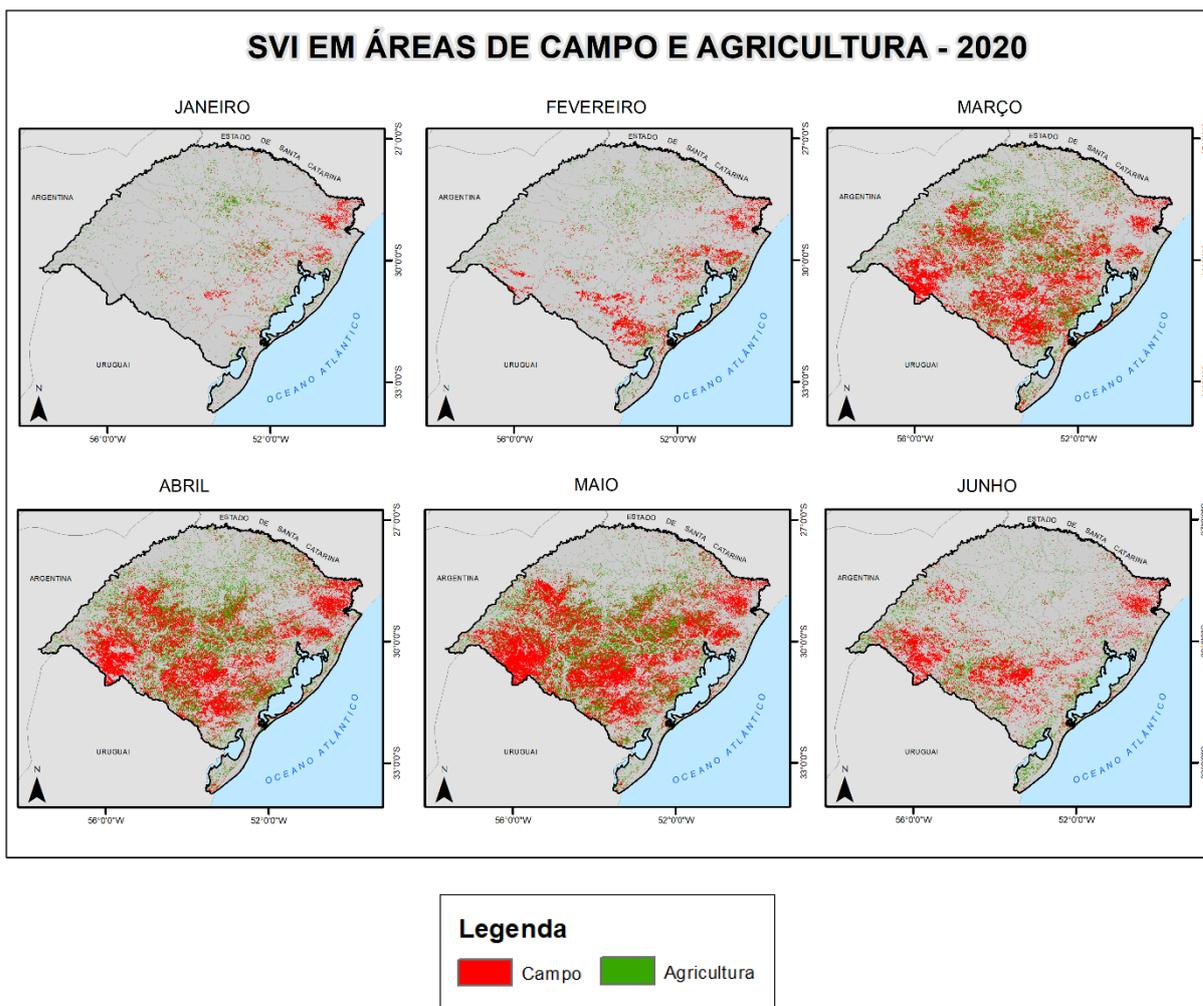


Figura 30. Tipos de vegetação mais afetadas pela seca. (Fonte: Autor).

Os resultados verificados pelo índice coincidem com o que o Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária do RS - DDPA (2020) apresenta quanto ao rendimento de grãos de soja no estado na safra 2019/2020, onde os volumes baixos de precipitação nos meses de fevereiro e março são coincidentes com a etapa do ciclo dessa cultura com maior demanda hídrica, e com isso as perdas de rendimento no período, que correspondeu a apenas 56% do rendimento da safra anterior (2018/2019). Ainda segundo DDPA (2020) a safra do milho ficou muito próxima ao rendimento médio da série histórica no estado, porém representando apenas 70% da safra anterior.

### 6.3. VAZÃO/ESCOAMENTO

Primeiramente, avaliaram-se as vazões de referência para o período. Foram selecionadas as estações fluviométricas apresentadas na Tabela 7, representativas de diferentes bacias hidrográficas do estado, juntamente com as vazões de referência consideradas baixas, representativas de períodos de seca.

Tabela 7. Vazões de referência de 85, 90 e 95% para estações fluviométricas no estado.

ID	Código	Nome	Bacia Hidrográfica	Q <sub>85</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>90</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>95</sub> (m <sup>3</sup> /s)
3	74100000	Iraí	Rio da Várzea	498,4	414,5	317,7
9	75230000	Santo Ângelo	Rio Ijuí	40,57	33,84	26,97
15	76560000	Manoel Viana	Rio Ibicuí	93,50	68,75	43,32
17	77500000	Quarai	Rio Quarai	3,31	2,22	1,40
20	85642000	Passo São Lourenço	Rio Jacuí	263,47	226,79	170,79
24	86510000	Muçum	Rio Taquari-Antas	60,02	46,45	29,96
26	87380000	Campo Bom	Rio dos Sinos	16,80	13,46	8,98
27	87399000	Passo das Canoas - Auxiliar	Rio Gravataí	3,57	2,87	2,14
28	87905000	Passo do Mendonça	Rio Camaquã	47,16	38,24	27,29

Na sequência é analisado o comportamento das vazões no período do evento nas diferentes estações selecionadas.

A estação Iraí (Figura 31), localizada na Bacia Hidrográfica do Rio da Várzea, no norte do estado, atinge a Q<sub>85</sub> já no final do mês de dezembro de 2019, seguindo em recessão, até atingir valores abaixo da Q<sub>95</sub>, com valor mínimo no mês de maio de 2020. Nota-se, ao final do ano de 2020 um comportamento parecido, onde as vazões voltaram a atingir valores abaixo da Q<sub>95</sub>.

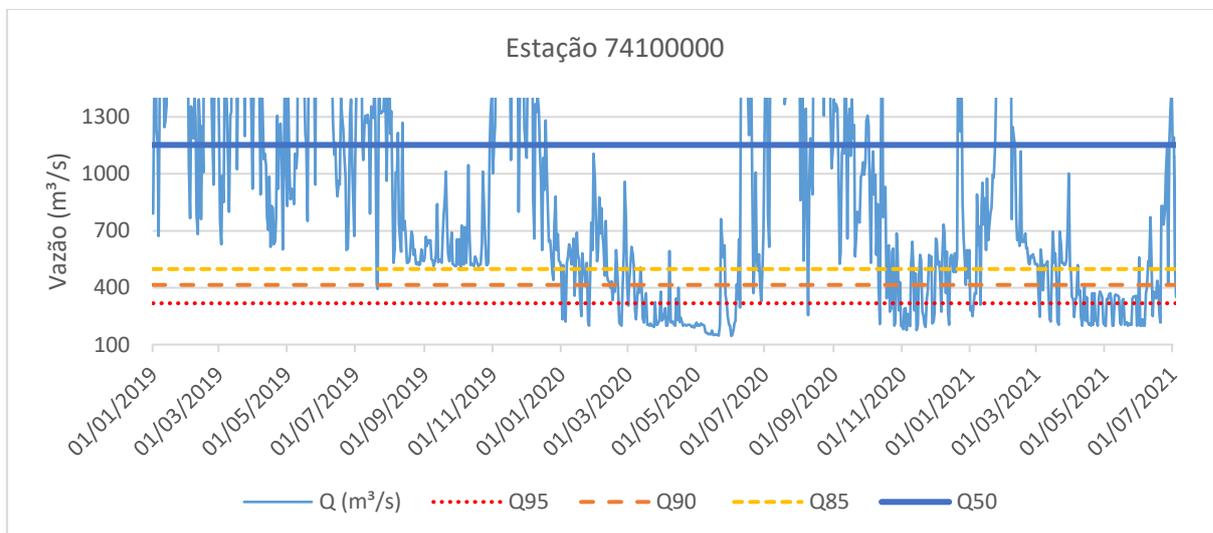


Figura 31. Variação nas vazões na estação 74100000 (Iraí) no período de 2019 a 2021.

A estação Santo Ângelo (Figura 32), na Bacia do Rio Ijuí, apresenta comportamento semelhante, onde as vazões apresentam acentuado declínio no final do ano de 2019, atingindo valores abaixo da Q<sub>95</sub> no mês de abril de 2020, e apresentando tendência de aumento nos meses seguintes, com novo declínio ao final do ano de 2020 e início de 2021.

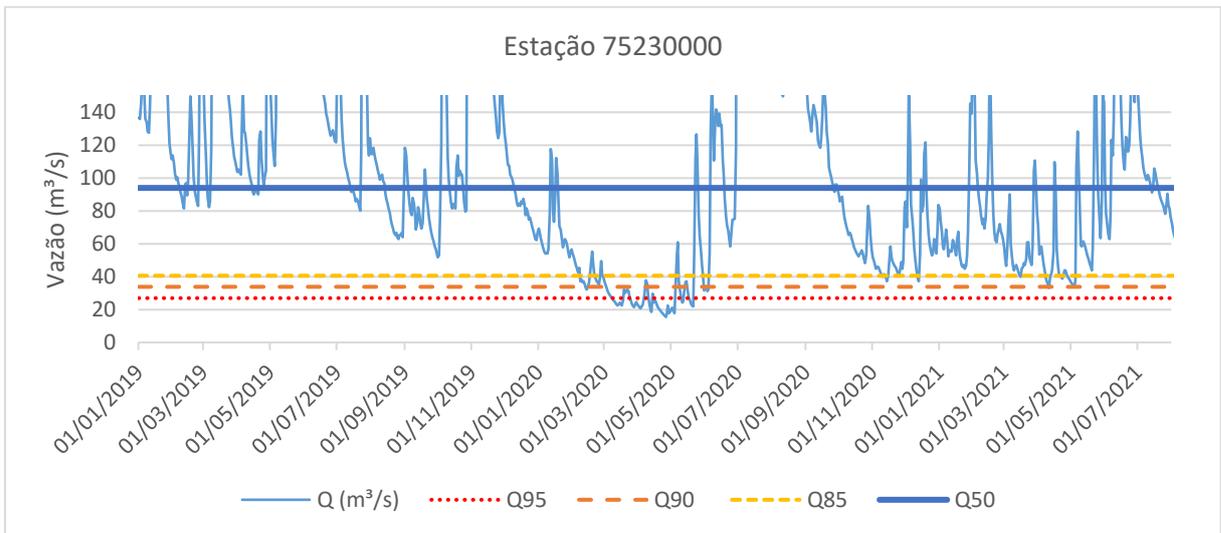


Figura 32. Variação nas vazões na estação 75230000 (Santo Ângelo) no período de 2019 a 2021.

Na estação Manoel Viana (Figura 33), na Bacia do Rio Ibicuí, as vazões variaram próximas a  $Q_{95}$  e  $Q_{90}$  no período, apresentando um pico de melhora no mês de janeiro, com rápido declínio posteriormente. Nesta estação também se percebe novamente a ocorrência de vazões reduzidas no final do ano de 2020.

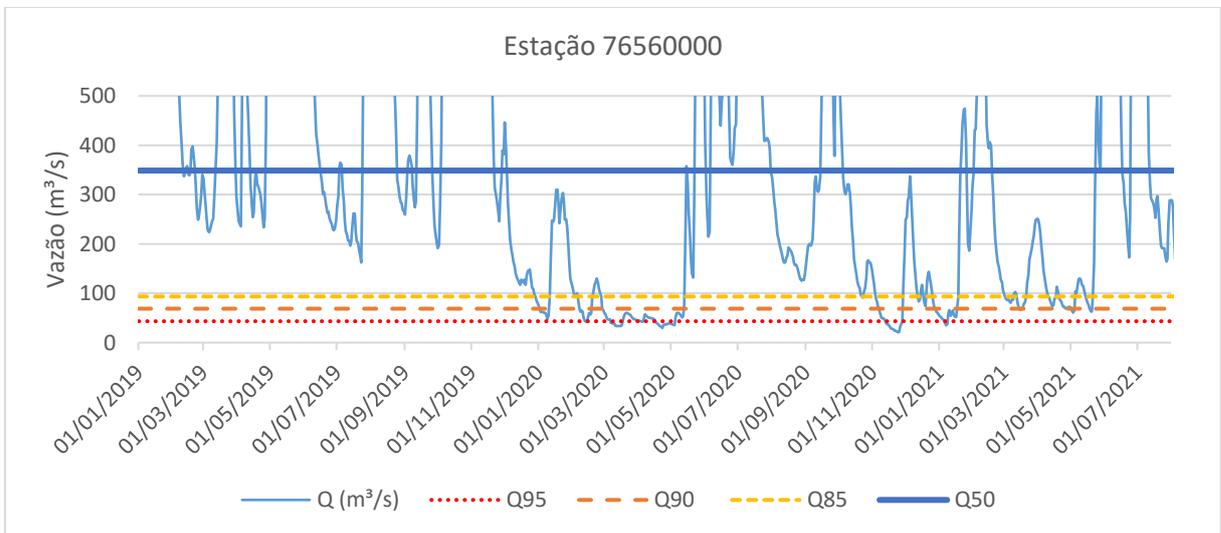


Figura 33. Variação nas vazões na estação 76560000 (Manoel Viana) no período de 2019 a 2021.

