

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E DA EDUCAÇÃO – FAED
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO TERRITORIAL E
DESENVOLVIMENTO SOCIOAMBIENTAL – PPGPLAN**

Raidel Báez Prieto

**MAPEAMENTO MULTIESCALAR DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A
CHUVAS PERSISTENTES, EXTREMAS E ABRANGENTES EM SANTA
CATARINA ENTRE 1986-2016**

Relatório da Defesa de Doutorado apresentado ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Planejamento Territorial e Desenvolvimento Socioambiental da Universidade do Estado de Santa Catarina sob orientação do Profº. Drº. Francisco Henrique de Oliveira

Linha de Pesquisa: Análise e Gestão Ambiental.

Florianópolis
2022

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do FAED/UDESC,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Báez Prieto, Raidel
MAPEAMENTO MULTIESCALAR DE ÁREAS
SUSCETÍVEIS A CHUVAS PERSISTENTES, EXTREMAS E
ABRANGENTES EM SANTA CATARINA ENTRE 1986-2016 /
Raidel Báez Prieto. -- 2022.
114 p.

Orientador: Francisco Henrique de Oliveira
Coorientador: Mateus da Silva Teixeira
Coorientadora: Carla Corrêa Prieto
Tese (doutorado) -- Universidade do Estado de Santa Catarina,
Centro de Ciências Humanas e da Educação, Programa de
Pós-Graduação em Planejamento Territorial e Desenvolvimento
Socioambiental, Florianópolis, 2022.

1. estatística aplicada. 2. climatologia de chuvas extremas. 3.
ordenamento territorial. 4. mapeamento de áreas suscetíveis. 5.
desenvolvimento sustentável. I. Henrique de Oliveira, Francisco . II.
da Silva Teixeira, Mateus. Corrêa Prieto, Carla. III. Universidade do
Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Humanas e da Educação.

Raidel Báez Prieto

**MAPEAMENTO MULTIESCALAR DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A
CHUVAS PERSISTENTES, EXTREMAS E ABRANGENTES EM SANTA
CATARINA ENTRE 1986-2016**

Texto da Defesa de Tese de Doutorado
apresentado ao Programa de Pós-Graduação em
Planejamento Territorial e Desenvolvimento
Socioambiental da Universidade do Estado de
Santa Catarina – UDESC.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco Henrique de Oliveira	Orientador/Presidente	UDESC
Prof. Dr. Mateus da Silva Teixeira	Co-orientador	UFPEL
Profa. Dr. Carla Corrêa Prieto	Co-orientadora	CEMADEN
Profa. Dra. Vera Lúcia Nehls Dias		UDESC
Prof. Dr. Daniel Pires Bitencourt		FUDACENTRO
Profa. Dra. Camila de Souza Cardoso		UFSC
Prof Dr. Jairo Valdati		UDESC

Florianópolis
2022

DECLARAÇÃO DE ORIGINALIDADE

Declaro que os dados apresentados neste relatório de defesa de doutorado são decorrentes de pesquisa própria e de revisão bibliográfica referenciada segundo normas científicas.

Florianópolis, 28 de julho de 2022.

Raidel Báez Prieto

AGRADECIMENTOS

Agradecer:

- A meu orientador Francisco Henrique de Oliveira pelo apoio e guia incondicional desde o primeiro dia, quando entrei em contato querendo fazer realidade meu sonho em projeto, para obter os resultados deste trabalho de Tese de doutorado.
- Ao coorientador Mateus Teixeira para ideia original, que ajudou ao desenvolvimento e resultados obtidos no capítulo 2.
- À coorientadora Carla Prieto pela guia e dedicação, que ajudou ao desenvolvimento e resultados obtidos no capítulo 3.
- À banca de avaliação pela guia e conselhos dados tanto na qualificação, como na defesa final desta Tese.
- A todos os professores do Programa de Pós-graduação em Planejamento Territorial e Desenvolvimento Socioambiental, pelos conhecimentos adquiridos nas salas aulas e pela guia e apoio sempre disponível.
- A toda equipe e colegas do Laboratório de Geoprocessamento (GEOLAB) da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC).
- Ao apoio realizado pelo programa de Bolsas da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), em nível de doutorado.
- Pelos dados meteorológicos ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e ao Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de SC (EPAGRI-CIRAM).

MAPEAMENTO MULTIESCALAR DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A CHUVAS PERSISTENTES, EXTREMAS E ABRANGENTES EM SANTA CATARINA ENTRE 1986-2016

Raidel Báez Prieto

RESUMO: O planejamento e o reordenamento territorial nas cidades são primordiais, como parte de uma eficiente gestão administrativa, assim como, de uma maior preparação para enfrentar os recorrentes eventos extremos naturais. A chuva extrema, como exemplo de fenômeno atmosférico, causa diversos impactos negativos à sociedade deixando sinais claros das áreas suscetíveis aos desastres. Nesse contexto, torna-se fundamental para o agente público gestor conhecer o território e ter a plena clareza da organização e distribuição fundiária das propriedades, bem como dos seus potenciais danos iminentes. Considerando as pesquisas de climatologia e ordenamento territorial, assim como, o uso de estatística aplicada e Sistemas de Informação Geográfica (SIG), tem-se como principal objetivo nesta pesquisa estudar os eventos extremos de chuva persistente e abrangente nas cidades do estado de Santa Catarina (SC) entre os anos 1986-2016, obtendo um mapeamento com descrição dos limites territoriais da área suscetível aos mesmos. Aos eventos extremos identificados, uma análise estatística de mapas médios compostos foi aplicada, com a finalidade de obter padrões atmosféricos de campos de pressão ao nível médio do mar. Resultados demonstram que as regiões em Santa Catarina que sofrem com maior frequência e intensidade de chuvas persistentes extremas encontram-se no litoral e no meio oeste do estado, como por exemplo Florianópolis, Itajaí e Campos Novos. No oeste catarinense verifica-se uma diminuição quanto à tendência e número de eventos nos últimos 31 anos, assim como, de seus acumulados totais. Bloqueios atmosféricos são os principais responsáveis pelos grandes períodos de estiagem no oeste catarinense, e tudo parece indicar que esses sistemas também favorecem eventos extremos de chuva persistentes em SC, característica que difere sobremaneira do que ocorre no Rio Grande do Sul, onde atuam outros padrões. Foi feito um mapeamento com as áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos, inundações e tipo de evento extremo de chuva persistente que potencialmente ocasionou danos no estado. A cidade declarada como a mais suscetível aos eventos extremos de chuva persistente foi Itajaí, por estar posicionada dentro do Vale de Itajaí, região que registrou os maiores danos históricos. Com uso de álgebra de mapas foi desenvolvida uma metodologia, baseada na modelagem conceitual e validada por meio de uma aplicação prática, que considera a representação multiescalar dos fenômenos mapeados e representados em 3D utilizando recursos de Realidade Aumentada na região de estudo. O desenvolvimento metodológico e as ações da pesquisa são considerados dados de referência para que as administrações públicas estaduais de SC possam traçar políticas públicas em conjunto, pautadas em um amparo cientificamente mensurado sob a ótica do dano e da segurança do cidadão.

Palavras chaves: estatística aplicada; climatologia de chuvas extremas; ordenamento territorial; mapeamento de áreas suscetíveis; desenvolvimento sustentável.

MAPEAMENTO MULTIESCALAR DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A CHUVAS PERSISTENTES, EXTREMAS E ABRANGENTES EM SANTA CATARINA ENTRE 1986-2016

Raidel Báez Prieto

ABSTRACT: Planning and Territorial Reordering in cities is necessary as part of efficient administrative management, as well as greater preparation to face recurring extreme natural events. Extreme rainfall, as an example of atmospheric phenomena, causes several negative impacts on society leaving clear signs of the area's susceptible to disasters. In this context, it is essential for the managing public agent to know the territory and to have the full clarity of the organization and land distribution of the properties, as well as their imminent damages. Considering the research of climatology and territorial planning, as well as the use of applied statistics and Geographic Information Systems (GIS), the main objective is to study the extreme events of persistent and broad rainfall in the cities of Santa Catarina State (SC) between 1986-2016, obtaining a mapping describing the territorial boundaries of the susceptible area. For the extreme events identified, a Principal Component Analysis (PCA) will be applied to obtain atmospheric patterns of sea level pressure fields. Results show that the regions in Santa Catarina that suffer with highest frequency and intensity of extreme persistent rains are on the coast and in the midwest of the state, such as Florianópolis, Itajaí and Campos Novos. In the west of Santa Catarina, there is a decrease in the trend and number of events in the last 31 years, as well as in their accumulated totals. Atmospheric blockages are the main responsible for the prolonged periods of drought in western Santa Catarina, and everything seems to indicate that these systems also favor extreme events of persistent rain in SC, a characteristic that differs from what occurs in Rio Grande do Sul, where other patterns act. A mapping was conducted with areas susceptible to the occurrence landslides, sudden floods, and type of extreme event of persistent rain that potentially caused damage in the state. The city declared as the most susceptible to extreme events of persistent rain was Itajaí, as it is located within the Itajaí Valley, the region that recorded the greatest historical damage. Using map algebra, a methodology was developed, based on conceptual modeling, and validated through a practical application, which considers the multiscalar representation of the phenomena mapped and represented in 3D using augmented reality resources in the study region. The methodological development and research actions are considered reference data so that SC state public administrations can draw up public policies together, based on a scientifically measured support from the perspective of damage and citizen safety.