A estação Quaraí (Figura 34), localizada na Bacia de mesmo nome, apresenta valores semelhantes as demais apresentadas, atingindo limiares de vazão bem baixos no final de 2019 e início de 2020, atingindo a  $Q_{95}$  no período. Vale destacar, os limiares atingidos ainda no início de 2019, também baixos, chegando a valores de vazão próximos da  $Q_{85}$ .

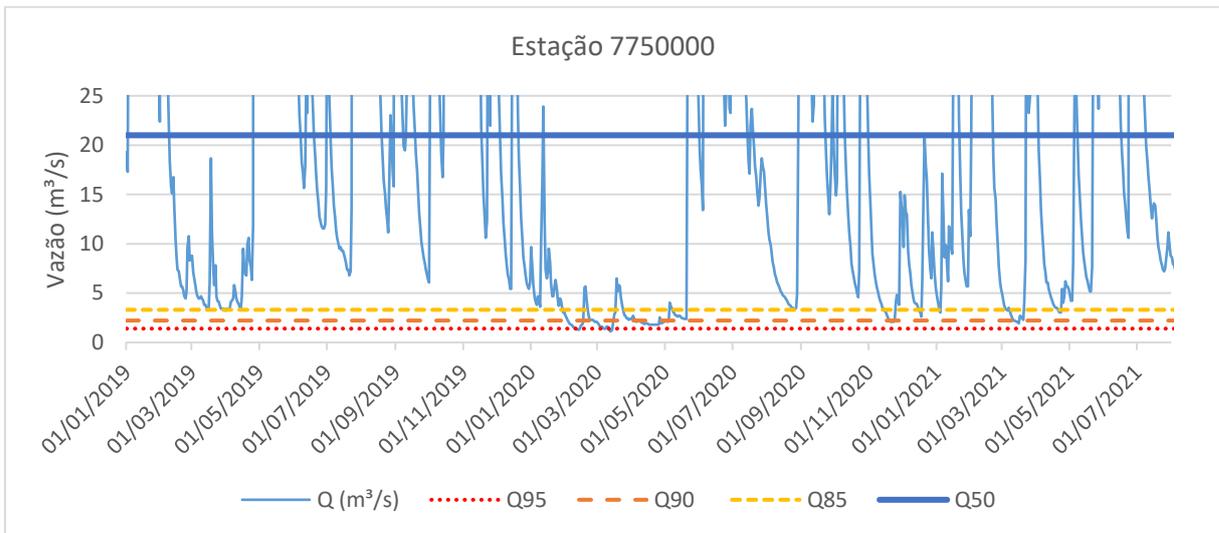


Figura 34. Variação nas vazões na estação 7750000 (Quaraí) no período de 2019 a 2021.

A estação Passo São Lourenço (Figura 35), na bacia do Rio Jacuí, atingiu valores próximos a  $Q_{90}$  no mês de janeiro de 2020, apresentando uma melhora no mês seguinte, porém próximos a  $Q_{85}$ , considerado bem abaixo do valor normal para a estação. Após, no mês de março voltou a recessão, atingindo os valores mais baixos ao longo dos meses seguintes, ficando abaixo da  $Q_{95}$ .

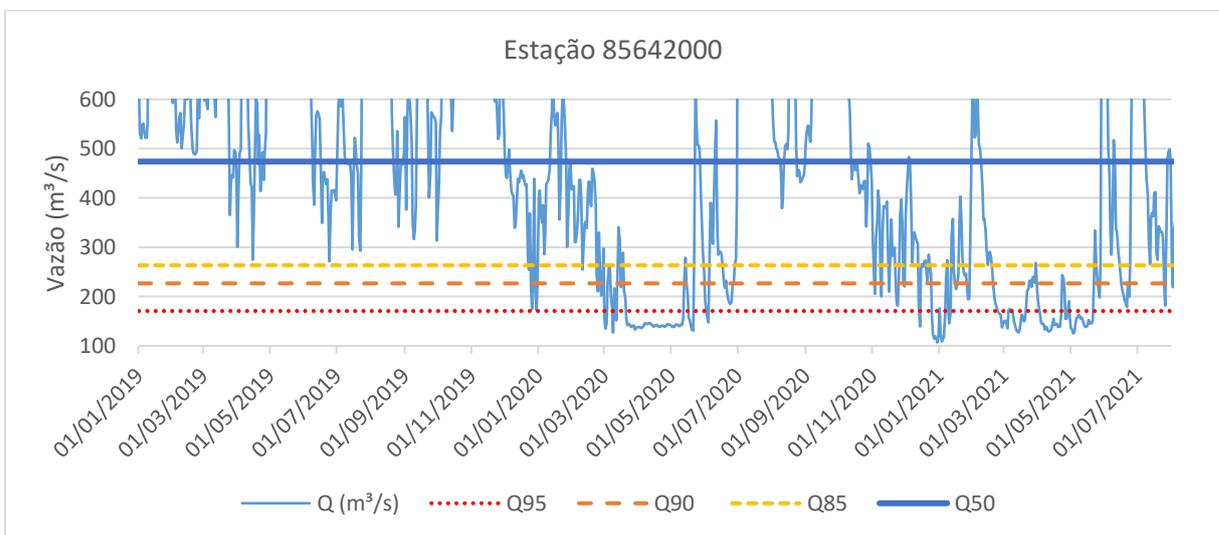


Figura 35. Variação nas vazões na estação 85642000 (Passo São Lourenço) no período de 2019 a 2021.

Na Bacia hidrográfica do Rio Taquari-Antas (Figura 36), representado pela estação Muçum, as vazões atingiram seus menores valores nos meses de março a maio de 2020, ficando abaixo da  $Q_{95}$ . Porém, ainda no final do ano de 2019, já se nota um acentuado declínio das vazões da estação, atingindo valores próximos a  $Q_{90}$  no último mês do ano e início do ano de

2020, apresentando pequenas variações nos primeiros meses, até entrar em recessão e atingir seus menores valores no início do outono.

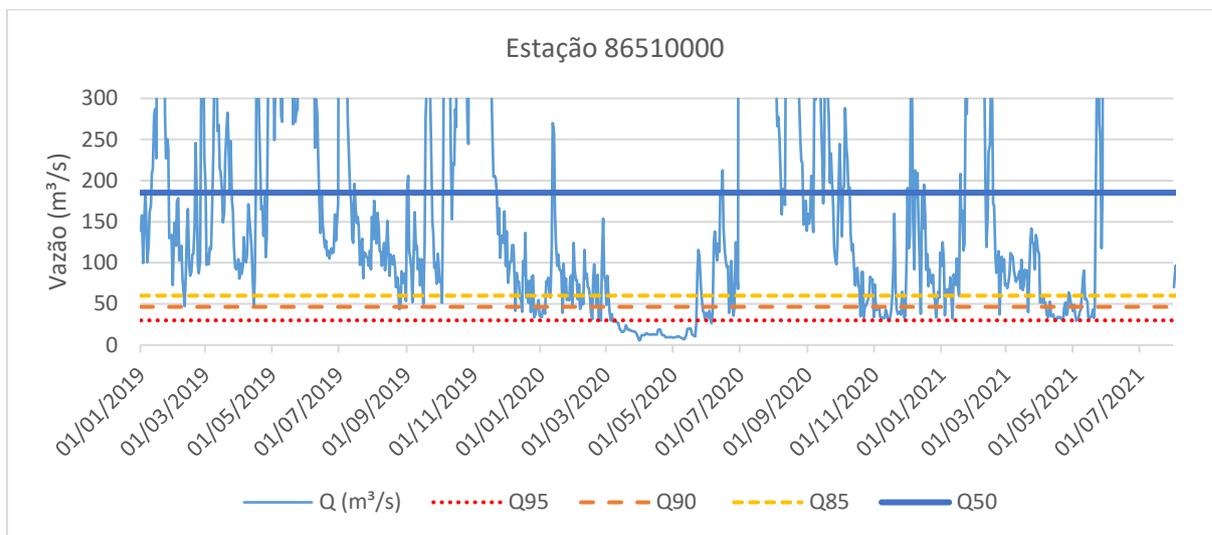


Figura 36. Variação nas vazões na estação 86510000 (Muçum) no período de 2019 a 2021.

Diferentemente das outras estações apresentadas, a estação Campo Bom (Figura 37), na Bacia do Rio dos Sinos, não atingiu valores de vazão abaixo da  $Q_{95}$ . Mesmo assim, verificaram vazões bem baixas na estação, ficando abaixo da  $Q_{90}$ , entre os meses de março a maio de 2020.

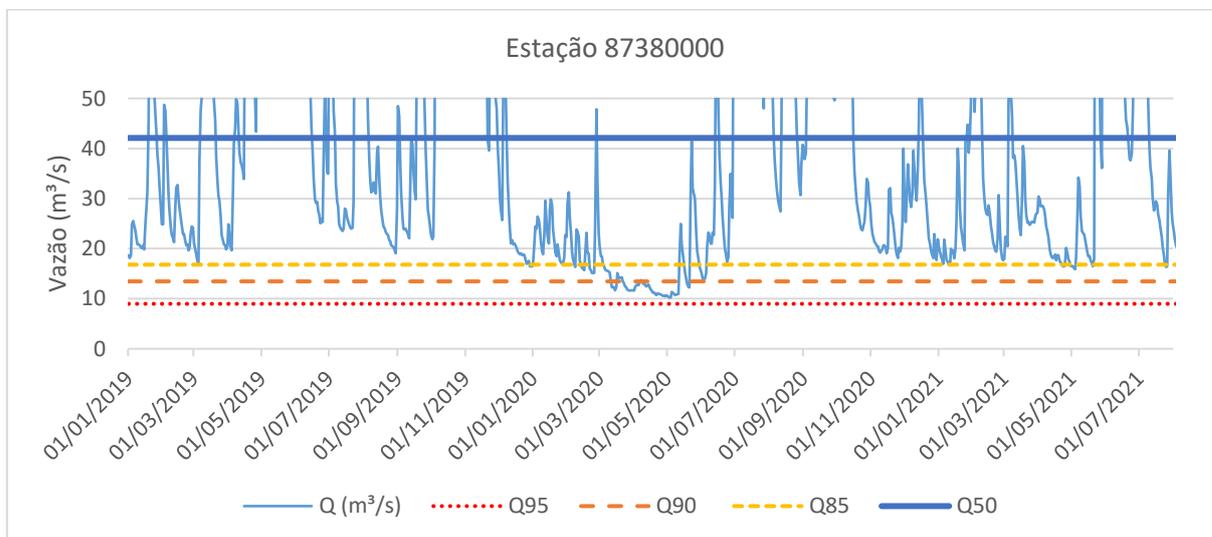


Figura 37. Variação nas vazões na estação 87380000 (Campo Bom) no período de 2019 a 2021.

A estação Passo das Canoas – Auxiliar (Figura 38), na Bacia do Rio Gravataí, apresenta comportamento sazonal ao longo do período analisado. Nota-se que as vazões apresentam valores abaixo da  $Q_{95}$  nos meses de verão, voltando a subir nos meses seguintes, mantendo vazões próximas a normalidade. Vale destacar a diferença do período nos meses iniciais de 2020 e 2021, onde se destaca o período prolongado de vazões baixas, em comparação ao início de 2019.

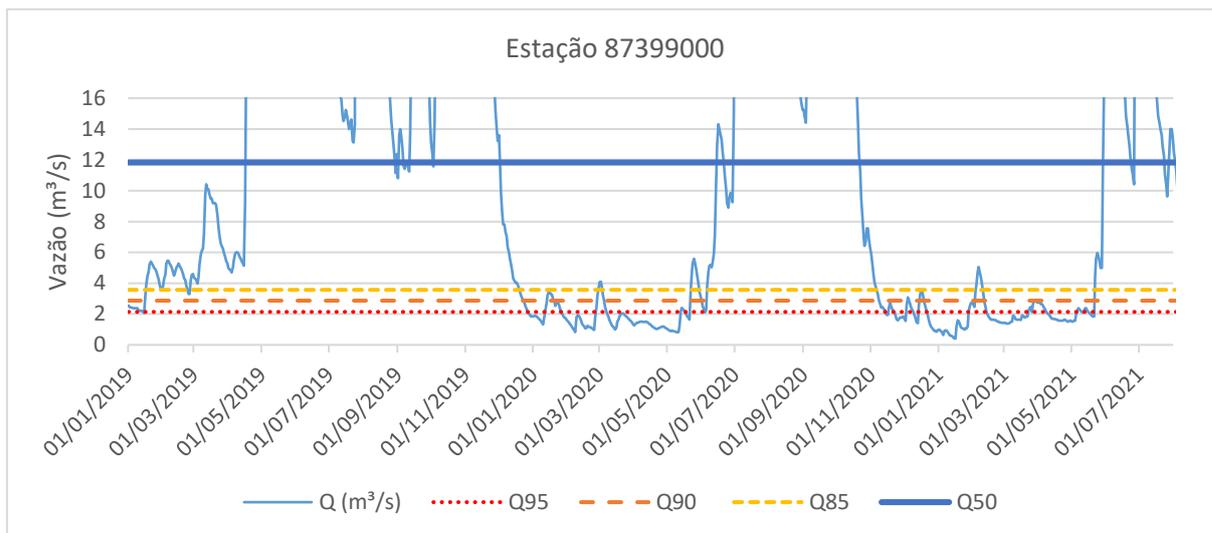


Figura 38. Variação nas vazões na estação 87399000 (Passo das Canoas – Auxiliar) no período de 2019 a 2021.

Já a estação Passo dos Mendonça (Figura 39), localizada na Bacia do Rio Camaquã, mostra uma queda acentuada nas vazões no final do ano de 2019, atingindo os menores valores de vazão, assim como as demais estações, nos meses de março, abril e maio, com vazões bem abaixo da Q<sub>95</sub> no período.

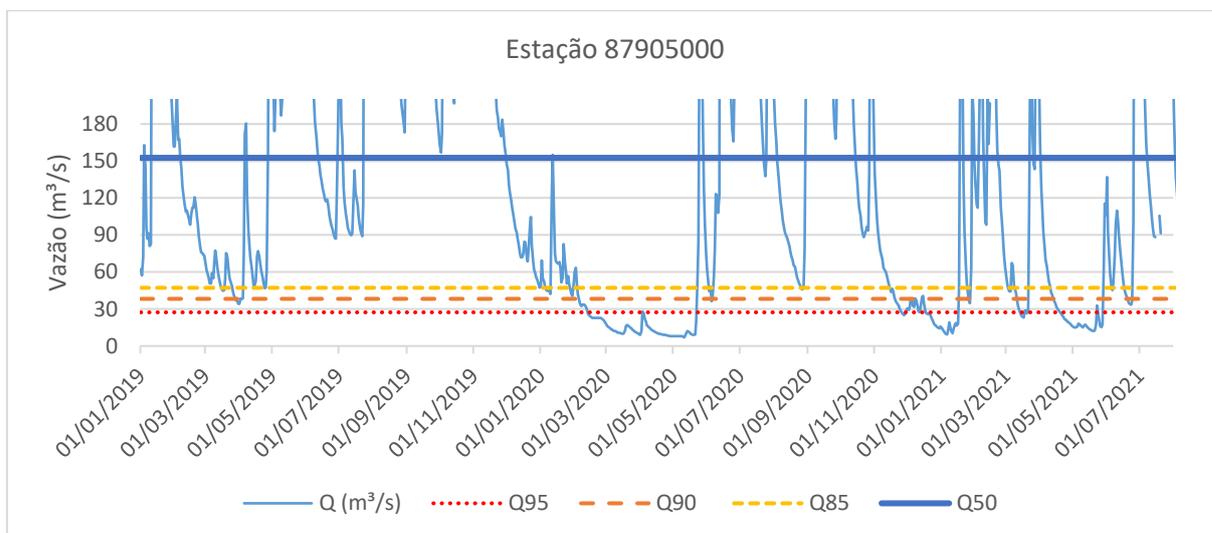


Figura 39. Variação nas vazões na estação 87905000 (Passo dos Mendonça) no período de 2019 a 2021.

Seguindo com a análise de vazões, a partir da aplicação do SSI aos dados das estações fluviométricas destacadas na Tabela 6, obteve-se a resposta do índice a cada mês do período analisado.

Na Figura 40 estão apresentados os resultados do SSI-1, ou seja, o quanto a média de vazão de determinado mês ficou abaixo do esperado de acordo com o mesmo período analisado ao longo da série histórica. Nota-se a rápida resposta que a vazão tem em relação a diminuição das chuvas.

Durante o ano de 2019 vemos que as estações analisadas mantiveram-se dentro da normalidade na maior parte do ano. No mês de maio de 2019, onde o SPI apresentou situação de chuvas acima da média, as estações, de acordo com o SSI-1, mostraram resposta rápida, ficando também acima da média, podendo classifica-las em situação de moderadamente úmido. Já no mês de setembro, na região nordeste do estado, os rios apresentavam situação de seca fraca, devido ao baixo acumulado de chuva em agosto, e principalmente em setembro na região.

Já no ano de 2020 que o índice apresenta a pior situação frente a vazão no estado, onde no mês de abril todas as estações analisadas apresentam situação de seca, podendo ser classificado de moderado a extremamente seco.

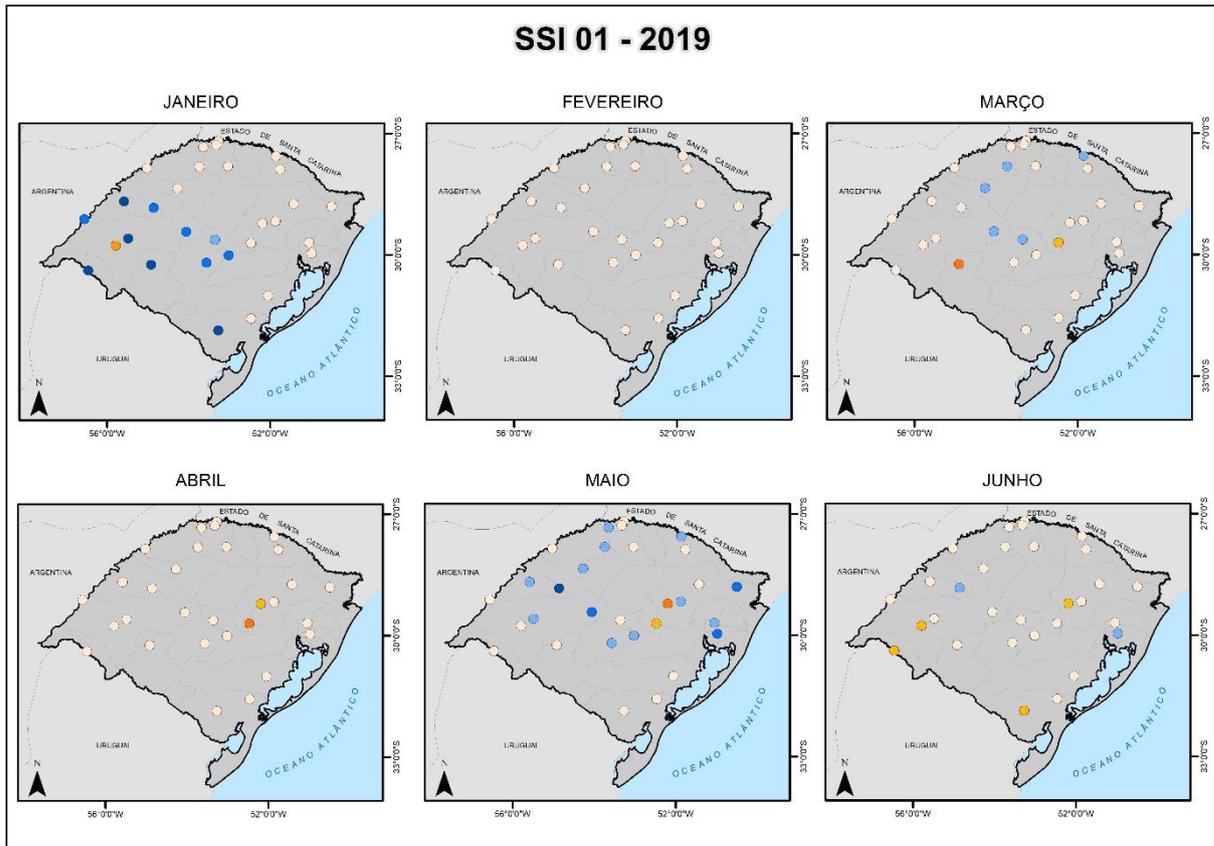
É interessante notar a propagação da seca no estado ao longo dos primeiros meses do ano de 2020, frente a vazão. A seca inicia-se pelo norte e nordeste do estado, se propagando para as demais regiões posteriormente, indo de encontro ao que foi verificado pelo índice de precipitação.

Nota-se que a região Norte do estado apresenta resposta rápida a variação de precipitação, onde a propagação de uma seca meteorológica para uma seca hidrológica ocorre dentro do mesmo mês. Essa resposta rápida fica ainda mais clara quando analisamos o mês de julho de 2020, onde o SSI-1 responde rapidamente ao maior acumulado de chuvas registrados no mês, e evidenciados pelo SPI-1.

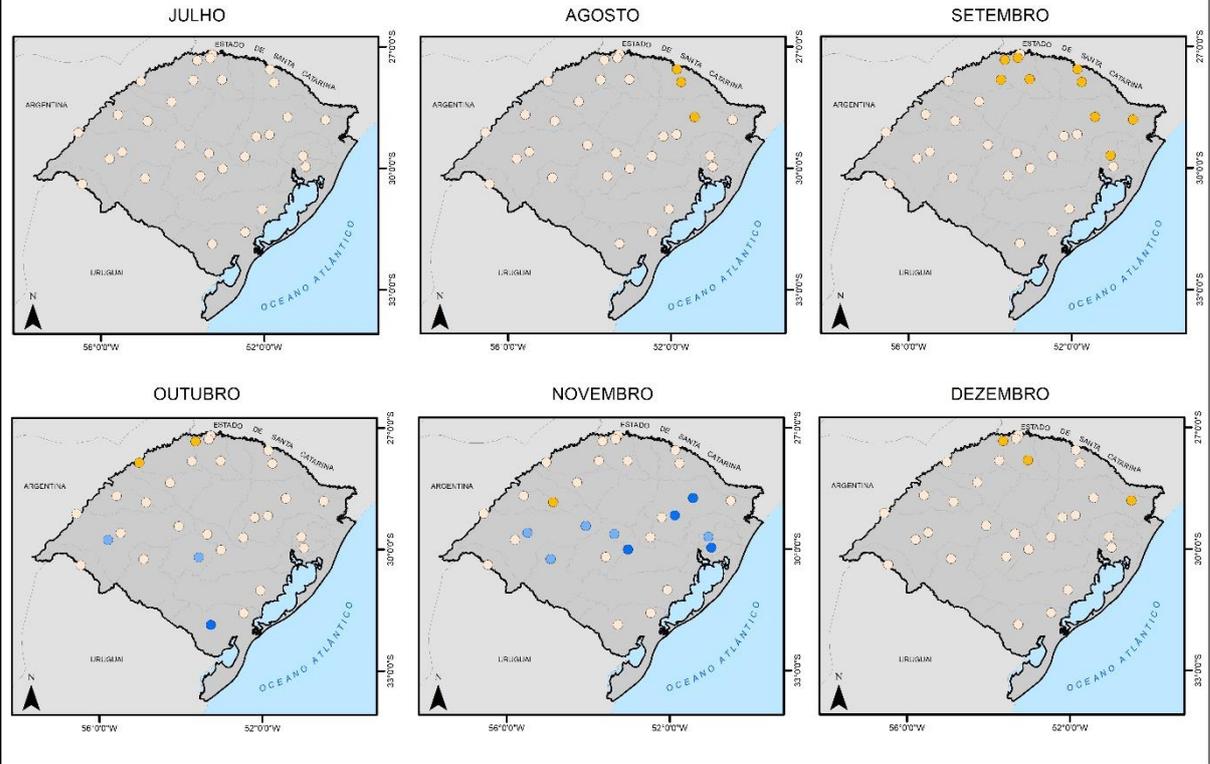
A região central do estado demonstra uma resposta mais lenta frente a baixa pluviosidade, quando comparada ao norte do estado. Isso fica mais nítido quando avaliam-se os meses de fevereiro e março de 2020. No mês de fevereiro as estações ainda demonstravam estado de normalidade na região, vindo a ser classificada em seca apenas no mês de março, onde as chuvas também ficaram abaixo do esperado. Esse tempo de resposta também fica evidente quando olhamos os meses de outubro e novembro do ano anterior, onde em outubro as chuvas foram mais significativas na área, porém, as estações apresentaram essa resposta apenas no mês seguinte. Assim, evidencia-se que para a região central do estado, a propagação de uma seca meteorológica para uma seca hidrológica é de aproximadamente um mês.