Keywords: applied statistics; extreme rainfall climatology; land use planning; mapping of susceptible areas; sustainable development.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Estrutura da Pesquisa desta Tese.	23
Figura 2- Representação dos sistemas atuantes na América do Sul em baixos e altos níveis. CL=Baixa de Chaco, LLJ= Jato de Baixos Níveis (JBN), ET= Baixa Equatorial, AR= Regiões Áridas, SAR= Regiões Semiáridas, MCC= Sistemas Convectivos de Mesoescala, CONV= Atividade Convectiva, CG= Ciclogênese, STH= Alta Subtropical, EA= Anticiclone. Extratropical, L= Centro de Baixas Pressões, CV= Vórtice Ciclônico, BH= Alta da Bolívia, CCV= Vórtice de Núcleo Frio (VCAN tipo Palmer do NE de Brasil), CO= Escoamento de Cirrus, STJ= Jato Subtropical, PJ= Jato Polar.	32
Figura 3 - Distribuição Média da Chuva num caso extremo de Chuva historicamente registrado durante 1983 em SC.	41
Figura 4- Representação das 14 estações meteorológicas no mapa de SC, com dados de precipitação (1986-2016) que são utilizadas no trabalho. Do lado esquerdo inferior se destaca a localização de SC dentro do Brasil.	45
Figura 5- Normal Climatológica da precipitação acumulada anual do Brasil (1981-2010).	47
Figura 6- Matriz de Dados Organizados.	48
Figura 7- Seleção dos casos na estação meteorológica de Florianópolis, a partir da primeira característica da chuva, Persistência. Casos filtrados ficam à direita da linha amarela, superiores ao percentil 0.90.	50
Figura 8- Seleção dos casos finais a partir da terceira característica da chuva, Abrangência.	52
Figura 9- Histograma dos CCPEA por estação do ano.	55
Figura 10- Representação dos CCPEA. Ordenada refere-se à chuva acumulada média mm nos casos (com boxplot e histograma); abscissa refere-se à duração dos casos em dias (com boxplot e histograma).	55
Figura 11- Representação dos CCPEA por estação do ano. Ordenada refere-se à chuva acumulada média mm nos casos (com boxplot e histograma); abscissa refere-se à duração dos casos em dias (com boxplot e histograma).	56
Figura 12- Tendência 1986-2016 dos CCPEA.	57
Figura 13- Tendência Sazonal dos CCPEA.	58
Figura 14- Frequência Sazonal dos períodos dos CCPEA.	58
Figura 15- Mapas médios da pressão ao nível médio do mar. (T=-2) horário das 00 UTC dois dias antes de começar a chuva. (T=-1) horário das 00 UTC um dia antes de começar a chuva.	

(ACP = DIA -2) Padrão de sequência principal dois dias antes de começar a chuva. (ACP = DIA -1) Padrão de sequência principal um dia antes de começar a chuva.....	62
Figura 16- Mapas médios da pressão ao nível médio do mar. (T= 0) = horário das 00 UTC do primeiro dia com chuva para todos os casos. (T= 1) = horário das 18 UTC do primeiro dia com chuva para todos os casos, (T= 2) horário das 18 UTC para o segundo dia com chuva para todos os casos, (T=3) horário das 18 UTC para o terceiro dia com chuva para todos os casos, (T=4) horário das 18 UTC para o quarto dia com chuva para todos os casos, (T=5) horário das 18 UTC para o quinto dia com chuva para todos os casos, onde para alguns deles foi o final da chuva, (T=6) horário das 18 UTC para o sexto dia com chuva para os casos onde continuou a mesma, (T=7) horário das 18 UTC para o sétimo dia com chuva nos casos onde continuou a mesma, (T=8) horário das 18 UTC para o oitavo dia com chuva nos casos onde continuou a mesma, (T=9) horário das 18 UTC para o nono dia com chuva para os casos onde continuou a mesma.....	64
Figura 17- Fotografias que retratam os danos, frente às fortes chuvas e o Planejamento Territorial deslocado da variável potencial risco ambiental.....	69
Figura 18- Representação dos Casos de Chuva Persistente Extrema e Abrangente em SC (1986-2016).....	85
Figura 19- Representação dos Acumulados Totais da Chuva nas estações meteorológicas.	85
Figura 20- Dados do Sistema Integrado da Defesa Civil (SI2D) para os municípios de Santa Catarina.....	87
Figura 21 Mapa Hidrológico de Santa Catarina – N° de afetados.....	88
Figura 22 - Mapa Hidrológico de Santa Catarina – N° de desabrigados.	89
Figura 23 - Mapa Hidrológico de Santa Catarina – N° de desalojados.	89
Figura 24 - Mapa Hidrológico de Santa Catarina – N° de desaparecidos.	90
Figura 25 - Mapa Hidrológico de Santa Catarina – N° de enfermos.	90
Figura 26 - Mapa Hidrológico de Santa Catarina – N° de feridos.....	91
Figura 27 - Mapa Hidrológico de Santa Catarina – N° de óbitos	91
Figura 28 - Mapa Geodinâmico de Santa Catarina – N° de Desabrigados.....	92
Figura 29 - Mapa Geodinâmico de Santa Catarina – N° de afetados	92
Figura 30 - Mapa Meteorológico de Santa Catarina – N° de afetados	93
Figura 31 - Mapa Meteorológico de Santa Catarina – N° de Desabrigados.....	93
Figura 32 - Mapa Meteorológico de Santa Catarina – N° de Desalojados	94
Figura 33 - Mapa Meteorológico de Santa Catarina – N° de Desaparecidos	94
Figura 34 - Mapa Meteorológico de Santa Catarina – N° de Enfermos	95

Figura 35 - Mapa Meteorológico de Santa Catarina – Nº de Feridos.....	95
Figura 36 - Mapa Meteorológico de Santa Catarina – Nº de Óbitos	96
Figura 37 - Mapa Impacto Vida – Total de Afetados.....	97
Figura 38 - Mapa de Impacto Social – Total de Afetados.....	98
Figura 39 - Mapa de Impacto Total – Total de Afetados.	99
Figura 40 – Primeira Imagem do ilustrativa Vídeo. Formação de ciclone extratropical e sua frente fria associada sobre Santa Catarina.	100
Figura 41 – Segunda Imagem ilustrativa do Vídeo. Incidência das Chuvas Persistentes Extremas e Abrangentes sobre a cidade de Itajaí.	100
Figura 42 – Terceira imagem ilustrativa do Vídeo. Início do alagamento associados ao evento meteorológico, relacionado à manutenção das chuvas extremas sobre a cidade de Itajaí.....	101
Figura 43 – Quarta e última imagem ilustrativa do Vídeo. Aumento dos danos por alagamento, devido à manutenção das chuvas extremas e a posição físico geográfica da cidade Itajaí. ...	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Resumo dos diferentes métodos para determinar Extremos de Precipitação.	34
Tabela 2- Estações meteorológicas com coordenadas (latitude, longitude e altitude) das principais estações convencionais do estado de SC com dados de precipitação (1986-2016) que foram utilizados no trabalho.	44
Tabela 3- Seleção dos casos nas estações meteorológicas, a partir da segunda característica da chuva, Extremos.	51
Tabela 4- CCPEA em ordem cronológica com sua persistência (dias), acumulado médio da chuva (mm) e abrangência (estações meteorológicas).	53
Tabela 5- Distribuição sazonal dos casos de chuva persistente, extrema e abrangente segundo sua duração em dias.	58
Tabela 6- Regiões mais susceptíveis aos Danos Históricos em Santa Catarina, segundo mapas temáticos II	96

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACP	Análise de Componentes Principais
CCPEA	Casos de Chuva Persistente Extrema Abrangente
ENOS	El Niño Oscilação do Sul
LI	Linhas de Instabilidade
NCEP	National Centers for Environmental Prediction
NTA-SSTA	Anomalias da Temperatura Superficial do Mar no Atlântico Tropical Norte
PNMM	Campos de Pressão ao Nível Médio do Mar
RS	Rio Grande do Sul
SC	Santa Catarina
SCM	Sistemas Convectivos de Mesoescala
CCM	Complexos Convectivos de Mesoescala
SF	Sistemas Frontais
JBN	Jato de Baixos Níveis
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
SIG	Sistema de Informação Geográfica
ASAS	Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	15
1.2 OBJETIVOS	19
1.3 JUSTIFICATIVA E ESTADO DA ARTE	19
1.4 LIMITAÇÕES DA PESQUISA.....	21
1.5 ESTRUTURA GERAL DA TESE.....	22
1.6 PANORAMA INTERNACIONAL DO PLANEJAMENTO E AÇÕES DE PREVENÇÃO FRENTE ÀS CHUVAS EXTREMAS	23
2. CLIMATOLOGIA DE CASOS DE CHUVA PERSISTENTE, EXTREMA E ABRANGENTE EM SANTA CATARINA	31
2.1 INTRODUÇÃO	31
2.2 REFERENCIAL TEÓRICO	31
2.2.1 Características dos Sistemas Atmosféricos que atuam sobre América do Sul, incidindo em SC.....	32
2.2.2 Características sinóticas que incidem sobre o Sul brasileiro pelas variáveis pressão, vento e precipitação	35
2.2.3 Tipos de estudos sobre Eventos Extremos de Chuva.....	36
2.2.4 Climatologia dos principais Eventos Extremos de Chuva em SC	37
2.2.5 Padrões de Circulação de Eventos de Chuva	42
2.3 METODOLOGIA	44
2.3.1 Seleção dos Casos de Chuva Extrema	45
2.4 RESULTADOS.....	49
2.4.1 Identificação dos casos e sua estatística climatológica	49
2.4.2 Análise dos Campos Médios da PNMM.....	61
3 REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DIGITAL MULTIESCALAR DAS REGIÕES CLIMATICAMENTE SUSCETÍVEIS AOS CASOS DE CHUVA PERSISTENTE EXTREMA EM SC	65
3.1 INTRODUÇÃO	65

3.2 REFERENCIAL TEÓRICO	66
3.2.1 Aplicação de Sistemas de Informação Geográfica voltados à gestão das bases de dados que representam situação de desastres	66
3.2.2 Bases de Dados da Defesa Civil Nacional	70
3.2.3 Fortalecimento do Sistema de Proteção e Defesa Civil (engrenagem completa).	73
3.2.4 Principais conceitos em uso pela Defesa Civil de Santa Catarina ante Desastres.	75
3.2.5 Fases/ Ações do Ciclo de Proteção e Defesa Civil, parte da normativa 02/2016 em relação à nova política desenvolvida pela Lei 12608	77
3.2.6 Classificação dos Mapas de Risco	77
3.2.7 Ferramenta Spline	78
3.2.8 Álgebra de mapas	80
3.3 METODOLOGIA	82
3.4 RESULTADOS	84
3.4.1 Mapeamento das cidades no estado de Santa Catarina, segundo as características dos Casos de Chuva Persistente, Extrema e Abrangente.	84
3.4.2 Mapeamento das regiões mais suscetíveis, segundo os danos registrados historicamente pela Defesa Civil do Estado (DADOS SI2D). Breve Introdução da caracterização física das regiões em SC	86
3.4.3 Delimitação das regiões mais suscetíveis e representação em mapa da área mais crítica.	86
3.4.4 Representação final em Realidade Aumentada da área urbana mais crítica.	99
4- CONCLUSÃO	102
REFERÊNCIAS	104

1 INTRODUÇÃO GERAL

Atualmente, a variabilidade e mudanças do clima, de origem natural e/ou antrópica, se apresentam como realidade ante a construção de cidades melhores planejadas para o enfrentamento das adversidades relacionadas às mudanças do clima. O desenvolvimento sustentável em longo prazo aplica-se ao desenvolvimento socioeconômico dos países, fruto dos trabalhos da Comissão Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento de Nações Unidas (ONU). Estatísticas da Estratégia Internacional das Nações Unidas para a redução de desastres (UNISDR, 2018), resume que aproximadamente 60 milhões de pessoas foram danificadas por eventos climáticos no mundo todo durante o ano de 2018. Milhões de pessoas foram deslocadas, especialmente por inundações, deslizamentos de terra, secas, tempestades elétricas e fortes ventos. Prever as condições que possam resultar em desastres ambientais extremos é um dos grandes desafios da comunidade científica atual, para sua resiliência.

Em aumento, os fenômenos meteorológicos extremos de precipitação, vêm se manifestando como parte das variações atmosféricas, relacionadas à variabilidade do clima (MARENGO et al., 2007; REBOITA et al., 2010; TEDESCHI et al., 2014). Existem diferentes tipos de escalas temporais quando se analisa um fenômeno meteorológico, como por exemplo, interdecadal, interanual e intrasazonal, com diferentes intensidade e duração da precipitação em cada uma das escalas em que estes atuam (NASCIMENTO; VITORINO, 2012).

Desastres ambientais relacionados com as chuvas, inundações e deslizamentos de terra podem ocorrer, por exemplo, devido a eventos meteorológicos que (i) geram uma quantidade de água em superfície em pouco tempo, não dando condições aos sistemas de drenagem naturais ou artificiais de escoarem a água precipitada (chuvas intensas), ou (ii) perduram por prolongados períodos de tempo, levando a um acumulado de chuva expressivo, que deixam o solo com um volume de água, impedindo que o mesmo tenha tempo de drenar a mesma (chuvas persistentes) (PRIETO, 2016).

Eventos hidrológicos, geológicos e meteorológicos como as chuvas extremas, são alguns dos principais fenômenos causadores de desastres, porém, é importante integrar informações num sistema capaz de prever e controlar os efeitos negativos de eventos adversos sobre a população, os bens, os serviços e o meio ambiente. Ante essa realidade, a Lei 12.608 de 10 de abril de 2012 do Governo Federal do Brasil, instituiu a política Nacional de Proteção e Defesa Civil, conferindo-lhe responsabilidade a estados e municípios para criar um sistema de informações e monitoramento de desastres (Brasil, 2012).

A Lei 12.608 de 2012 exige que os Municípios brasileiros adotem medidas necessárias voltadas à proteção da população, bem como o monitoramento, para a redução dos riscos de desastres naturais por meio das ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação (Brasil, 2012). Na Lei supracitada faz-se menção às políticas, tais como as de ordenamento territorial, desenvolvimento urbano, gestão de recursos hídricos, infraestrutura e planejamento, com base em pesquisas e estudos sobre áreas de risco e incidência de desastres no território nacional.

Com medidas de demarcação do novo perímetro urbano, a partir de mapas temáticos apoiados no uso dos recursos de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), é possível identificar áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto e inundações bruscas. Com uso de mapas temáticos, o poder público pode direcionar as áreas ideais para expansão urbana, promovendo a realocação da população residente em áreas de risco que é suscetível a desastres, ou mesmo reduzir o risco ao construir obras de contenção e direcionando a água pluvial, sendo esta última uma alternativa mais econômica mantendo a população em suas comunidades, tendo em vista a promoção do desenvolvimento sustentável.

A combinação dos processos de construção, junto às condições precárias de moradia (ocupação territorial), gera problemas socioambientais e situações de risco, que prejudicam tanto o espaço físico quanto a saúde pública em muitas cidades brasileiras. Os sistemas urbanos são primordialmente áreas de consumo e moradia que possuem diferentes dimensões. Atualmente metade da população mundial é urbana, ocupando 2,8% do território do planeta e, especificamente no Brasil, a população urbana chega a 83% do total segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. O mundo está se tornando cada vez mais urbano na procura do desenvolvimento e crescimento econômico, gerando pressão sobre o ambiente natural que, geralmente, foi ocupado desordenadamente (TUCCI, 2005; TUCCI, 2008).

Estima-se que 2,5 bilhões de novos habitantes irão morar em cidades até 2050, superando uma população urbana de mais de seis bilhões de habitantes, os quais enfrentarão inúmeros desafios para suprir as necessidades do crescimento, segundo os anais do 8º Congresso Luso-Brasileiro, cujo tema central referiu-se ao Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável PLURIS 2018, que ocorreu em Coimbra, Portugal.

O crescimento urbano nas cidades brasileiras tem sido caracterizado pela expansão irregular da periferia, em desacordo com a regulamentação urbana definida no Plano Diretor e normas urbanísticas. Esta situação dificulta o ordenamento das ações e projetos voltados ao controle ambiental e ordenamento territorial urbano, visto que a expansão tem geralmente caráter irregular e não correlacionado aos parâmetros de risco ambiental. Neste contexto, a

população cresceu e foi se instalando de forma desordenada, retirando a vegetação necessária para a conservação do solo, como também invadindo lugares geográficos e pontos estratégicos onde a água deve escoar e drenar naturalmente, infiltrando na terra. Estudos recentes mostraram a necessidade de desenvolvimento de instrumentos de ordenamento territorial que busquem minimizar os efeitos dos eventos extremos de chuva que causam inundações, bem como, conduzir uma planejada e ordenada distribuição do território nos municípios (MULLER, 2012). Portanto, verifica-se que o importante é ter um gerenciamento eficiente das áreas de risco, fiscalizando o uso e ocupação da terra, para evitar que novas áreas suscetíveis a esses fenômenos sejam ocupadas ou criadas, diminuindo assim, a probabilidade de perdas e danos, principalmente nas cidades do Brasil que se encontram em situação alarmante (WILVERT, 2010).

No Brasil, assim como em vários outros países, as últimas décadas têm sido caracterizadas por registros de diversos desastres ambientais em diferentes épocas do ano (GRIMM, 2009), para os quais a causa principal está atribuída, majoritariamente, aos fenômenos meteorológicos ou extremos climáticos como chuva intensa, chuva prolongada, secas e ventos intensos. Na Região Sul do Brasil, o estado de Santa Catarina (SC) tem um forte papel na economia com grande parte da sua atividade baseada na agricultura e pecuária. A Secretaria do Estado da Defesa Civil comenta como SC vem sofrendo perdas importantes em suas produções agrícolas e socioeconômicas, pela influência de eventos meteorológicos extremos.

Nos estados de SC e Rio Grande do Sul (RS), nos últimos anos tem-se uma maior frequência de dias contínuos com chuva e seus acumulados, principalmente durante o outono e a primavera. O número e a intensidade destes eventos extremos mostram uma discreta tendência de aumento, com periodicidade de 3, 9, 11 e 18 anos encontradas nas séries de chuva anual desde 1930, que sugerem uma associação com fenômenos naturais, como o Ciclo Solar de 11 anos (MINUZZI; LOPEZ, 2014).

Santa Catarina se caracteriza pelo predomínio do clima mesotérmico úmido sem estação seca, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano. O relevo, a continentalidade, a latitude e a dinâmica das massas de ar, junto aos centros de ação (ciclone e anticiclone), respondem em grande parte pela diferença existente entre os índices de precipitação em SC, principalmente no seu litoral (GEREMIAS, 1997).

Nunes e da Silva (2013), mediante o uso da modelagem climática regional, estudaram para o Leste e Norte do estado de SC, a frequência de desastres naturais ocasionados por eventos extremos de precipitação nos últimos 60 anos. Os autores declaram que, a maior quantidade de

eventos extremos de chuva, no geral, tem ocorrido no verão e outono, e os de maior persistência no inverno, com uma tendência linear positiva que indica um aumento no número de eventos futuros.

Segundo o Atlas de Desastres de SC, apresentado por Herrmann (2001) e posteriormente pelo CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES (CEPED, 2013), durante o período de 1991 a 2012, existiram registros de desastres relacionados principalmente com estiagens e secas; inundações; enxurradas; alagamentos; movimentos de massa; erosões; granizos; geadas; incêndios; tornados e vendavais, sendo a maioria deles eventos naturais bastante recorrentes. Tem-se registros de mais de 12 milhões de pessoas atingidas nesse período, com 217 mortes, 8.571 feridos, 5.751 enfermos, 126.877 desabrigados, 558.108 desalojados e 1.230 desaparecidos.

As consequências derivadas de desastres naturais, com grande número de desabrigados frente aos episódios das enchentes em SC, refletem a necessidade de praticar medidas preventivas nas áreas frequente e historicamente atingidas, bem como a elaboração de mapas de suscetibilidade de riscos naturais que contemplem as áreas urbanizadas, nas quais ocorrem desordenados assentamentos urbanos (HERRMANN, 2001).

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Existe uma problemática real na ocupação desordenada de muitas cidades em SC, que por ser uma região geograficamente intermediária entre latitudes médias e tropicais, se vê prejudicada por numerosos eventos extremos de chuva.

Qual seria o correto ordenamento territorial, com mapas temáticos e informação atualizada, das regiões suscetíveis aos danos provocados pelas chuvas persistentes, extremas e abrangentes nos últimos anos em SC?

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral desta pesquisa concentra-se em estudar os eventos extremos de chuva persistente, extrema e abrangente nos 295 municípios do estado de SC, entre os anos 1986-2016, com intuito de mapear os limites territoriais da área urbana suscetível aos mesmos.

Como objetivos específicos a serem alcançados ao longo da execução do estudo, tem-se:

- a) Apresentar o estado da arte no cenário internacional sobre a relação entre o planejamento territorial e os eventos extremos de chuva.
- b) Definir eventos extremos de chuva por meio da sua distribuição estatística;
- c) Identificar a frequência de ocorrência dos eventos extremos de chuva ao longo do período estudado;
- d) Encontrar padrões de circulação atmosférica para os eventos extremos de chuva em escala sinótica, bem como a sua evolução temporal;
- e) Mapear e identificar as áreas suscetíveis aos eventos extremos de chuva em SC, com ênfase na área urbana de maior risco;
- f) Mostrar a modo de exemplo prático, um método de visualização cartográfica multiescalar que caracterize o potencial risco dos eventos extremos de chuva em área urbana, definida no item “e”, e que represente por meio de Realidade Aumentada os cenários pré e pós-ocorrência dos eventos.

1.3 JUSTIFICATIVA E ESTADO DA ARTE

O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas prevê para os próximos 100 anos um aumento do número e intensidade de fenômenos naturais extremos, como por exemplo,

períodos prolongados de secas, chuvas fortes e irregulares no espaço e furacões intensos. A presente proposta de pesquisa justifica-se pela importância de aprofundar e desenvolver investigações sobre fenômenos meteorológicos extremos que provocam eventos de chuvas persistentes, extremas e abrangentes, com maior abrangência, intensidade e duração na região que aconteceram. Para esses eventos, dúvidas sobre as causas de seu início, como perduram no tempo e sua abrangência territorial continuam em aberto (PRIETO, 2016). Na prática o reconhecimento de um padrão atmosférico pode alertar aos órgãos públicos e a própria Defesa Civil em uma determinada cidade, sendo fundamental o prognóstico prévio ao evento acontecer.