Essa variação pode estar relacionada as diferenças de altitude no estado, onde em regiões com maior declividade, os cursos d'água respondem mais rapidamente a qualquer alteração. Já em áreas mais planas, a resposta é mais lenta, como em planícies. Esse resultado se aproxima ao encontrado por Chagas et al. (2018), que demonstraram que o efeito das secas meteorológicas na vazão não é homogêneo, pois a propagação das secas se diferem

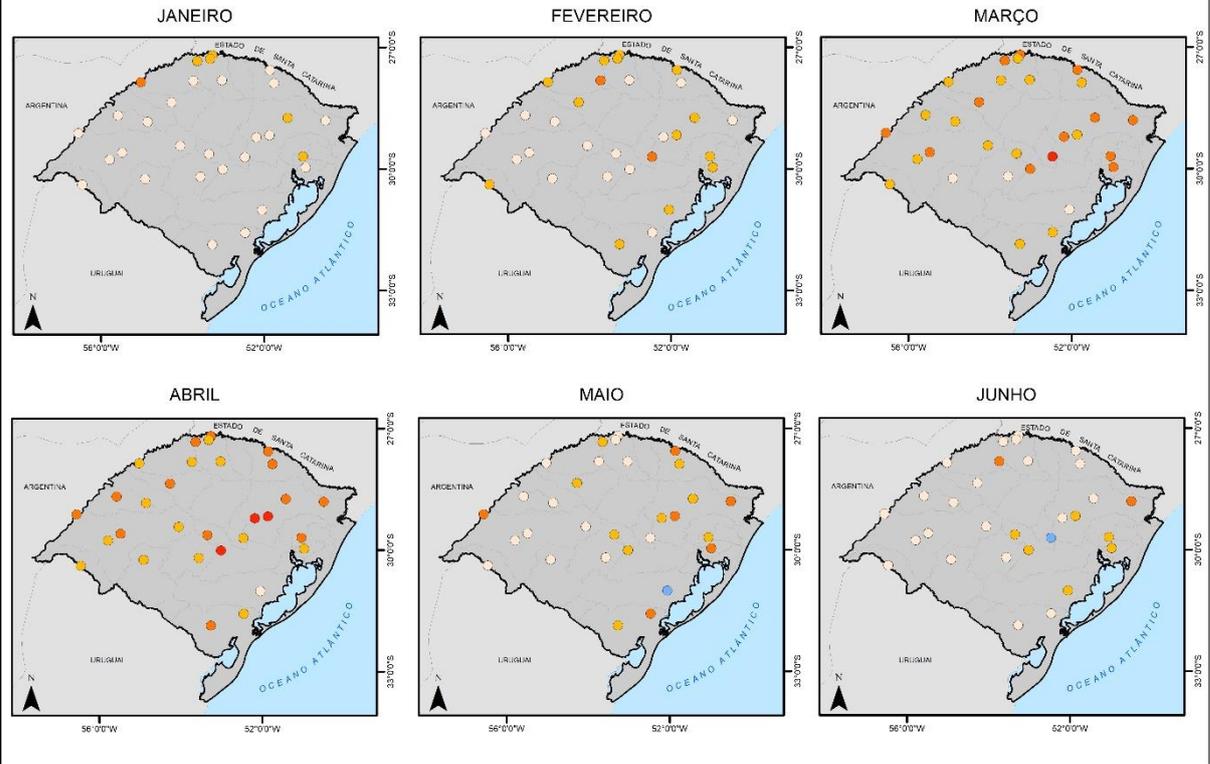
principalmente devido as características de cada bacia hidrográfica.



### SSI 01 - 2019



### SSI 01 - 2020



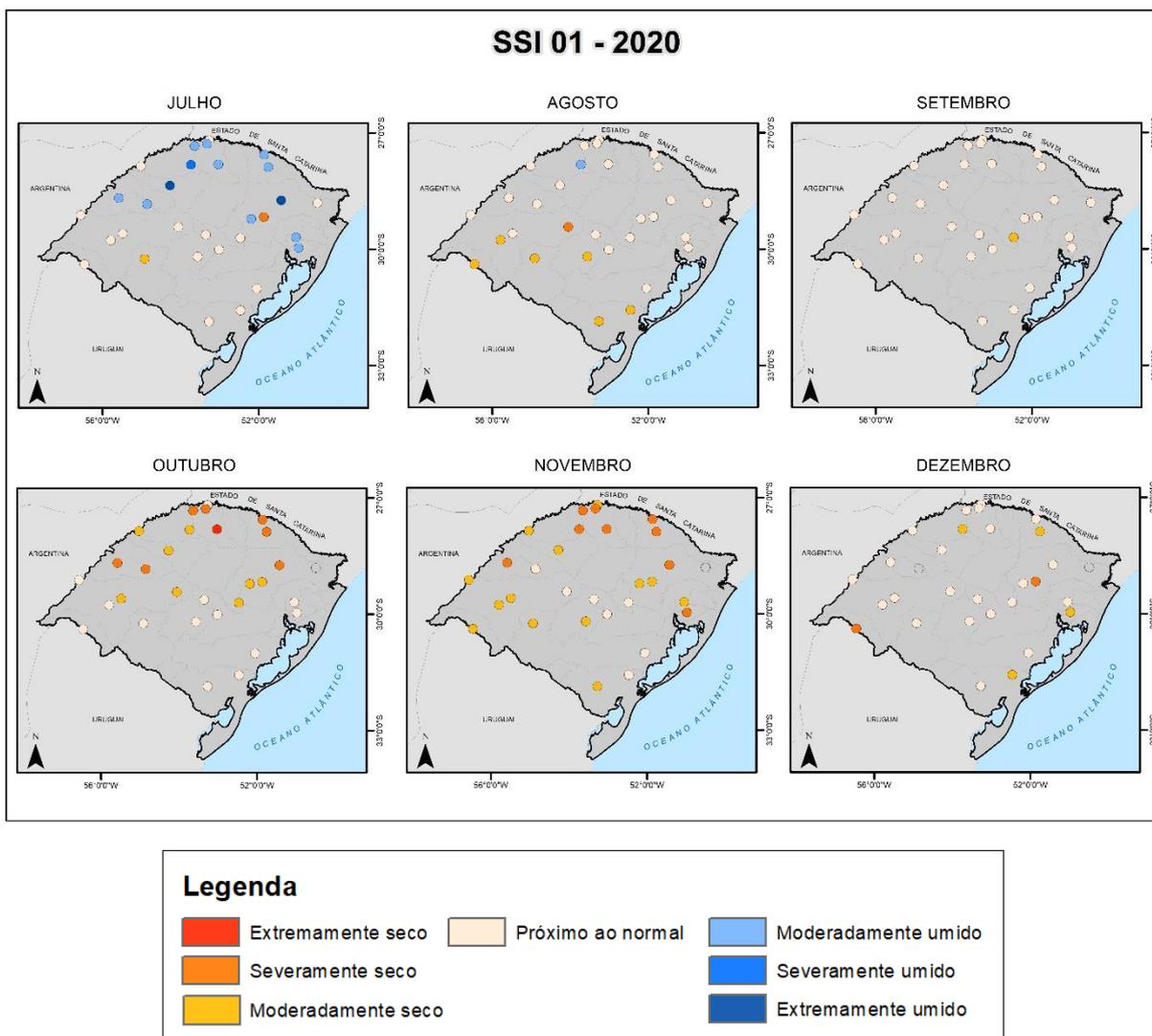


Figura 40. Resultados do SSI-1 para os anos de 2019 e 2020. (Fonte: Autor)

Esse resultado demonstra como as vazões no estado respondem rapidamente a variação das precipitações. Chagas et al. (2018) obtiveram resultados semelhantes, demonstrando que os efeitos da seca meteorológica já podem ser notados desde o primeiro mês no estado. Cabe destacar também, que podem ocorrer variações entre os tempos de resposta de estações próximas, devido a regularização de vazões ocasionada por reservatórios, que podem alterar as respostas frente ao evento.

Ainda, essa rápida resposta das vazões frente as variações das chuvas é encontrada durante o evento de seca estudado, onde pós eventos de chuva ocorridas no período, as vazões retornam a situação de seca, como demonstrada pelo índice. Isso é explicado pela vazão de base, que devido ao longo período com chuvas abaixo da média, essa se encontra com reduzida, fazendo com que logo que o escoamento decorrente a um evento chuvoso diminua, os níveis

dos rios voltem a apresentar situação de baixa disponibilidade hídrica. Para comprovar que essa resposta ocorre normalmente, precisaríamos analisar também períodos considerados normais.

O índice representa situação de normalidade, porém ainda abaixo da média, demonstrando ser uma situação de seca corrente. Esse fato se deve ao SSI considerar valores entre 1 e -1 dentro do normal. A Figura 41 demonstra essa questão, onde nota-se através do SSI-12 que o atual período de seca ainda segue, não ficando o índice positivo para sinalizar o final do evento. Destaca-se que seriam necessários volumes significativos de chuva, com boa distribuição temporal e espacial para que a situação se normalize.

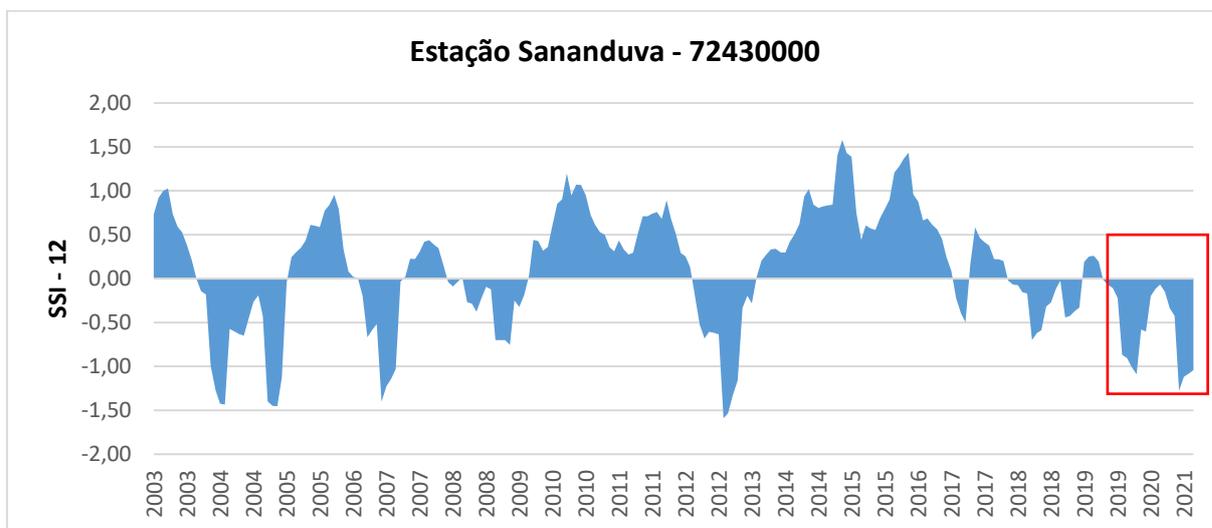


Figura 41. Dados de SSI para a Estação 72430000

Ainda é interessante notar outro período de seca reconhecidamente significativos no estado, nos anos de 2004/2005. Percebe-se que o período atual é muito parecido com o anterior, onde a duração do evento frente às vazões é extensa, porém o evento de 2004/2005 se demonstrou mais intenso, até o momento.

#### 6.4. OCORRÊNCIA DO FENÔMENO ENOS

Como apresentado anteriormente, para que seja caracterizado como a ocorrência do fenômeno ENOS, a temperatura da superfície do mar na região do Niño 3.4 deve apresentar cinco anomalias consecutivas de três meses. A Tabela 8 apresenta os valores de anomalias trimestrais da superfície do mar, onde os períodos quentes (em vermelho) caracterizam a ocorrência de El Niño e os períodos frios (em azul) a ocorrência de La Niña.

Tabela 8. Valores de anomalia da SST (Fonte: Adaptado de NOAA, 2022)

ANO	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2018	-0,9	-0,9	-0,7	-0,5	-0,2	0,0	0,1	0,2	0,5	0,8	0,9	0,8
2019	0,7	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,3	0,1	0,2	0,3	0,5	0,5
2020	0,5	0,5	0,4	0,2	-0,1	-0,3	-0,4	-0,6	-0,9	-1,2	-1,3	-1,2
2021	-1,0	-0,9	-0,8	-0,7	-0,5	-0,4	-0,4	-0,5	-0,7	-0,8	-1,0	-1,0

Nota-se através dos dados que o período compreendido entre os trimestres Junho/Julho/Agosto (JJA) de 2019 e Maio/Junho/Julho (MJJ) de 2020 é caracterizado como neutro, ou seja, não é considerado a ocorrência do La Niña ou El Niño. Ainda, percebe-se que não ocorreu o resfriamento das águas no período de ocorrência do evento de seca estudado.

Percebe-se também que o primeiro semestre de 2019 é indicado com a ocorrência do fenômeno El Niño, que caracteriza-se pelo aumento das chuvas no estado. Essa ocorrência está de acordo com o apresentado pelo SPI para os primeiros meses de 2019, com destaque para o mês de janeiro, que apresentou chuvas acima do esperado para o período.

Já a partir do segundo semestre de 2020 é caracterizada a ocorrência do fenômeno La Niña, quando ocorre o resfriamento das águas do Oceano Pacífico. Nota-se também que valores negativos já são apresentados desde o trimestre Março/Abril/Maio (MAM) de 2020, e se estendendo até o final de 2021, como um pequeno intervalo de neutralidade na metade do ano. A ocorrência do fenômeno La Niña a partir da metade de 2020 pode explicar a continuidade do período de seca iniciado em 2019, já que tem por característica a diminuição dos volumes de chuva no estado.

Assim, a anomalia de precipitação ocorrida no período de estudo, e que desencadeou o evento extremo de seca ocorrido no estado do Rio Grande do Sul, não está ligado a ocorrência do La Niña, de encontro ao apresentado por Reckziegel (2007), que demonstrou que outros períodos de seca no estado do Rio Grande do Sul ocorreram em anos neutros.

## 7. SÍNTESE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Essa seção apresenta uma análise integrada dos resultados obtidos até aqui, respondendo as questões levantadas nos objetivos deste trabalho, através do comportamento de cada variável

estudada e seu comportamento antes e durante o período da seca ocorrida no estado do Rio Grande do Sul.

O verão de 2019 apresentou chuvas acima da média no Oeste e Sudoeste do estado, e dentro da normalidade nas demais regiões do estado, em conjunto com a ocorrência do El Niño, que caracteriza-se pelo aumento da precipitação no estado, que se estendeu até o mês de junho do mesmo ano, onde foi seguido por um período neutro.