Em Santa Catarina existe uma necessidade de mapear regiões suscetíveis a eventos extremos de chuva, unindo conhecimentos estatísticos- observacionais e desenvolvendo limites para um novo e correto ordenamento territorial, que procure minimizar os danos (WILVERT, 2010; MULLER, 2012). O estudo desses eventos extremos e de seus danos associados, são de grande importância para o planejamento de ações antes, durante e pós-evento. Sabendo o período de retorno desses eventos, a Defesa Civil poderá manter-se preparada estruturalmente e em termos de pessoal, inclusive na escala de tempo que integre duas ou três gestões de governo.

O MARCO DE SENDAI PARA A REDUÇÃO DO RISCO DE DESASTRES 2015-2030 como parte da Estratégia Internacional para Redução de Desastres da ONU (UNISDR, 2018), assim como, os trabalhos que focam seus resultados no Brasil a partir do MINISTÉRIO DAS CIDADES, Campos e Herrmann (2001), Herrmann e Mendonça (2007), Monteiro e Silva (2014), Prieto (2016), Cardoso (2017) e Freitas e Oliveira (2018) trouxeram um panorama sobre os diversos eventos naturais que com sua alta frequência e intensidade causam vultosos danos socioeconômicos às cidades brasileiras, com especial recorrência nos municípios do estado de SC. Diversas metodologias têm sido empregadas por essas publicações antes mencionadas e todos utilizam técnicas estatísticas e mapeamento temático, com as quais mostram aos órgãos de Defesa Civil e as administrações municipais nas cidades, uma real situação com vista a um melhor planejamento e salvaguarda dos bens e da população em geral. Assim sendo, a continuidade e uso de técnicas estatísticas e mapeamentos, como parte da resiliência nas cidades, tornam-se ações de relevante papel nos processos de preparação.

A partir da recente Lei 12.608 de 2012, começou a ser exigido um histórico sistematizado dos desastres naturais e danos que ocorrem na população, sendo que, as pesquisas no Brasil tomaram uma maior aplicação nos resultados alcançados. No Atlas de desastres apresentado pelo CEPED, 2013 fica em aberto a necessidade de continuar pesquisando e

delimitando áreas que sofrem continuamente pelas adversidades naturais, em especial pelos eventos de chuva extrema e suas consequências.

A Defesa Civil Nacional, a partir do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres com sede em Brasília, trabalha atualmente com uma base de dados e cadastros do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e do Serviço Geológico Brasileiro (CPRM). A Defesa Civil em Santa Catarina, com sua sede no Centro Integrado de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CIGERD), na capital Florianópolis, também utiliza a base de dados antes mencionada. Com a chegada das novas tecnologias virtuais, novos tipos de mapas temáticos vão surgindo com diversos fins e prioridades da sociedade na procura do desenvolvimento sustentável nas cidades.

Uma cartografia atualizada auxilia na previsão eficiente dos desastres relacionados às chuvas extremas, reduzindo assim os riscos e impactos quando são fornecidas maiores informações à população, principalmente, pela fragilidade que existe nos grandes centros urbanos. Existe assim, a necessidade de planejar e oferecer um mapeamento atualizado, com o uso das novas tecnologias virtuais, com fins de melhorar o atual sistema de alerta na procura de cidades com resiliência.

1.4 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

No desenvolvimento da pesquisa e especialmente no procedimento de coleta de dados a campo, junto aos órgãos responsáveis pelos dados oficiais, verificou-se que existem falhas (buracos temporais) nos dados meteorológicos históricos. Existem meses ou até anos sem informações, especificamente nos anos anteriores a 1990, tanto nas bases no INMET como da EPAGRI. Assim, nesta pesquisa utilizaram-se as estações convencionais com série de dados mais completa e com menos dados faltantes para obter melhores resultados.

As informações nas bases de dados da Defesa Civil Nacional nem sempre se encontram organizadas por datas e municípios, porém, há para Santa Catarina um acervo no Centro Integrado de Operações que funciona atualmente no estado, do qual, diversas informações são resumidas neste trabalho.

Por se tratar de um cenário de múltiplas variáveis, os mapas resultantes em cada etapa são apresentados em diferentes escalas. Para representar tematicamente todos os resultados num mesmo mapa, várias metodologias deverão ser analisadas. A falta de conhecimento em ferramentas específicas de programação para desenhar objetos 3D - Realidade Aumentada,

levou ao autor deste estudo, a procurar parcerias com outros colegas, onde se trabalham essas ferramentas.

1.5 ESTRUTURA GERAL DA TESE

A pesquisa conta com três etapas distintas, fazendo uso de ferramentas estatísticas e de mapeamento temático, para reordenar os limites da área urbana/ região de SC com maiores danos, em relação aos eventos extremos de chuva persistentes dos últimos 31 anos (1986-2016).

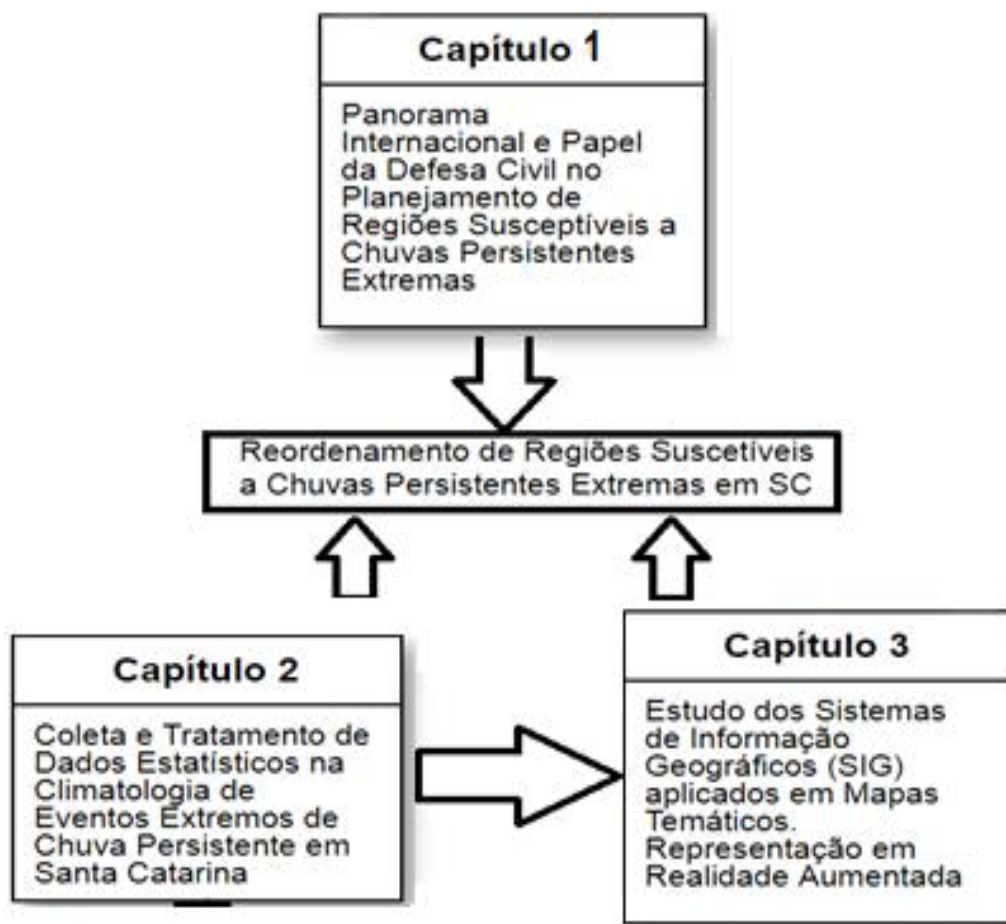
No capítulo 1, apresenta-se a introdução, problemática e fundamentação que desencadeiam os objetivos desta pesquisa. Se mostra também o Panorama Internacional do trabalho feito pelos sistemas de Defesa Civil e os governos em outros países, referente ao planejamento de regiões suscetíveis a danos provocados pelas chuvas extremas.

No capítulo 2 aborda-se a coleta e tratamento de dados estatísticos, onde é apresentada uma análise climática dos eventos de chuva que atuam com maior frequência nos municípios catarinenses.

Finalmente o Capítulo 3 aplica SIG, representando em mapas temáticos os resultados antes obtidos, delimitando assim, áreas suscetíveis ao evento de chuvas extremas persistentes. Neste último capítulo se filtram as informações e registros dos danos que historicamente sofrem os municípios de SC, relacionando-os às datas dos casos extremos de chuva persistente. Com a filtragem antes feita é possível identificar a cidade/ região com maiores danos registrados, visando sua representação em Realidade Aumentada.

A Figura 1 mostra de forma esquemática a estrutura da pesquisa:

Figura 1- Estrutura da Pesquisa desta Tese.



Fonte: Autoria Própria

1.6 PANORAMA INTERNACIONAL DO PLANEJAMENTO E AÇÕES DE PREVENÇÃO FRENTE ÀS CHUVAS EXTREMAS

Se apresenta aqui um resumo do panorama internacional sobre as tecnologias de mapeamento, nos países que têm demonstrado uma melhor prevenção e resiliência frente aos danos provocados por chuvas extremas.

De acordo com Cacciotti et al.(2021) na Europa Central, as estratégias de gestão de risco são o resultado de extensos processos de aprendizagem e adaptação, baseados na experiência de desastres reais, envolvendo uma série de pequenos e grandes ajustes.

Esses ajustes podem ser agrupados da seguinte forma:

- I. Alterações ao quadro jurídico e administrativo: implementação de inventários como listas de bens do património cultural; fortalecimento do poder administrativo das autoridades responsáveis para aplicar medidas e reduzir riscos; reconhecimento formal da relevância da avaliação de risco no planeamento urbano e regional; introdução do conceito de exigência de desempenho nos códigos de construção que regem a concepção e implementação de intervenções no património edificado.
- II. Mudanças no financiamento e no orçamento: provisão de recursos adequados e rapidamente acessíveis para a proteção do património cultural; obrigação de criar reservas financeiras nos orçamentos dos governos locais; facilitando o seguro de edifícios e objetos do património cultural.
- III. Aperfeiçoamento em programas de educação e treinamento.
- IV. Otimização da documentação e mapeamento preventivo e pós-desastre.
- V. Melhoria da resiliência e conscientização das comunidades por meio de sistemas de alerta precoce, exercícios e simulações.