Ao longo dos meses seguintes de 2019, a precipitação ficou abaixo do esperado em todas as estações verificadas. Os meses de junho, julho, agosto e setembro tiveram precipitação abaixo da normal climatológica, chegando a 130 mm de déficit no mês de setembro na estação de Lagoa Vermelha, no norte do estado, resultando ao final de agosto e início de setembro, uma redução das vazões nas estações selecionadas das bacias hidrográficas do estado, chegando próximo a Q<sub>90</sub>.

Já as temperaturas ao longo do ano de 2019, os meses de abril, maio e junho apresentaram temperaturas acima da normal climatológica em todo o estado, com destaque ao mês de junho, sendo seguidos pelos meses de julho, agosto e setembro que apresentaram temperaturas dentro do esperado para o período. O último trimestre de 2019 voltou a apresentar temperaturas médias acima do esperado, tendo o mês de novembro a maior variação, com destaque a estação em Cruz Alta, que registrou cerca de 1,6°C acima do esperado.

Quando avaliamos, dentre os fatores hidrometeorológicos que levaram a esse evento extremo de seca, a precipitação se destaca, por ser esse o principal fator desencadeador de todos os outros efeitos posteriores resultantes desse tipo de evento.

Destaca-se a ocorrência de quatro meses seguidos com chuvas abaixo da normal climatológica (junho, julho, agosto e setembro), onde a precipitação ficou em média 77% abaixo da normal, fazendo com que as vazões apresentassem recessão em todo o estado. Após isso, apresentam-se dois meses com chuvas acima do esperado (outubro e novembro), sendo seguidos dos meses de verão, no final de 2019 e início de 2020, onde a precipitação também ocorreu abaixo do normal, ficando em média 95 mm abaixo do esperado, ou cerca de 67% abaixo da normal, com destaque ao mês de março de 2020, que registrou cerca de 20% do esperado para o mês. Com isso, as vazões voltaram a recessão acentuada no período, chegando nos meses seguintes aos valores mais baixos registrados durante o evento.

Através da Figura 42, que apresenta a análise temporal ao longo de todo o ano de 2019, demonstram-se algumas das situações causadoras do evento de seca 2019/2020. Esse tipo de

informação é útil para que se auxilie quando de situações semelhantes no futuro, ajudando na preparação e mitigação dos possíveis problemas a serem causados.

Durante o período do evento pode-se caracterizar, através de dados sistemáticos juntamente a aplicação dos índices de seca, a ocorrência de seca meteorológica, hidrológica e agrícola. A seca meteorológica é caracterizada já a partir de dezembro de 2019, iniciando pela região norte e nordeste do estado, e se intensificando no mês de março de 2020, em todo o estado.

A seca hidrológica já é percebida no mês de janeiro de 2020, com destaque para a região de fronteira com o estado de Santa Catarina. Esse resultado vai de encontro ao apresentado na Tabela 1, onde já no mês de janeiro, reservatórios de usinas hidrelétricas já apresentavam problemas devido a estiagem. A partir do mês de fevereiro as regiões norte, leste e sul do estado também apresentam pontos de seca hidrológica. No mês de março e abril o evento de seca hidrológica atinge todo o estado, com diferente intensidade.

Em relação a seca agrícola, essa é percebida principalmente a partir do mês de fevereiro de 2020, com o aumento da intensidade e das áreas atingidas, com destaque na região Centro-Sul do estado, mantendo-se durante os meses de março, abril e maio.

Um dos resultados disso se dá no número de municípios com decretos de emergência devido à seca no ano de 2019/2020, como mostra a Figura 19.

Todos esses fatores relacionados aos diferentes tipos de seca, levam a problemas no abastecimento público de água, perdas na agricultura, conseqüentemente aumento nos preços dos alimentos, entre outros, como os apresentados na Tabela 1. Tudo isso caracterizando o evento como seca socioeconômica.

Assim, demonstra-se que esse evento de seca extrema caracteriza-se pelo atingimento dos quatro tipos de seca.

Ao verificar-se as regiões do estado mais afetadas pela seca, pode-se destacar diferenças entre as variáveis apresentadas. Quanto a precipitação e a vazão, as regiões norte e nordeste do estado apresentam os piores resultados, podendo ser verificado quando se comparam as respostas aos índices empregados, onde esses classificam-se em severo a extremamente secos. Quanto a vegetação, pode-se destacar a região sul e sudoeste do estado como as mais afetadas, muito influenciadas pela resposta do campo frente ao longo período com precipitação abaixo da normalidade.

A seguir apresenta-se a análise temporal da seca, utilizando os dados não-sistemáticos (Figura 43) e os dados sistemáticos (Figura 44), levantados e apresentados ao longo deste trabalho, onde pode-se notar a progressão do evento de seca.

## Análise Temporal das Variáveis no ano de 2019

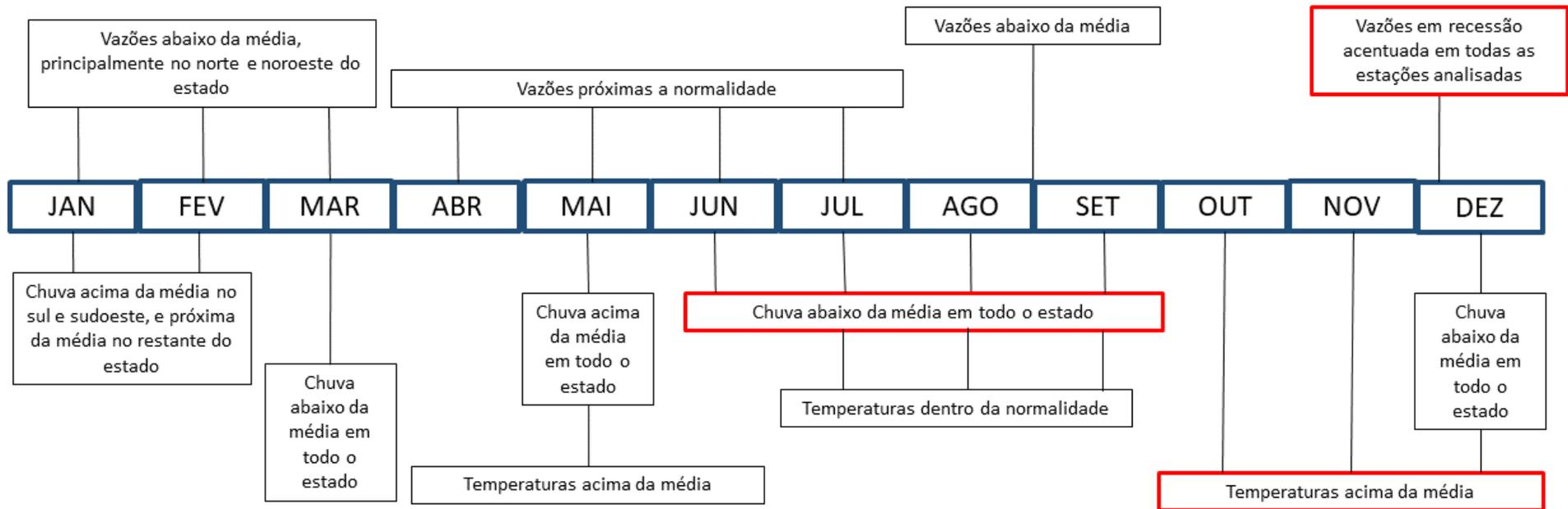


Figura 42. Linha temporal das variáveis no ano de 2019 (Fonte: Autor).

## Análise Temporal da seca 2019/2020 – Dados não-sistemáticos

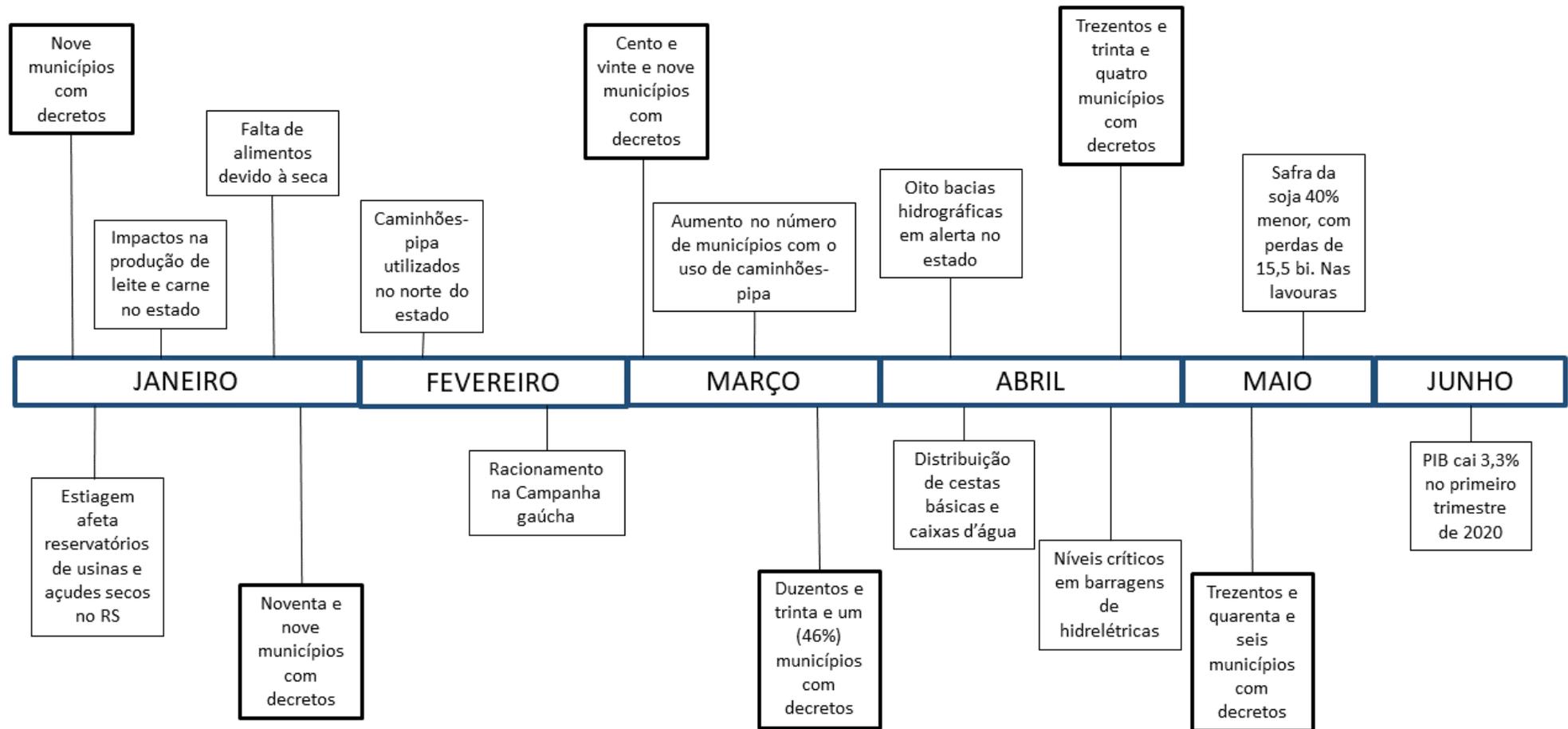


Figura 43. Linha temporal do evento pela análise de dados não-sistemáticos (Fonte: Autor).

## Análise Temporal da seca 2019/2020 – Dados sistemáticos

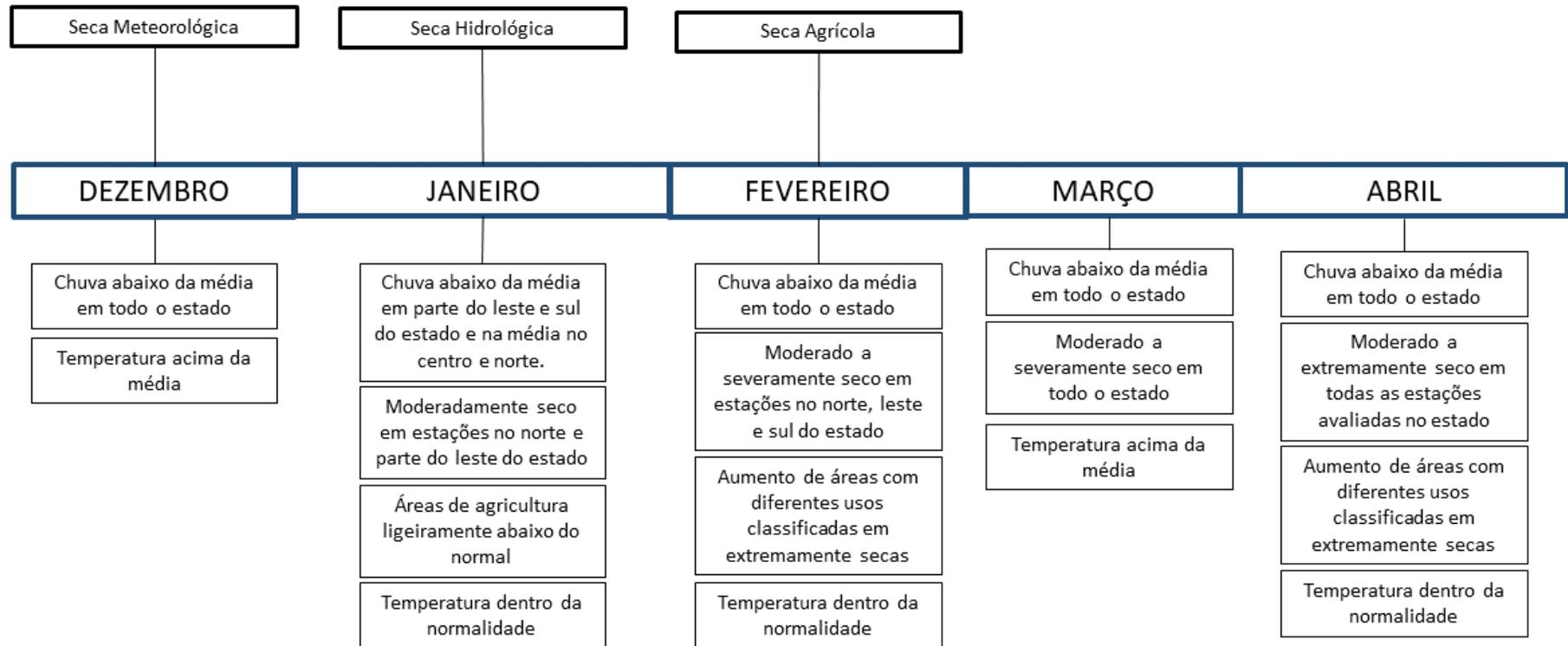


Figura 44. Linha temporal do evento pela análise de dados sistemáticos (Fonte: Autor).