Segundo Cantos (2008, p.90), na Espanha, o Instituto Nacional de Meteorologia adotou o método de Gibbs para caracterizar a precipitação. Com este método, se for estabelecido que um período (de um mês, uma estação ou um ano) foi muito seco, os índices de frequência são calculados a partir dos valores dos quintis da série. Isso é equivalente à seguinte atribuição de caracteres:

Um mês, estação ou ano é considerado muito seco quando a frequência de precipitação é inferior a 0,20; ou seja, a precipitação registrada está no intervalo correspondente a 20 por 100 dos anos secos.

Um mês, estação ou ano é considerado seco quando a frequência de precipitação é maior ou igual a 0,20 e menor que 0,40; ou seja, a precipitação registrada é igual ou superior a 20 por 100 dos anos mais secos e inferior a 40 por 100 dos mais secos.

Da mesma forma, os personagens ou categorias de normal, úmido e muito úmido, quando as precipitações são nas faixas de 40% a 60%, de 60% a 80% e acima de 80%, respectivamente.

O estudo do artigo de Chen et al. (2022) sobre avaliação do Mapa de Risco de Inundação sob Mudança Climática em Taiwan, propôs uma estrutura para a integração de indicadores de risco de inundação e mapas para levar em consideração as características regionais de chuvas extremas. Neste estudo, o risco de inundação foi composto por perigo, vulnerabilidade, e índices de exposição com base na definição de risco de desastre, e enfatizou os danos potenciais causados aos sistemas naturais, e à sociedade humana por conta das alterações climáticas.

Os perigos incluem os fatores e graus de variação natural de eventos, como desastres causados por fortes chuvas e aumento do número de tufões; quanto maior o perigo, maior o

risco. A vulnerabilidade é definida como a extensão e a profundidade da possível inundação sob certos eventos de chuva. A exposição é definida como possível impacto à população.

A metodologia é baseada em indicadores e Sistema de Informação Geográfica (SIG), que são usados para avaliar mapas de risco de inundação com base em pesquisas anteriores. Foram avaliados e discutidos nesse estudo três indicadores (perigo, vulnerabilidade e índice de exposição), pois muitos indicadores tornariam difícil o trabalho dos tomadores de decisões e dos usuários interdisciplinares que planejem a redução de inundações.

Segundo o Caderno Técnico de Gestão Integrada de Riscos e Desastres, a produção de materiais cartográficos que possam ser utilizados na diminuição de problemas ocasionados pelo uso e ocupação do solo, passa pela integração entre os fatores físico-ambientais e sociais.

As unidades de análise irão se modificar de acordo com os fins a serem alcançados, e os processos geológicos e hidrológicos em análise podem ser tanto da bacia hidrográfica — conjunto de terras drenadas por um rio principal e seus afluentes — como de todo o território municipal, ou parte dele. Para isso, é necessário compreender a dinâmica de cada processo que se torna uma ameaça.

Os produtos cartográficos quando empregues na Gestão de Riscos e Desastres podem apontar a distribuição dos vários tipos de rocha e solos e suas características geológico-geotécnicas, as formas do relevo e a ação dos principais processos atuantes e o reflexo destes (naturais e induzidos) nas formas de uso e ocupação. Da mesma forma, os produtos cartográficos podem retratar qualidades do meio antrópico, tais como as intervenções humanas (redes de água, lixo, cortes e aterros), as condições da habitação e os aspectos sociais do local. Esses dados são organizados de acordo com os objetivos e a escala de cada tipo de mapeamento.

A Climate-ADAPT, site oficial da União Europeia para assuntos climáticos, ressalta que as medidas de adaptação às mudanças climáticas devem ser fundamentadas em dados sólidos e empregar instrumentos de avaliação de riscos que se encontrem à disposição de todos, desde as famílias que obtêm, constroem e renovam casas até às organizações situadas nas localidades costeiras ou aos agricultores que planejam as suas culturas. Para o efeito, o plano sugere medidas que avançam os limites do conhecimento em matéria de ajustamento às alterações climáticas para que se possa levantar mais informações, e de melhor qualidade, sobre os riscos e perdas pertinentes ao clima, tornando-os acessíveis a todos. A Climate-ADAPT, será reforçada, expandida e dotada de um observatório de saúde específico para aprimorar a identificação, a análise e a prevenção dos impactos das alterações climáticas sobre a saúde.

O estudo de Kim et al.(2022) determinou o nível de risco de danos por chuvas fortes por região na Coreia do Sul. Neste estudo foi identificado o nível de risco regional para um plano

de prevenção de desastres para uma área geral em nível nacional, usando avaliação de risco qualitativa. Para avaliação de risco, são utilizados dois métodos, avaliação quantitativa de risco e avaliação qualitativa de risco. Para superar as limitações de estudos anteriores, um índice de risco de danos causados por chuvas fortes foi proposto, esclarecendo a estrutura e usando o princípio de seleção de indicadores. Usando dados históricos de danos, também foi realizada uma análise de cluster hierárquica para identificar os principais tipos de danos que não foram considerados em estudos anteriores de avaliação de risco. Concluiu-se que a avaliação de risco é um método para avaliar o nível de risco relativo em uma região, calculando um índice integrado a partir de indicadores estatísticos que representam os níveis de risco de uma região. O resultado da análise do nível de risco revelou que os níveis de risco são relativamente altos em algumas cidades da Coreia do Sul, onde os danos causados pelas chuvas fortes ocorrem com frequência ou são graves. Cinco causas de danos foram derivadas deste estudo:

- a) deslizamentos de terra;
- b) inundação do rio;
- c) drenagem deficiente em áreas cultiváveis;
- d) enxurrada; e
- e) inundação em planícies urbanas.

Dados do Ministério do Meio Ambiente afirmam que o aumento dos caudais superficiais pode ser provocado por diversas causas imediatas e/ou concorrentes. No Brasil, na maior parte das vezes, é ocasionado pelas precipitações pluviométricas intensas, causando o transbordamento dos leitos dos rios, lagos, canais e áreas represadas.

Devido à extensão do território brasileiro, exposto a diversos fatores climatológicos aliados a uma rede hidrográfica com 55.457 Km de rios, as enchentes ocorrem em todas as regiões brasileiras, em várias épocas do ano, podendo-se destacar as tipologias: enchentes ou inundações graduais; enxurradas ou inundações bruscas; e alagamentos.

O Ministério do Meio Ambiente nos estudos feitos pelo IBAMA descreve como um componente fundamental das alterações climáticas é o efeito no ciclo hidrológico da Terra, que distribui ininterruptamente água dos nossos mares para a atmosfera, para a terra, para os rios e lagos, e novamente para os nossos mares e oceanos. As mudanças climáticas expandem os níveis de vapor de água na atmosfera e estão a tornar a disponibilidade de água menos previsível. Esta ocasião pode levar a chuvas torrenciais em algumas áreas, ao passo que outras

regiões podem encarar condições de seca mais graves, especialmente durante os meses de verão.

Segundo a Fundação Brasileira Para o Desenvolvimento Sustentável, visto que quase 60% da população mundial vive nas áreas costeiras ou precisa passar por elas, qualquer ascensão nos níveis de água do mar é uma grave ameaça ao modo de vida humano. Conforme o relatório *Climate Change 2007*, do IPCC, a temperatura mundial deve subir entre 1,1° C e 6,4° C durante o século 21, o que procederá a uma elevação no nível do mar entre 18 e 59 cm. Além da subida do nível do mar, a maior frequência dos eventos climáticos extremos reduzirá a estabilidade geográfica da linha costeira. Com o aquecimento, a água tende a evaporar mais rápido e teremos mais chuvas e tempestades, além de ventos, furacões e ciclones.

No estudo de Wang (2015) sobre mapas de risco de inundação para o patrimônio cultural, as inundações são classificadas como um desastre natural imprevisível que inclui chuvas torrenciais e tufões. As inundações estão relacionadas à preservação do patrimônio cultural em duas áreas principais. Uma área está analisando o efeito de uma inundação nos materiais de construção e a outra está investigando os efeitos das inundações em locais de patrimônio cultural usando um mapa de potencial inundação. Ambos são benéficos no estabelecimento de uma estratégia de conservação preventiva para diminuir os danos causados pelas inundações.

De acordo com Wang (2015), o potencial de inundação refere-se a uma possível inundação que é simulada com dados básicos de pesquisa de precipitação projetada, topografia específica, e acumulação hidrológica objetiva, assumindo que as instalações de controle de inundação estejam operando normalmente, esse mapa reflete as possíveis condições de inundação em um ambiente específico usando critérios hidráulicos em um determinado padrão.

A ampliação da agenda e conexão dos temas relacionados aos desastres, emergências em saúde pública e mudanças climáticas significa que não é possível assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, sem que os países se estruturam para a redução e gerenciamento de riscos nacionais e globais de saúde, envolvendo desde os processos de prevenção de riscos de desastres e emergências em saúde pública, até os que envolvem a preparação, o alerta precoce, as respostas e os processos de reabilitação, recuperação e reconstrução das condições de vida e saúde, bem como das estruturas fundamentais.

Esses riscos globais ocorrem em um mundo cada vez mais conectado, com população crescente e ambientalmente degradado, tendo como pano de fundo um cenário em que há uma relação proporcionalmente inversa entre os países, populações e grupos sociais que sofrem de modo mais amplo e intenso os riscos e danos provocados pelas mudanças climáticas, desastres

e emergências em saúde pública, e os que detêm a concentração de riquezas e poder de decisão sobre os processos que conformam as políticas e ações de redução de riscos nos níveis global, regionais e nacionais.

A mudança global do clima tem expressiva relevância na agenda de governos, das empresas e da sociedade. Embora apresente algumas divergências, o aquecimento do planeta, fruto da atividade humana, é hoje reconhecido pela comunidade científica internacional e pelo Estado Brasileiro, como fenômeno que demanda amplo comprometimento no desenvolvimento de ações voltadas para a redução das emissões de gases do efeito estufa, chamadas ações de mitigação e as ações de adaptação para enfrentamento da mudança do clima.

De acordo com o Ministério Para a Transição Ecológica do Governo da Espanha, considerando como evitar, mitigar ou assumir os riscos identificados, objetivos devem ser específicos, bem como, como definir os danos associados a um desastre, as características e aspectos naturais e sociais das bacias, os objetivos de desenvolvimento futuro e as limitações da capacidade de investimento. A elaboração desses objetivos específicos deve ser ajustada às características Áreas com Risco Potencial Significativo de Inundação (ARPSIs) por meio de estudos que coletam a mídia para reduzir o risco social, econômico e ambiental.