## 8. CONCLUSÕES

Neste trabalho fez-se uma análise integrada do evento de seca ocorrido no estado do Rio Grande do Sul a partir do final de 2019, utilizando-se dados sistemáticos e não-sistemáticos. O principal objetivo desta metodologia é fazer uma caracterização do evento, onde os resultados obtidos possibilitaram concluir que:

- A ocorrência de quatro meses seguidos com chuvas abaixo da média pode ser relacionado como um dos principais fatores causadores do evento de seca, já que afetou diretamente as vazões, onde associada a falta de chuvas no final de 2019, deu início ao prolongado evento de seca no estado do Rio Grande do Sul.
- De acordo com os índices empregados, a seca meteorológica tem início no mês de dezembro de 2019, influenciando ainda mais as vazões já no mês seguinte em muitas das estações analisadas, podendo classificar-se como o início da seca hidrológica.
- Já a seca agrícola é percebida principalmente a partir do mês de fevereiro, com áreas de agricultura e campo apresentando as maiores variações, se intensificando a partir do mês de março, conjuntamente a um registro de temperaturas acima da média em todo o estado.
- A progressão entre a seca meteorológica e a seca hidrológica é de aproximadamente um mês neste evento, e a seca agrícola é de aproximadamente dois meses.
- Nesse evento também pode ser observada a ocorrência da seca socioeconômica, onde diversos setores da sociedade são afetados pela seca, como falta de água para o abastecimento, perdas na agricultura, com consequências no aumento de preços de produtos e diminuição no PIB do estado.
- Destaca-se o período de neutralidade do fenômeno ENOS de julho de 2019 a julho de 2020, demonstrando não ser um período de La Niña, normalmente ligado a diminuição da precipitação na região sul do Brasil.
- Como fonte de previsão de um evento semelhante ao ocorrido, deve-se atentar para a sequência de meses com precipitação abaixo do esperado, que dá início a uma recessão nas vazões.

Ainda que nem todos os eventos de seca no estado ocorram com a mesma magnitude, aprender com os eventos passados contribui para a gestão desse tipo de desastre no futuro.

## 9. RECOMENDAÇÕES

O diagnóstico sobre o evento de seca 2019/2020 ocorrido no estado do Rio Grande do Sul, apresentou resultados satisfatórios quando a progressão e intensidade do evento estudado. Porém, como destacado por Wilhite (2000) cada ano de seca é único em suas características, sejam meteorológicas ou quanto aos impactos causados. Assim, sugere-se a realização das seguintes pesquisas, para juntamente aos resultados apresentados nesse trabalho, auxiliar no conhecimento quanto a eventos extremos no estado:

- Diagnóstico completo de outros períodos de seca ocorridos no estado, para que comparando-se ao apresentado neste estudo, possam ajudar na análise das variáveis que levam o estado do Rio Grande do Sul a ser atingido por esse tipo de evento, e assim contribuir para a previsão e gestão no estado;
- Avaliar a progressão entre os tipos de seca em eventos ocorridos em outras estações do ano.
- Avaliar o comportamento da vazão de base dos cursos d'água no estado, utilizando-se informações de água subterrâneas;
- Análise dos sistemas atmosféricos que levaram a diminuição da precipitação neste período, e em outros eventos de seca ocorridos;
- Avaliação da aplicação de índices integrados de seca na previsão de eventos extremos no estado.

## 10. BIBLIOGRAFIA

ABRAMOWITZ, M.; STEGUN, I. A. Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables. Dover - New York. 1046 p. 1965.

ALMEIDA, T. S.; FONTANA, D. C. El Niño/ La Niña e o Número de Dias de Chuva no Estado do Rio Grande do Sul. In: Salão de Iniciação Científica – UFRGS. 2000.

ASFORA, M. C.; LIMA, M.; LACERDA, M. R. de S. Diagnóstico da Seca 2011-2016 em Pernambuco: Impactos e Políticas de Mitigação. Revista Parcerias Estratégicas, v. 22, n. 44, p 247-274. Brasília – DF. 2017.

AZAMBUJA, C. B.; LORENZINI, R.; CAMELO, L. G. C. Efeitos da Estiagem na Água para Consumo Humano no Rio Grande do Sul Entre 2019 e 2020. Revista Afluente. 8ª Edição. Dezembro, 2020.

AYOADE, J. O. Introdução à Climatologia para os Trópicos. Edição 8. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 332p, 2002.

BARKER, L. J.; HANNAFORD, J.; CHIVERTON, A.; SVENSSON, C. From Meteorological to Hydrological Drought Using Standardised Indicators. Hydrol. Earth Syst. Sci. 20, p 2483 – 2505. 2016.

BBC BRASIL. Como Seca Histórica no Brasil Traz Risco de Inflação e Racionamento de Energia. Disponível em <<https://www.bbc.com/portuguese/brasil-57290389>>. Acesso em 03 mai. 2022.

BENITO, G., LANG, M., BARRIENDOS, M., LLASAT, M. C., FRANCÉS, F., OUARDA, T., THORNDYCRAFT, V. R., ENZEL, Y., BARDOSSY, A., COEUR, D., BOBÉE, B. Use of Systematic, Palaeoflood and Historical Data for Improvement of Flood Risk Estimation. Review of Scientific Methods. Natural Hazards, 31, 623-643. 2004.

BERLATO, M.A.; CORDEIRO, A.P.A. Variabilidade Climática e Agricultura do Rio Grande do Sul. In: Federação dos Clubes de Integração e Troca de Experiência –FEDERACITE. (org.). As Estiagens e as Perdas na Agricultura: Fenômeno Natural ou Imprevidência? ed 1. Porto Alegre: Ideograf Editora Gráfica, p. 43 – 59, 2005.

BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C. El Niño e La Niña Impactos no Clima, na Vegetação e na Agricultura do Rio Grande do Sul, Aplicações de Previsões Climáticas na Agricultura. Porto Alegre: Editora: UFRGS, 2003.

BRAZ, D. F. Impactos de Eventos Severos na Agricultura do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pelotas – RS. 2015.

BRÁZDIL, R., KUNDZEWICZ, Z. W., BENITO, G. Historical Hydrology for Studying Flood Risk in Europe. Hydrological Sciences Journal, 51(5), 739-764. <http://dx.doi.org/10.1623/hysj.51.5.739>. 2006.

BRUM, E.; LINHARES, G. Cheia, Isolamento e Seca: Os Estragos Midiáticos no Pantanal Sul-Matogrossense. Anais XXX Congresso Brasileiro de Ciências da Comunicação. Santos – SP. 2007.

BURTON, I.; KATES, R. W.; WHITE, G. F. The Environment as Hazard. New York: Oxford Univ. Press, p 240, 1978.

CARMO, M. V. N. S. Análise e Previsão Estatística do Índice de Precipitação Padronizada (SPI) para o Nordeste do Brasil. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília – DF. 2018

CASTRO, A. L. C. Manual de Desastres – Desastres Naturais. Ministério da Integração Nacional. Brasília - DF, 2003.

CEPED (Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil – CEPED/UFSC). UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC.. Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2012: volume Brasil. Florianópolis – SC, p. 126, 2013.

CEPED (Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil – CEPED/UFSC). UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA-UFSC. Atlas Digital de Desastres no Brasil. Site. 2020. Disponível em: [www.atlas.ceped.ufsc.br](http://www.atlas.ceped.ufsc.br).

CHAGAS, V. B. P.; BEVACQUA, A. G.; CHAFFE, P. L. B. Propagação de Secas Meteorológicas para Secas Hidrológicas no Sul do Brasil. Anais: I Encontro Nacional de Desastres. Porto Alegre – RS. 2018.

COLLISCHONN, W.; FAN, F. M. Defining Parameters for Eckhardt's Digital Base Flow Filter. Hydrological Processes. v. 27, n.18, p. 2614-2622. 2013.

CONTI, J. B. O Conceito de Desertificação. Revista Climatologia e Estudos da Paisagem. Rio Claro: UNESP. v.3, n. 2, p. 39-53. 2008.

DEFESA CIVIL DO RIO GRANDE DO SUL. Decretos Homologados e Reconhecidos: Estiagem 2019/2020. Disponível em: <<https://www.defesacivil.rs.gov.br/estiagem>>. Acesso em 20 de jul. de 2021.

DDPA - DEPARTAMENTO DE DIAGNÓSTICO E PESQUISA AGROPECUÁRIA. Análise da Estiagem na Safra 2019/2020 e Impactos na Agropecuária do Rio Grande do Sul. Secretaria da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural. Porto Alegre. 2020.

DU, L.; TIAN, Q.; YU, T.; MENG, Q.; JANCOS, T.; UDVARDY, P.; HUANG, Y. Comprehensive Drought Monitoring Method Integrating MODIS and TRMM Data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2013.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço Energético Nacional 2020. Disponível em < <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2020> >. Acesso em 11 de out. de 2021.

EZZINE, H.; BOUZIANE, A.; OUAZAR, D. Seasonal Comparisons of Meteorological and Agricultural Drought Indices in Marocco using Open Short Time-Series Data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2014.

FALEIRO, F. Estiagem Exibe Marcas de Secas do Passado. Jornal A Hora. Publicado em 14 de mar de 2020. <<https://grupoahora.net.br/conteudos/2020/03/14/estiagem-exibe-marcas-de-secas-do-passado/>>. Acesso em 25 de set de 2021.

FERNANDES, D. S.; HEINEMANN, A. B.; DA PAZ, R. L.; AMORIM, A. O.; CARDOSO, A. S. Índices para a Quantificação da Seca. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Arroz e Feijão, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Santo Antônio de Goiás, GO, p. 48, 2009.

FERREIRA, M. G. Análise da Variabilidade da Precipitação e da Estiagem no Município de Erechim e Região Norte do Rio Grande do Sul. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2014.

FRANCÉS, F., SALAS, J. D., BOES, D. C. Flood Frequency Analysis with Systematic, Historical and Paleoflood Data Based on the General Extreme Value Models. Water Resources Research, 30, 1653-1664. 1994.

FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA. 25 anos de economia gaúcha. Porto Alegre: FEE, v. 3, 2013.

G1. G1/RBS TV, 2020. Bagé Inicia Racionamento de Água na Quinta em Razão da Falta de Chuva. Disponível em <<https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2021/05/18/bage-inicia-acionamento-de-agua-na-quinta-em-razao-da-falta-de-chuva-diz-empresa.ghtml>>. Acesso em: 26 set. 2021.

GZH. CLICRBS, 2020. Estiagem no RS é a Mais Severa desde a Safra de 2012. Disponível em <<https://gauchazh.clicrbs.com.br/economia/campo-e-lavoura/noticia/2020/01/estiagem-no-rs-e-a-mais-severa-desde-a-safra-de-2012-ck5362tja01y401ody8tlh62r.html>>. Acesso em: 26 ago. 2022.

GZH. CLICRBS, 2020. Nove Cidades Decretaram Situação de Emergência Devido a Estiagem. Disponível em: <<https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2020/01/nove-cidades-decretaram-situacao-de-emergencia-devido-a-estiagem-ck541u6sl022d01odlfsutp0c.html>>. Acesso em: 26 ago. 2022.

GZH. CLICRBS, 2020. Estiagem Afeta Reservatórios de Usinas de Energia no RS. Disponível em: <<https://gauchazh.clicrbs.com.br/colunistas/marta-sfredo/noticia/2020/01/estiagem-afeta-reservatorios-de-usinas-de-energia-no-rs-ck55f3qxm02d401ocrbf4b532.html>>. Acesso em: 26 ago. 2022.

GZH. CLICRBS, 2020. Estiagem Também Impacta Produção de Leite e de Carne no RS. Disponível em: <<https://gauchazh.clicrbs.com.br/colunistas/gisele-loeblein/noticia/2020/01/estiagem-tambem-impacta-producao-de-leite-e-de-carne-no-rs-ck57e3d0402ul01od0al7z3c5.html>>. Acesso em: 26 ago. 2022.

GZH. CLICRBS, 2020. Com Açudes Secos Produtores Precisam Improvisar para Dar Água ao Gado. Disponível em: <<https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2020/01/com-acudes-secos-produtores-precisam-improvisar-para-dar-agua-ao-gado-ck5eie8tf001801ocbbbsnccj.html>>. Acesso em: 26 ago. 2022.