Antes de considerar qualquer possível influência em relação aos efeitos da mudança climática, é necessário estudar cuidadosamente a incerteza associada a ela. A adaptação deve estabelecer metas de curto e longo prazo, uma vez que este problema é resolvido na incerteza. Um dos aspectos mais importantes dessa adaptação é a mudança de paradigma das planícies aluviais, transformando-as em extensões para controlar e laminar futuras inundações.

Por meio da Política Nacional de Recursos Hídricos e da promulgação da Lei 12.608/2012, foi viável aos municípios a reestruturação do órgão de Defesa Civil e suas equipes técnicas para instituir um trabalho de caráter preventivo e recuperativo em locais de risco hidrológico. Assumir as bacias hidrográficas como unidade de análise para os riscos hidrológicos torna os processos de gestão e gerenciamento mais eficazes e preventivos do que a preferência por limites políticos, visto que processos como erosão, enchentes, inundação, entre outros processos naturais, intensificados pela intervenção antrópica, aparecem dentro da bacia e se apresentam em toda a extensão de um corpo d'água, e não se valem apenas dos limites administrativos.

Portanto, Gouveia (2017) reconhece que as políticas públicas criadas para mitigar, prevenir ou recuperar desastres naturais e, que adotando os limites político-administrativo como unidade de análise concedem a sociedade uma solução amenizadora para o problema, pois esses

limites não respeitam de maneira integral a formação das bacias hidrográficas e limites naturais do território.

Lai (2021) afirma que as percepções de risco para desastres em várias escalas institucionais (países, regiões, comunidades ou indivíduos) são conhecidas por afetar as decisões de adaptação às mudanças climáticas práticas. No entanto, existe uma lacuna entre os riscos percebidos e os riscos medidos, indicando a potencial incompatibilidade de pontos de justiça climática e prioridades de ações climáticas.

Por isso, entender a percepção de risco e, em seguida, identificar a lacuna é bastante crítico em termos de aumento da capacidade adaptativa e resiliência da comunidade. A percepção pública sobre os diferentes impactos das mudanças climáticas pode ser dividida em objetivos pontos de vista sobre a degradação ecológica e ambiental e a subjetividade da opinião pública (LAI, 2021).

Dadas as mudanças estruturais que ocorrem na economia global e os riscos de mudanças climáticas, seria oportuno fazer uma profunda revisão da especialização produtiva econômica, considerando sua inserção nos mercados globais, cadeias de valor intra-regionais, e comércio, a crescente dependência do consumo de hidrocarbonetos para energia (com os custos associados de importação, poluição e danos à saúde pública) e a degradação das florestas e outros ecossistemas que fornecem uma infinidade de produtos e serviços.

De acordo com a Comissão Econômica para a América Latina - CEPAL (2018), esses desafios terão que ser enfrentados agora, em um momento em que o modelo de um sistema autorregulado mercado está mostrando suas limitações. A humanidade vive uma mudança de época, e mudanças estruturais significativas na escala da revolução industrial são necessárias para mudanças climáticas e outras externalidades causadas pela industrialização e pela economia baseada em hidrocarbonetos.

De acordo com a CEPAL (2019), a infraestrutura de prestação de serviços de água e esgoto deve ser fortalecida para garantir a resistência aos perigos naturais. O acesso a esses serviços básicos é vital, especialmente nas áreas urbanas de baixa renda, mais vulneráveis a doenças e escassez. Nesse sentido, seria apropriado garantir que os serviços sejam confiáveis e tão independentes quanto possível de outros setores. Sistemas abastecidos e descentralizados, por exemplo, captação e armazenamento de águas pluviais, podem ser uma boa opção para comunidades dispersas, pois aumentariam a resiliência e reduziriam o custo de provisão.

Segundo dados da CEPAL (2020), durante a temporada de furacões no Atlântico, que afetou severamente a América Central, ocorreram 30 tempestades com ventos superiores de 39 milhas por hora (mph) ou mais, das quais 13 tornaram-se furacões (ventos superiores de 74 mph

ou mais), incluindo 6 grandes furacões (ventos máximos de 111 mph ou mais). Este é o maior número de tempestades já registrado, que supera os 28 de 2005, e o segundo maior número de furacões. Com isso, 2020 é o quinto ano consecutivo que a temporada de furacões no Atlântico atinge um nível acima do normal, o que também se traduz em um total de 18 temporadas acima do normal das últimas 26.

As mudanças observadas colocam em risco o combate à pobreza e à desigualdade, esses efeitos que as mudanças climáticas acarretam afetam o rendimento das colheitas e a disponibilidade dos recursos hídricos e sujeitam a sociedade a extremos climáticos, como ondas de calor, secas, tempestades extremas ou inundações. Por outro lado, existem consequências substanciais sobre os ecossistemas marinhos e terrestres. Por isso, torna-se cada vez mais necessário adotar medidas destinadas a aumentar a resiliência das comunidades, reduzir as emissões de gases de efeito estufa por meio do uso de energias renováveis, proteger as florestas e modificar os padrões de produção e consumo.

Fialová e Šnejdová (2020) em seu trabalho de redução do risco de chuva forte por instrumento de planejamento regional, produzem um material que contém medidas de proteção contra inundações para reduzir os riscos de chuvas torrenciais que podem ser projetadas em tipos individuais de documentação em geral. Essas considerações foram feitas em conexão com o projeto RAINMAN e relacionado às medidas listadas no Catálogo de 100 medidas de redução de risco.

2. CLIMATOLOGIA DE CASOS DE CHUVA PERSISTENTE, EXTREMA E ABRANGENTE EM SANTA CATARINA

2.1 INTRODUÇÃO

Neste Capítulo se faz um resumo estendido, em nível nacional e mundial, dos trabalhos mais relevantes relacionados à climatologia de chuvas persistentes extremas. Foram revisados os trabalhos através das bases científicas Scopus, Scielo, Periódicos CAPES e Web of Science. Nessas bases, existe grande representatividade de trabalhos referentes às chuvas extremas que perduram desde horas até vários dias e semanas, para as quais, ainda estão em aberto os estudos referentes às causas e fenômenos meteorológicos que as fazem perdurar tanto. Segundo o MARCO DE SENDAI PARA A REDUÇÃO DO RISCO DE DESASTRES (2015-2030) e o CEPED cada região do planeta possui características geográficas distintas e em constante transformação ante a variabilidade climática, influenciando muito os tipos de chuvas e sua persistência diferencialmente.

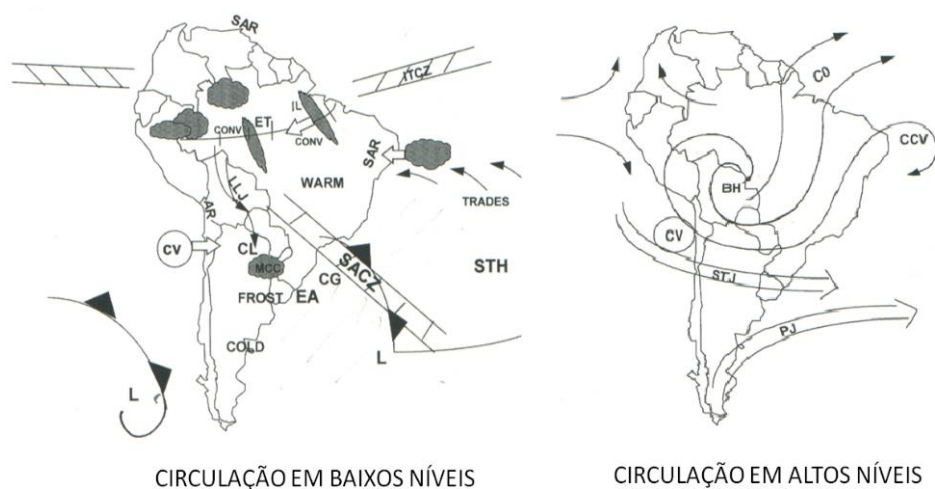
2.2 REFERENCIAL TEÓRICO

Na Região Sul do Brasil, encontra-se o estado de SC, localizado entre os paralelos 26°00'08"S e 29°21'03"S e os meridianos 48°21'30"W e 53°50'09"W. Limita-se ao Norte com o Estado do Paraná, ao Sul com o Estado do Rio Grande do Sul, a Leste com o Oceano Atlântico e a Oeste com a Argentina. Apresenta uma extensão territorial de 95.346,181 km², sendo o 20º estado em dimensão territorial, correspondente a 1,12% da área do país e 16,54% da Região Sul. São 295 municípios os que compõem o estado, sendo sua capital Florianópolis, localizada no litoral e como segundo município mais populoso, depois de Joinville, com 508 826 habitantes. O estado de SC se divide em seis mesorregiões: Norte Catarinense, Vale do Itajaí, Grande Florianópolis, Sul Catarinense, Serrana e Oeste Catarinense. IBGE.

Verifica-se na Figura 2 que a América do Sul, onde SC faz parte, é influenciada por sistemas atmosféricos de escala sinótica, e os mesmos, podem ter influência de fatores tanto da circulação local como da grande escala, com origem tropical ou extratropical. Desta forma, o estado de SC, bem como parte da Região Sul do Brasil, se encontra geograficamente na posição subtropical, com incidência de fenômenos meteorológicos que provocam chuvas intensas de forma homogênea durante o ano todo (REBOITA et al., 2010).

Figura 2- Representação dos sistemas atuantes na América do Sul em baixos e altos níveis.

CL=Baixa de Chaco, LLJ= Jato de Baixos Níveis (JBN), ET= Baixa Equatorial, AR= Regiões Áridas, SAR= Regiões Semiáridas, MCC= Sistemas Convectivos de Mesoescala, CONV= Atividade Convectiva, CG= Ciclogênese, STH= Alta Subtropical, EA= Anticiclone Extratropical, L= Centro de Baixas Pressões, CV= Vórtice Ciclônico, BH= Alta da Bolívia, CCV= Vórtice de Núcleo Frio (VCAN tipo Palmer do NE de Brasil), CO= Escoamento de Cirrus, STJ= Jato Subtropical, PJ= Jato Polar.



Fonte: Adaptado de SATYAMURTY et al., 1998.