GZH. CLICRBS, 2020. Estiagem Provoca Falta, Alta e Até Redução de Preços de Alimentos no RS. <<https://gauchazh.clicrbs.com.br/colunistas/giane-guerra/noticia/2020/01/estiagem-provoca-falta-alta-e-ate-reducao-de-precos-de-alimentos-no-rs-entenda-ck5jnbgm600zv01oc8z1ns9fv.html>>. Acesso em: 26 ago. 2022.

GZH. CLICRBS, 2020. Por Que a Região dos Altos Montes Colhera Uvas de Maior Qualidade Mesmo com Estiagem. Disponível em: <<https://gauchazh.clicrbs.com.br/colunistas/gisele-loeblein/noticia/2020/01/por-que-a-regiao-dos-altos-montes-colhera-uvas-de-maior-qualidade-mesmo-com-estiagem-ck5r4xglm0cs301qdnnc08xm4.html>>. Acesso em: 26 ago. 2022.

GZH. CLICRBS, 2020. Após Estiagem Busca por Sistemas de Irrigação Cresce 20% no RS. Disponível em: <<https://gauchazh.clicrbs.com.br/colunistas/gisele-loeblein/noticia/2020/01/apos-estiagem-busca-por-sistema-de-irrigacao-cresce-20-no-rs-ck61c9y0e0eyh01qdwyf8npca.html>>. Acesso em: 26 ago. 2022.

GZH. CLICRBS, 2020. Número de Municípios Afetados pela Estiagem Sobe e Defesa Civil Alerta que Problema Seguirá Durante Fevereiro. Disponível em: <<https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2020/02/numero-de-municipios-afetados-pela-estiagem-sobe-e-defesa-civil-alerta-que-problema-seguira-durante-fevereiro-ck68haoth0gb101qd6tw4kmg.html>>. Acesso em: 26 ago. 2022.

GZH. CLICRBS, 2020. Estiagem Leva Corsan a Abastecer Fontoura Xavier com Caminhões – Pipa. Disponível em: <<https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2020/02/estiagem-leva-corsan-a-abastecer-fontoura-xavier-com-caminhoes-pipa-ck6tpoc500kid01qd88a0u0dy.html>>. Acesso em: 26 ago. 2022.

GZH. CLICRBS, 2020. Três Cidades do RS Pedem Ajuda para Garantir Abastecimento Devido a Estiagem. Disponível em: <<https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2020/02/tres-cidades-do-rs-pedem-ajuda-para-garantir-abastecimento-devido-a-estiagem-ck6uz67ur0ksa01qdh81t4tvo.html>>. Acesso em: 26 ago. 2022.

GZH. CLICRBS, 2020. Atingidos pela Estiagem, 11 Municípios do RS Recebem Caminhões-Pipa para Abastecimento de Água. <<https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2020/03/atingidos-pela-estiagem-11-municipios-do-rs-recebem-caminhoes-pipa-para-abastecimento-de-agua-ck7c7sf4600z401oamxyex12q.html>>. Acesso em: 26 ago. 2022.

GZH. CLICRBS, 2020. Chuva Abaixo da Média Agrava Situação no RS. Disponível em: <<https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2020/03/chuva-abaixo-da-media-agrava-situacao-no-rs-ck7f62up401qd01pq09rsnygv.html>>. Acesso em: 26 ago. 2022.

GZH. CLICRBS, 2020. Cerca de 46 dos Municípios Gaúchos já Decretaram Situação de Emergência Devido a Estiagem. Disponível em:

<<https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2020/03/cerca-de-46-dos-municipios-gauchos-ja-declararam-situacao-de-emergencia-devido-a-estiagem-ck8gfm86j009f01pmatstlwjj.html>>. Acesso em: 26 ago. 2022.

GZH. CLICRBS, 2020. Estiagem no RS: 253 Municípios Decretaram Situação de Emergência. Disponível em: <<https://gauchazh.clicrbs.com.br/economia/campo-e-lavoura/noticia/2020/04/estiagem-no-rs-253-municipios-decretam-situacao-de-emergencia-ck8kzdhgk01jf01pmauaryzvd.html>>. Acesso em: 26 ago. 2022.

GZH. CLICRBS, 2020. Secretaria do Meio Ambiente Aponta que Chuva Prevista para os Próximos Meses não Reverterá Quadro de Estiagem no RS. Disponível em: <<https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2020/04/secretaria-do-meio-ambiente-aponta-que-chuva-prevista-para-os-proximos-meses-nao-revertera-quadro-de-estiagem-no-rs-ck8p80qy900i801qw416kq4xa.html>>. Acesso em: 26 ago. 2022.

GZH. CLICRBS, 2020. Municípios Atingidos pela Estiagem Vão Receber 25 mil Cestas Básicas e 550 Caixas D'água. Disponível em: <<https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2020/04/municipios-atingidos-pela-estiagem-vaoreceber-25-mil-cestas-basicas-e-550-caixas-dagua-ck8q27ovo00m401qwuyxepzo.html>>. Acesso em: 26 ago. 2022.

GZH. CLICRBS, 2020. Por Estiagem Porto de Porto Alegre Opera com Restrições. Disponível em: <<https://gauchazh.clicrbs.com.br/colunistas/marta-sfredo/noticia/2020/04/por-estiagem-porto-de-porto-alegre-opera-com-restricoes-ck8royhon013n01nt6nvlwf1t.html>>. Acesso em: 26 ago. 2022.

GZH. CLICRBS, 2020. Com 67% das Cidades em Emergência Governo do RS Retoma Programa de Construção de Açudes. Disponível em: <<https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2020/04/com-67-das-cidades-em-emergencia-governo-do-rs-retoma-programa-de-construcao-de-acudes-ck9mx2gp1005a015nvozlxygc.html>>. Acesso em: 26 ago. 2022.

GZH. CLICRBS, 2020. Barragens de Hidreletricas Estão em Níveis Críticos no RS por Falta de Chuva. Disponível em: <<https://gauchazh.clicrbs.com.br/colunistas/marta-sfredo/noticia/2020/04/barragens-de-hidreletricas-estao-em-niveis-criticos-no-rs-por-falta-de-chuva-ck9n3qhfo007e015np4klbyub.html>>. Acesso em: 26 ago. 2022.

GZH. CLICRBS, 2020. 69% dos Municípios Gaúchos Decretam Situação de Emergência em Razão da Estiagem. Disponível em: <<https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2020/05/69-dos-municipios-gauchos-decretam-situacao-de-emergencia-em-razao-da-estiagem-ck9rue99000gu015njtzf2l95.html>>. Acesso em: 26 ago. 2022.

GZH. CLICRBS, 2020. Safra de Soja do RS deste Ano será 40% Menor. Disponível em: <<https://gauchazh.clicrbs.com.br/colunistas/gisele-loeblein/noticia/2020/05/safra-de-soja-do-rs-deste-ano-sera-40-menor-cka41ffwe0095015ntu445e2i.html>>. Acesso em: 26 ago. 2022.

GZH. CLICRBS, 2020. Como a Estiagem Mudou a Rotina em 10 Municípios do RS. Disponível em: <<https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2020/05/como-a-estiagem-mudou-a-rotina-em-10-municipios-do-rs-cka868u6y0028015n36jbn5o3.html>>. Acesso em 26 ago. 2022.

GZH. CLICRBS, 2020. Afetado por Estiagem e Início da Pandemia PIB Gaúcho Cai 3,3% no Primeiro Trimestre de 2020. Disponível em: <<https://gauchazh.clicrbs.com.br/economia/noticia/2020/06/afetado-por-estiagem-e-inicio-da-pandemia-pib-gaicho-cai-33-no-primeiro-trimestre-de-2020-ckb9edmo6005h015nkl43cx6a.html>>. Acesso em 26 ago. 2022.

GERBELLI, L. G. Crise Hídrica se Agrava e Vira Mais um Entrave para o Crescimento da Economia Brasileira. G1. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/crise-da-agua/noticia/2021/09/01/crise-hidrica-se-agrava-e-vira-mais-um-entrave-para-o-crescimento-da-economia-brasileira.ghtml/>>. Acesso em 25 set. 2021.

GONÇALVES, E. F.; MOLLERI, G. S. F.; RUDORFF, F. M. Distribuição dos Desastres Naturais no Estado de Santa Catarina: Estiagem (1980- 2002). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS. Florianópolis - SC. GEDN/UFSC, p. 773-786. 2004.

GRIMM, A. M.; SANT'ANNA, C. L. S. Influência de Fases Extrema da Oscilação Sul sobre a Intensidade e Frequência da Chuvas no Sul do Brasil. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia. Rio de Janeiro – RJ. 2000.

GROSS, J. A. Índice de Anomalia de Chuva (IAC) dos Municípios do Rio Grande do Sul Afetados pelas Estiagens no Período de 1991 a 2012. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria – RS, 2015.

HEIM JUNIOR, R. R. A review of twentieth – century drought indices used in United States. Bulletin of the American Meteorological Society, v. 83, p. 1149-1165, 2002.

HOERLING, M.; EISCHEID, J.; KUMAR, A.; LEUNG, A.; MARIOTTI, A.; MO, K.; SCHUBERT, S.; SEAGER, R. Causes and Predictability of the 2012 Great Plains Drought. American Meteorological Society. 2014.

HUBERMAN, B. Seca: Prejuízos no RS só Devem Ceder em Cinco Anos. Revista Veja. Publicado em 17 de jan. de 2012. < <https://veja.abril.com.br/politica/seca-prejuizos-no-rs-so-devem-ceder-em-cinco-anos/>> Acesso em 25 de set de 2021. 2012.

HUETE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E. P.; GAO, X.; FERREIRA, L. G. Overview of the Radiometric and Biophysical Performance of the MODIS Vegetation Índices. Remote Sensing of Environment Journal, n. 83, p. 195 - 213, 2002.

HUNT, E. D.; SVOBODA, M.; WARDLOW, B.; HUBBARD, K.; HAYES, M.; ARKEBAUER, T. Monitoring the Effects of Rapid Onset of Drought on Non-Irrigated Maize with Agronomic Data and Climate-Based Drought Indices. Agricultural and Forest Meteorology.191, 1 - 11. 2014.

JACÓBSEN, L. O. Efeitos Associados a El Niño e La Niña na Vegetação do Estado do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2002.

JESUS, E. T. de; AMORIM, J. da S.; JUNQUEIRA R.; VIOLA, M. R.; MELLO, C. R. de. Meteorological and Hydrological Drought from 1987 to 2017 in Doce River basin, Southeastern Brazil. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre, v 25, e 29. 2020.

JUNGES, A. H. et al. Condições Meteorológicas Ocorridas em Janeiro de 2020 e Situação das Principais Culturas Agrícolas no Estado do Rio Grande do Sul. Comunicado Agrometeorológico, Porto Alegre, n. 9. 2020.

JÚNIOR, M. de A. S.; SAUSEN, T. M.; LACRUZ, M. S. P. Monitoramento de Estiagem na Região Sul do Brasil Utilizando dados ENVI/MODIS no Período de Dezembro de 2000 a Junho de 2009. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, p 5901. Curitiba – PR, 2011.

JUNQUEIRA, R. Índices de Severidade de Seca para a Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Lavras – MG. 2019.

KOBIYAMA, M. et. al. (org.). Prevenção de Desastres Naturais: conceitos básicos. Curitiba - PR: Ed. Organic Trading, p 109, 2006.

KULMAN, D. Espacialização da Estiagem no Rio Grande do Sul de 1981 a 2011: Análise da Localização e Vulnerabilidade de Projetos de Assentamentos (PA's) do INCRA. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2015.

KULMAN, D.; REIS, J. T.; SOUZA, A. C.; PIRES, C. A. F.; SAUSEN, T. M. Ocorrência de Estiagem no Rio Grande do Sul no Período de 1981 a 2011. *Ciência e Natura*, vol. 36, num 3, p 441 – 449, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

LEIVAS, J. F.; ANDRADE, R. G.; VICTORIA, D. de C.; TORRESAN, F. E.; VICENTE, L. E.; TEIXEIRA, A. H. de C.; BOLFE, E. L.; BARROS, T. R. de. Avaliação do índice de Vegetação Padronizado no Monitoramento Indicativo de Estiagens em Períodos Críticos da Soja no Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Cartografia*, nº 66/5: 1145- 1155. Campinas – SP, 2014.

MAIS AO SUL. Rio Grande do Sul, o Estado Mais ao Sul. Publicado em 19 de ago. de 2014. <<https://maisaosul.wordpress.com/2014/08/19/rio-grande-do-sul-o-estado-mais-ao-sul/>>. Acesso em 26 de set. de 2021.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; BESERRA, E. A.; LACERDA, F. F. Variabilidade e Mudanças Climáticas no Semiárido Brasileiro. Instituto Nacional do Semiárido. Campina Grande-PB. 2011.

MARENGO, J. A.; NOBER, C. A.; SELUCHI, M. E.; CUARTAS, A.; ALVES, L. M.; MENDIONDO, E. M.; OBREGÓN, G.; SAMPAIO, G. A Seca e a Crise Hídrica de 2014-2015 em São Paulo. *Revista USP/SP*. n. 106, p. 31-44. 2015.