2.2.1 Características dos Sistemas Atmosféricos que atuam sobre América do Sul, incidindo em SC

Segundo Mo e Berbery (2011), existe uma influência do evento El Niño Oscilação do Sul (ENOS), como fenômeno da grande escala, sobre a quantidade e persistência da chuva, principalmente durante o outono e a primavera no Sul brasileiro. ENOS favorece para que uma maior instabilidade atmosférica aconteça em parte da América do Sul, aumentando os períodos de chuvas mais frequentes, persistentes e volumosas. ENOS na sua fase de anomalia positiva da temperatura no oceano Pacífico (El Niño) provoca totais mensais acima da média climatológica, mas nos últimos anos esses parâmetros vêm se desajeitando, acontecendo casos extremos de chuva durante eventos de anomalia negativa da temperatura no oceano Pacífico (La Niña) e períodos menos chuvosos durante El Niño, já em condições de neutralidade do ENOS, tem-se ao mesmo tempo registros de chuvas abaixo ou acima da normal climatológica (FERNANDES; RODRIGUES, 2017).

Nos textos de Grimm et al (2000) e Grimm (2009), se aborda o tema do evento ENOS, resumindo que em anos de El Niño, ou seja, aquecimento das águas do oceano Pacífico, o Jato Subtropical torna-se mais intenso devido ao aumento do gradiente térmico entre o Equador e o Polo Sul, favorecendo assim o bloqueio de sistemas frontais que estejam transitando sobre SC. Sistemas de bloqueios causam aumento da precipitação e incremento da atividade convectiva nos sistemas frontais sobre toda a Região Sul do Brasil (GRIMM et al., 2000; CLIMANÁLISE, 2001). As épocas da primavera e começo do verão (outubro, novembro e dezembro), assim como, final de outono e começo do inverno (abril, maio e junho), são os períodos com maior influência do fenômeno ENOS, com registros de eventos extremos de precipitação na América do Sul (TEDESCHI et al., 2014).

Em condições de El Niño, em SC, a atmosfera tende a ficar mais úmida e instável, aumentando os índices pluviométricos, especialmente na primavera, devido à intensificação dos Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM). Por outro lado, em anos de La Niña, acontecem períodos anômalos de déficit de chuvas, ficando as mesmas abaixo da média climatológica (MONTEIRO; SILVA, 2014).

Os bloqueios atmosféricos são outro tipo de sistema que podem causar precipitações intensas e persistentes no Sul do Brasil. A sua localização pode determinar a persistência de um sistema causador de chuvas. Por exemplo, com a presença de um anticiclone estacionário no oceano Atlântico ou no oceano Pacífico, se tem pouco ou nenhum movimento dos sistemas de chuva atuantes no momento sobre o Sul brasileiro. Podem-se registrar assim, acumulados de chuva por várias horas ou dias na região de estudo (GRIMM et al., 2000).

Um fenômeno de escala sinótica que tem influência sobre o sudeste do Brasil é a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que em união ao Jato em Altos Níveis e a partir dos sistemas frontais com caráter estacionário sobre o Sul e sudeste do Brasil, pode influenciar a formação de chuvas persistentes no norte de SC. A ZCAS depende da entrada de calor e umidade do oceano Atlântico para o interior do Brasil e da região amazônica para o sudeste da América do Sul, aumentando sua frequência e persistência nos anos do El Niño (QUADRO, 1994).

Cardoso (2017) estudou os eventos de precipitação extrema no Sul do Brasil desde 1980, mostrando que os eventos mais intensos e persistentes ocorrem principalmente durante o verão. Estes autores também inferem que há uma relação entre os eventos mais intensos que coincidem com anos do evento El Niño Forte, e que durante anos de neutralidade desse fenômeno, acontecem os casos mais persistentes em dias de inverno e primavera. Estes casos mais

persistentes têm preferência espacial sobre as regiões norte e sul do estado de SC, bem como na região metropolitana de Florianópolis (capital de Estado).

Cardoso (2017), baseada na Tabela 1, separa os conceitos de Chuva Intensa e Chuva Persistente. No caso de um evento de Chuva Persistente se refere quando o valor da precipitação diária for maior que 1 mm em pelo menos 3 dias consecutivos, e a média móvel de três dias acima do quantil sazonal 99%. Quanto à abrangência dos eventos extremos, a autora utiliza um algoritmo específico para determinar proximidade ou não de pontos de grade usando dados observados e interpolados. Os resultados alcançados nessa pesquisa mostraram que no verão ocorrem o maior número de eventos extremos para todas as categorias analisadas. Além disso, a autora relaciona esses casos fortemente com influência do fenômeno El Niño. Geograficamente um maior número de eventos obtidos nesse trabalho acontece entre o norte do Rio Grande do Sul e o estado do Paraná, especificamente os casos de Chuva Persistente, tem preferência no litoral de SC. O sul do Paraná e grande parte de SC são as regiões mais favoráveis para a ocorrência destes eventos persistentes e abrangentes da chuva na fase neutra do ENOS, portanto, a Grande Florianópolis apresenta o maior número de casos persistentes durante os períodos de La Niña. Por fim, Cardoso (2017) resume que os principais fatores/ingredientes atmosféricos para ocorrência de eventos extremos e abrangentes são a disponibilidade de umidade nas camadas mais baixas da troposfera somada ao jato de altos níveis e um cavado que se mantém nos médios níveis.

Tabela 1- Resumo dos diferentes métodos para determinar Extremos de Precipitação.

Metodologia	Autores	Tipo de Dado
Limiar de 50mm/24horas	Severo (1994)	Observado
Área Específica Mínima	Teixeira e Satyamurty (2007)	
Limiar 50mm/24-48h	Harnack, Apffel e Cermak (1999)	Observado em ponto grade
Percentil em relação à média	Liebmann, Jones e Carvalho (2001)	
	Carvalho, Jones e Liebmann (2002)	
Técnica Quantis Uso Médias Móveis	Pscheidt e Grimm (2009) Tedeschi, Grimm e Cavalcanti (2015) Goncalves (2015)	Observado
	Xavier e Xavier (1984), entre outros Lima, Satyamurty e Fernández (2010) Rodrigues (2015)	
Volume em relação à média	Prieto (2016)	Observado
Precipitação associada a eventos de inundação	Silva (2011) Nunes e Silva (2013)	Observado casos de inundações

Fonte: Cardoso (2017)

2.2.2 Características sinóticas que incidem sobre o Sul brasileiro pelas variáveis pressão, vento e precipitação

O clima do Sul do Brasil tem suas características peculiares em relação às demais regiões do Brasil, sem sazonalidade destacada em relação ao comportamento pluviométrico, apresenta grandes contrastes nos regimes de precipitação, devido principalmente a seu relevo acidentado e a transição entre os trópicos e as latitudes médias. Portanto, existe a possibilidade de ocorrer chuvas extremas em qualquer época do ano (RAO; HADA, 1990; GRIMM et al., 2000; BARBIERI, 2005; MONTEIRO; SILVA, 2014, 2018).

No verão e parte da primavera, um centro de baixa pressão continental desenvolve-se sobre a região do Chaco e estende-se para Leste, e o centro de alta pressão sobre o Atlântico é deslocado para Leste. Consequentemente, a sua circulação não penetra muito o continente. Durante o verão, com maior aquecimento da superfície, ocorre grande aporte de umidade no continente, que em associação com o sistema de monção da América do Sul, produz maior número de Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM), principalmente no período noturno, no qual apresentam um máximo de convecção com intensa precipitação (RASERA; CAMPOS, 2013).

Em relação à direção e à intensidade do vento, no verão, a formação de uma corrente de Jato de Baixos Níveis (JBN) aumenta o transporte de umidade desde o Norte até o Sul do Brasil. Associado a esta configuração, ocorre uma maior incidência de chuvas nessa Região Sul. Os ventos na alta e média troposfera são predominantes de Oeste, atingindo o sudeste e centro do Brasil, restringindo-se no verão ao extremo sul, pois se estabelece sobre grande parte do continente uma circulação anticiclônica, a Alta da Bolívia. Nas estações de transição, o jato subtropical de altos níveis está centrado sobre o Sul do Brasil e nordeste da Argentina, o que influencia a precipitação mais intensa na região em relação a outros sistemas de ciclo de vida curto, tais como Sistemas Convectivos de Mesoescala SCM (GRIMM, 2009). Neste período do ano, massas de ar intertropicais e tropicais provocam a umidade necessária para chuvas contínuas, tanto da região amazônica como do oceano Atlântico (GEREMIAS, 1997).

Durante o inverno e parte do outono, o centro de baixa pressão continental é fraco, e a alta do Atlântico Sul estende-se sobre o continente. Desta forma, sistemas frontais são os responsáveis pela chuva no Sul do Brasil, principalmente no litoral (ANDRADE, 2005). Esses sistemas frontais tendem a ficar estacionários provocando chuva durante períodos de vários dias (BRITTO et al., 2006). Ainda no inverno e parte do outono, quando semi-estacionário o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), se dá lugar a incursão de frentes frias por

vários dias, distribuindo a chuva mais homogênea neste período do ano por SC (GEREMIAS, 1997).

No litoral centro-norte de SC tem-se um alto regime pluviométrico, com chuvas extremas tanto no verão como no inverno. O período mais chuvoso no litoral centro-norte de SC fica no verão (janeiro e fevereiro) e o menos chuvoso nos meses de inverno (junho e agosto), neste último mês a chuva se desloca mais para o litoral sul do estado (GEREMIAS, 1997)

2.2.3 Tipos de estudos sobre Eventos Extremos de Chuva

Existem pesquisas referentes à *intensidade da precipitação*, referenciados por Severo (1994); Harnack et al. (1999); Teixeira e Satyamurty (2007); Lima et al. (2010); Moura et al. (2013), os quais estudaram eventos com duração máxima de até um dia. Este tipo de chuva provoca grandes desastres devido à iminência e rapidez de como se desenvolvem, não dando tempo aos sistemas de previsão alertarem à população. A previsão que anuncia esses eventos pode ser conhecida como *nowcasting*. No estudo de Severo (1994), por exemplo, se faz referência aos eventos extremos de curta duração em SC, para os quais padrões atmosféricos têm sido obtidos e os seus comportamentos analisados. Estes eventos extremos são cada vez mais preocupantes, especialmente pelos danos socioeconômicos decorrentes, a partir da existência de um aumento no número dos eventos na região e projeções de aumento futuro.

Por outro lado, têm-se estudos referentes à *persistência da precipitação*, os quais retratam como a chuva se mantém no tempo por vários dias (CARDOSO, 2017; GONÇALVEZ, 2015; NUNES; DA SILVA, 2013). Muitas vezes, essas chuvas ocorrem em diversas regiões ao mesmo tempo e perduram até semanas, dificultando o restabelecimento estrutural das cidades. No estudo de Nunes e da Silva (2013), por exemplo, se faz uso da modelagem climática regional estudando para o leste e norte de SC, a frequência de desastres naturais ocasionados por eventos extremos de precipitação nos últimos 60 anos. Os autores mostram uma climatologia na região, onde os maiores números de eventos têm ocorrido no verão e outono e os de maior intensidade e persistência no inverno, com uma tendência linear positiva que indica um aumento no número de eventos futuros.