MARENGO, J.A. Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos sobre a Biodiversidade – Caracterização Clima Atual e Definição das Alterações Climáticas para o Território Brasileiro ao longo do Século XX. Brasília – DF, Estação Gráfica, 2006.

MARTINS, E. S. P. R.; MAGALHÃES, A. R. A Seca de 202-2015 no Nordeste e seus Impactos. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – Parcerias Estratégicas: Edição Especial. v. 20, n. 41, p. 107-128. Brasília – DF. 2015.

MATZENAUER, R.; RADIN, B.; MALUF, J. R. T. O fenômeno ENOS e o regime de chuvas no Rio Grande do Sul. *Agrometeoros, Passo Fundo*, v.25, n.2, p.323-331. 2017.

- MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. In: Eighth Conference on Applied Climatology. Anaheim – California. 1993.
- MONTEIRO, C.A de F. Clima e Excepcionalismo: Conjecturas sobre o Desempenho da Atmosfera como Fenômeno Geográfico. Florianópolis: ed. da UFSC, p 233. 1991.
- MOREIRA, A. A. Análise da Seca/Estiagem no Norte do Estado de Minas Gerais a Partir de Dados MODIS. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – RS. 2016.
- MORENO, J, A. Clima do Rio Grande do Sul. Secretaria da Agricultura, Porto Alegre -RS, 1961.
- NASCIMENTO, G. C.; SENNA, M. C. A.; A Influência de Eventos El Niño e La Niña na Avaliação dos Riscos de Ocorrência de Incêndios no Pará. Anuário do Instituto de Geociências – Universidade Federal do Rio de Janeiro. v. 43 – 4. p. 189-201. 2020.
- NEDEL, A.S.; SAUSEN, T.M.; SAITO, S.M. Zoneamento dos Desastres Naturais Ocorridos no Estado do Rio Grande do Sul no Período 2003 – 2009 - Parte I. Seca. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia: Saúde e Meio Ambiente. Belém, 2010.
- NETO, G. G. R. Monitoramento e Caracterização de Secas da América do Sul com Sensoriamento Remoto. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul - RS. 2017.
- NOAA – NATIONAL WEATHER SERVICE. Equatorial Pacific Sea Surface Temperatures. < [https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff)>. Acesso em 17 de Jun. de 2022.
- NÚÑEZ, J.; RIVERA, D.; OYARZÚN, R.; ARUMÍ, J. L. On the Use of Standardized Drought Indices Under Decadal Climate Variability: Critical Assessment and Drought Policy Implications. Journal of Hydrology. 517, 458 – 470. 2014.
- NYS, E. D.; ENGLE, N. L.; MAGALHÃES, A. R. Secas no Brasil: Política e Gestão Proativas. Brasília – DF. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – CGEE; Banco Mundial. 292 p. 2016.
- OERTEL, M.; MEZA, F. J.; GIRONÁS, J. Observed Trends and Relationships Between ENSO and Standardized Hydrometeorological Drought Indices in Central Chile. Hydrological Processes. 2019.

- PASCOALINO, A. Alterações Climáticas e a Percepção do Município de Rio Claro – SP. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 2009.
- PELLISSARO, E. D. O Papel do Oceano Atlântico Sudoeste e da Oscilação Antártica nos Extremos de Precipitação no Sul do Brasil. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo – SP. 2022.
- PENAFORTE, R. V. Análise das Secas na Bacia do Rio do Peixe Através do Índice Padronizado de Precipitação (SPI). Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa – PB. 2016.
- PETERS, A. J., E. A. Walter-Shea, L. Ji, A. Vina, M. Hayes, and M. D. Svoboda, Drought monitoring with NDVI-based standardized vegetation index, *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 68(1), p. 71–75. 2002.
- PIRES, V. Frequência e intensidade de fenômenos meteorológicos extremos associados a precipitação. 98 p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia da Terra) – Universidade de Lisboa, Portugal, 2003.
- PONCE, V. M. Three Issues of Sustainable Management in The Ojos Negros Valley Baja California, México. 2012.
- PUCHALSKI, L. A. Efeitos Associados ao El Niño e La Niña na Temperatura Média, Precipitação Pluvial e no Déficit Hídrico no Estado do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – RS. 2000.
- RECKZIEGEL, B. W. Levantamento dos Desastres Desencadeados por Eventos Naturais Adversos no Estado do Rio Grande do Sul no Período de 1980 a 2005. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria – RS. 2007.
- REIS, J.T. et al. Avaliação dos Desastres Naturais Ocorridos no Rio Grande do Sul de 2007 a 2011. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE DESASTRES NATURAIS, 1. 2012, Rio Claro. UNESP, 2012.
- REVISTA AGRÍCOLA. La Niña e as Safras em 2018. Publicado em 2 de jan. de 2018. < <http://www.ragricola.com.br/la-nina-e-as-safras-em-2018/> >. Acesso em 12 de jul. de 2021.
- RIBEIRO, A. A. Eventos Pluviais Extremos e Estiagens na Região das Missões, RS: A Percepção dos Moradores do Município de Santo Antônio das Missões. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista. Rio Claro – SP, 2012.

ROLDÃO, A.F.; SANTOS, J.G. Tipificação e Ocorrência de Veranicos na Microrregião de Uberlândia – MG. *Caminhos de Geografia, Uberlândia*, v.15, n.49, p.152–159, 2014.

ROSE, S. A Statistical Methodology for Assessing the Long-Term Effects of Antecedent Drought Conditions on Stream Runoff: Applications to the Piedmont Province, Southeastern United States. *J Hydrol.* 25, 901 – 914. 2011.

ROSSATO, M. S. Os Climas do Rio Grande do Sul: Variabilidade, Tendências e Tipologia. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – RS, 2011.

SANTOS, R. S. Avaliação da relação seca/produktividade agrícola considerando cenários de mudanças climáticas. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa - MG, 2008.

SARTORI, A. A. da C.; SILVA, R. F. B.; PIANUCCI, M. N.; ZIMBACK, C. R. L. Influência do Período de Estiagem no Índice de Vegetação (NDVI), no Município de Botucatu –SP. *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal – RN*, 2009.

SARTORI, M. G. B. *Clima e Percepção*. 2000. V. 1 e 2. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo - SP, 2000.

SEMA - Secretária Estadual do Meio Ambiente e Infraestrutura do Rio Grande do Sul. *Boletim Hidrometeorológico Especial. Relatório 01 – Aviso 124. Porto Alegre*. 2020.

SEMA - Secretária Estadual do Meio Ambiente e Infraestrutura do Rio Grande do Sul. *Boletim Hidrometeorológico* Novembro de 2019. Disponível em: <<http://www.saladesituacao.rs.gov.br/boletins/5e1da73834fd43d77bdd3205>>. Acesso em 25 de Abril de 2022.

SEMA - Secretária Estadual do Meio Ambiente e Infraestrutura do Rio Grande do Sul. *Boletim Hidrometeorológico* Dezembro de 2019. Disponível em: <<http://www.saladesituacao.rs.gov.br/boletins/5dc5ba06f77141ac396e92a4>>. Acesso em 25 de Abril de 2022.

SECRETARIA DE PLANEJAMENTO, GOVERNANÇA E GESTÃO. *Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul*. 2020.

SECRETARIA DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E DESENVOLVIMENTO RURAL. *Relatório Oficial n. 09 – Condições Meteorológicas Ocorridas no Rio Grande do Sul (Verão 2019/2020)*. 2020.

SILVA, A.; SANTO, F.; PIRES, V.A. Seca em Portugal: Prevenção, Monitorização e Mitigação. 2005.

SILVA, D. F.; PANTANO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Análise de Dados de Precipitação Estimados pelo Satélite TRMM para o Vale do Médio Parapanema – SP. Revista Engenharia na Agricultura, v. 21, n. 2, p. 138-147, 2013.

SILVA, G. M. Avaliação da Ocorrência de Seca no Estado do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pelotas – RS. 2015.

SOARES, F.; Municípios do RS Enfrentam Dificuldades de Abastecimento de Água. GZH, Porto Alegre, 15 de maio de 2020. Disponível em:  
<<https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2020/05/municipios-do-rs-enfrentam-dificuldades-de-abastecimento-de-agua>>. Acesso em: 19 de jun. de 2021.

STEINMETZ, S.; ASSIS, F. N. de; CAMPOS, C. J. de. Influência do El Niño Oscilação Sul (Enos) sobre as Condições Climáticas, no Período de Outubro a Março, na Região de Pelotas-RS. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia - Florianópolis, SC. Anais. Florianópolis. Sociedade Brasileira de Agrometeorologia. 8 p. 1999.

SUASSUNA, J. El Niño e La Niña: Instabilidade dos Fenômenos Cria Dificuldades nas Previsões Meteorológicas. Fundação Joaquim Nabuco. Publicado em 22 de abr. de 2019. <<https://www.fundaj.gov.br/index.php/artigos-joao-suassuna/9652-el-nino-e-la-nina-instabilidade-dos-fenomenos-cria-dificuldades-nas-previsoes-meteorologicas>>. Acesso em 25 de set. de 2021.

TABARI, H.; ABGHARI, H.; TALAEI, P. H.; Temporal Trends and Spatial Characteristics of Drought and Rainfall in Arid and Semiarid Regions of Iran. J Hydrol. 2011.

THOM, H. C. S. Some Methods of Climatological Analysis. Geneva: World Meteorological Organization. 53 p. (WMO. Technical note, 81). 1966.

TIAN, L.; YUAN, S.; QUIRING, S. M. Evaluation os Six Indices for Monitoring Agricultural Drought in the South-Central United States. Agricultural and Forest Meteorology. 249, p. 107 – 119. 2018.

VALENTE, P. T. Eventos Extremos de Precipitação no Rio Grande do Sul no Século XX a Partir de Dados de Reanálise e Registros Históricos. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. 2018.

- VANELLI, F. M., FAN, F. M., KOBAYAMA, M. Panorama Geral Sobre Dados Hidrológicos com Ênfase em Eventos Hidrológicos Extremos. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 17, e24. <https://doi.org/10.21168/reg.v17e24>. 2020.
- VAZ, A. C. Uma Metodologia para a Caracterização e Monitorização de Secas. Publicação Instituto Superior Técnico/Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa. 2012.
- VENTURA, M. Nível dos Reservatórios de Hidrelétricas do Sudeste e Centro-Oeste é o Mais Baixo da História. *Jornal O Globo*. Publicado em 31 de ago. de 2021. <https://oglobo.globo.com/economia/nivel-dos-reservatorios-de-hidreletricas-do-sudeste-centro-oeste-o-mais-baixo-da-historia/>> Acesso em 25 de set. de 2021.
- VIANA, D. R.; AQUINO, F. E.; MATZENAUER, R. Comportamento Espaço – Temporal da Precipitação no RS entre 1945-1974 e 1975-2004. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, SBMET, 2006.
- VICENTE-SERRANO, S. M.; LÓPEZ-MORENO, J. I.; BEGUERÍA, S.; LORENZO-LACRUZ, J.; AZORIN-MOLINA, C.; MORÁN-TEJEDA, E. Accurate Computation of a Streamflow Drought Index. *Journal of Hydrologic Engineering*, v. 17, p 318-332. 2016.
- VOITURIEZ, B; JACQUES, G. El Niño: Fact and Fiction. Paris: IOC Ocean Forum Series/UNESCO Publishing, p 128. 2000.
- Waylen, P; Poveda, G. El Niño–Southern Oscillation and Aspects of Western South American Hydro-Climatology. v. 16, 1247–1260. 2002.
- WILHITE, D. A., GLANTZ, M. H. Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions, *Water International* 10: 111-20. 1985.
- WILHITE, D.A. Chapter 1 Drought as a Natural Hazard: Concepts and Definitions. Drought Mitigation Center Faculty Publications. Paper 69. 2000.
- WILHITE, D.A.; SIVAKUMAR, M.V.K; PULWARTY, R.; Managing Drought Risk in Changing Climate: the Role of National Drought Policy. *Weather and Climate Extremes*, vol.3, p 4-13. 2014.

# ANEXO I



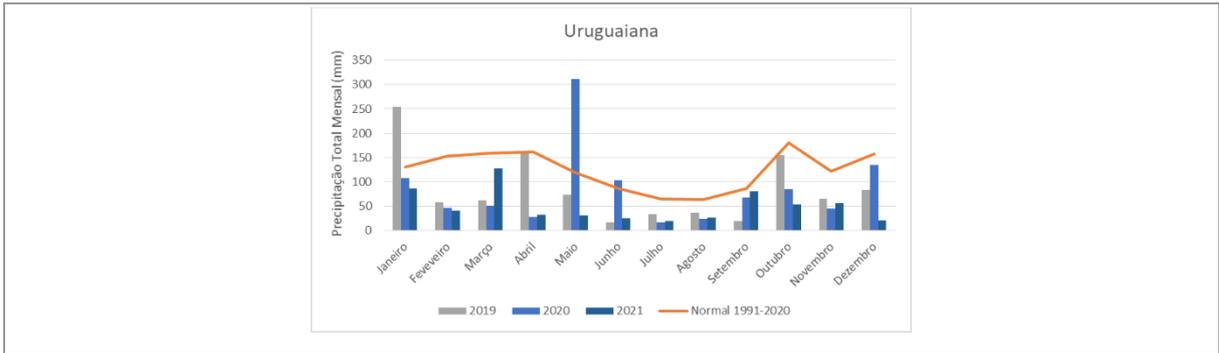


Figura 45. Precipitação Mensal e Climatologia para as estações INMET.