O estudo de Tuttle e Davis (2006) verifica que nas estações quentes dos Estados Unidos, os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) persistem por mais de uma semana, causando a persistência da chuva com acumulados importantes. A partir de imagens de radar e análise de campos termodinâmicos, foi estudada a intensidade da precipitação em eventos convectivos, concluindo que a chuva persistente depende diretamente da força do Jato de Baixos

Níveis (JBN), pois ele favorece para uma maior convergência, elevação, transporte de umidade e frontogênese.

Diversos trabalhos, que também estudam o tema referente às chuvas persistentes, estão sendo desenvolvidos na região asiática da China. Alguns desses trabalhos, tais como os de Tang et al. (2006), Chen e Zhai (2013) e Zhao et al. (2017) convergem para o entendimento de que a China possui um amplo período provável para a ocorrência de chuvas persistentes, especificamente durante o verão do hemisfério norte. Eventos de chuva persistentes ocorrem preferencialmente no litoral leste da China, e são bem raros no Centro e no Oeste desse país. Tang et al. (2006) classificaram eventos persistentes de chuva ocorridos na China em função do escoamento em 500 hPa. No trabalho de Zhao et al. (2017), foi feita uma distribuição dos eventos persistentes por categorias, levando em conta o momento e período em dias como eles aconteceram. Zhang e Meng (2018) estudaram um evento persistente na China, durante vários dias na primavera de 2014. O principal fator que causou essas chuvas foi o acoplamento de um cavado de onda curta na média troposfera, um vórtice ciclônico em baixos níveis e a um JBN. Esses sistemas mantiveram uma linha de convergência persistente ao longo da costa sudeste da China.

2.2.4 Climatologia dos principais Eventos Extremos de Chuva em SC

Rodrigues (2015) comenta como o estado de SC, devido às características do solo, relevo e físico-geográficas de latitudes intermediárias, é amplamente suscetível a eventos de chuva com inundação e movimentos de massa. Este trabalho mostra uma climatologia sinótica de eventos de extrema chuva de 1969 a 2010, selecionando os casos superiores ao quantil 99,5 da chuva acumulada em cinco dias consecutivos. A maior parte dos eventos ocorreu em fevereiro (verão), concentrando-se a chuva intensa em períodos de 24 horas. Rodrigues (2015) registrou eventos extremos de chuva como novembro de 1991, dezembro de 1995, fevereiro de 2001 e janeiro de 2008, os quais alcançaram acumulados perto dos 400 mm durante 5 dias de chuva persistente. Verifica nesses eventos como padrão atmosférico, uma alta pressão semi-estacionária no Atlântico Sul, trazendo ventos persistentes de leste/nordeste em superfície carregados de umidade, junto a um ciclone em médios níveis, no Sul do Brasil ou arredores. O efeito da topografia, junto ao efeito da evaporação do mar, favorece o aumento das chuvas na parte litorânea de SC e uma redução da precipitação em áreas do mar e no continente.

Em SC os sistemas meteorológicos, como as massas de ar, apresentam comportamento sazonal, que interage de maneira diferencial com o relevo. Dessa maneira, para uma melhor

compreensão da dinâmica atmosférica na região, torna-se interessante e didaticamente ajustável à tomada de decisão, estudar as condições e padrões por estação do ano. Os maiores índices pluviométricos, favorecidos em grande medida pelo relevo montanhoso, são registrados no oeste do estado, na grande Florianópolis e Litoral Norte, sendo que os menores acumulados se concentram no litoral sul, entre Araranguá até proximidades de Laguna. (MONTEIRO; SILVA, 2014).

Segundo Monteiro e Silva (2018), no oeste Catarinense os meses chuvosos estendem-se de setembro a fevereiro, abrangendo a primavera e o verão. Os autores mostram que os principais sistemas meteorológicos que atuam no Sul do Brasil são os anticiclones e ciclones e que, especificamente devido ao fator orográfico, a região oeste acumula o maior volume pluviométrico de SC. No oeste do estado o sistema de baixa pressão do Chaco ou Depressão do Chaco controla diretamente a precipitação desta região. Esse sistema, acoplado com a passagem de frentes frias e os JBN, ajuda no transporte da umidade e calor da Amazônia para todo o Sul brasileiro. Monteiro e Silva (2018) relatam ainda que na primavera as condições atmosféricas são mais instáveis provocando maiores acumulados de chuva intensa nesta região, provocado por Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM), normalmente na modalidade de Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), além das linhas de instabilidade (LI), especialmente em anos de El Niño. Isso coincide com as características para a mesma época do ano no Rio Grande do Sul, explicadas por Prieto (2016).

Monteiro e Silva (2014) comentam sobre a constante ocorrência em SC de bloqueios atmosféricos, sistema que paralisa qualquer situação do tempo, seja de chuva ou seca. As frentes frias que surgem após os desbloqueios são muito intensas, causando temporais que podem acumular grandes volumes de chuvas diárias, chegando a somar quase o total do mês. Existem ainda, casos de atuação de sistemas de bloqueios sobre SC, que paralisam a passagem de sistemas frontais, que por sua vez, mantém a chuva por vários dias no sul do Estado, conhecidos assim como frentes semi-estacionárias. Com o passar dos dias, se o anticiclone o permite, a frente consegue avançar em latitude, mas muitas vezes volta a ser bloqueada no norte do estado. Estas condições de instabilidade do sistema frontal provocam chuvas persistentes, umidade elevada e baixa amplitude térmica.

O ano de 1983 foi marcado historicamente pelas chuvas extremas, quando durante o mês de maio e logo durante o inverno em julho, foi protagonista da situação extrema de bloqueio atmosférico persistente sobre SC. Durante esses meses sistemas frontais foram detidos sobre o estado provocando grandes acumulados de chuva durante várias semanas. As chuvas no desastre específico de maio de 1983 foram causadas por uma frente fria na Região Sul, que

retornou como frente quente. Segundo Severo (1994), a baixa extratropical associada ao sistema frontal conseguiu evoluir para um vórtice ciclônico, que junto ao escoamento de noroeste com ar quente e úmido proveniente da região amazônica, alimentou a convecção necessária para as chuvas abundantes. Essas chuvas intensas provocaram as maiores enchentes da história até esse momento em SC, principalmente no vale de Itajaí. A precipitação chegou a alcançar os 513 mm, com numerosos deslizamentos e perdas de vidas. Outros casos extremos de chuva persistente foram o de novembro de 1991 com acumulado de 549,70 mm e em dezembro de 1995 com acumulado de 563,20 mm (HERRMANN; MENDONÇA; CAMPOS, 1993).

O caso da primavera de 2008 no Vale do Itajaí se configura como um dos maiores desastres registrados em SC. Acumulados diários que chegaram a 340 mm em algumas localidades, com recordes históricos diários e mensais, como em Joinville, onde o acumulado mensal passou os 900 mm, quando sua média climatológica não passa dos 180 mm. Essas chuvas intensas provocaram desastres em torno de 60 cidades e para mais de 1,5 milhões de pessoas, com 133 mortes, 22 desaparecidos e mais de 78.000 habitantes forçados a sair de suas casas. A chuva foi relacionada a sucessivas frentes frias e cavados, com influência persistente da circulação marítima sobre todo o litoral de SC e adentrando-se pelo estado todo. A formação de um vórtice ciclônico nesse mês de novembro, associado ao transporte de umidade que o JBN traz da Amazônia, reforçou a instabilidade, e com ela, as chuvas por tantos dias. Esta condição se manteve semi-permanente, devido a um padrão de bloqueio estabelecido. O elevado acumulado da precipitação desbordou o nível de vários rios, alagando vários municípios do litoral, como por exemplo, Itajaí, o que junto à forte declividade da região, os desmatamentos e a ocupação desordenada, contribuíram para a ocorrência de deslizamentos e enxurradas generalizadas (MONTEIRO e SILVA, 2014).

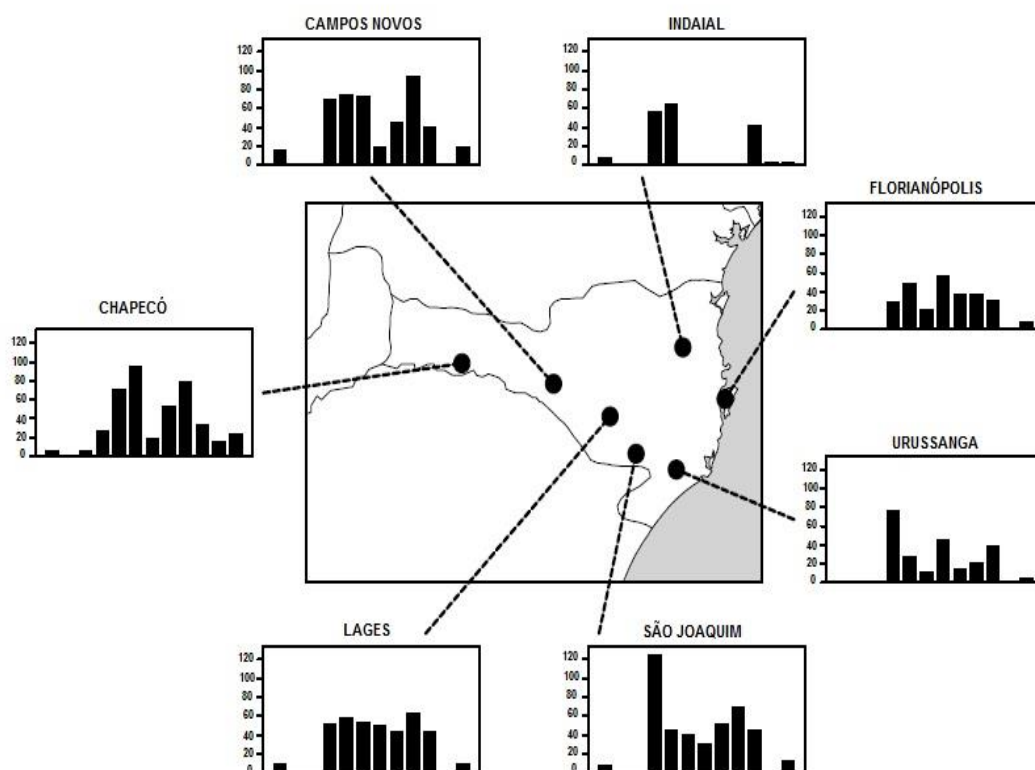
Silveira et al. (2016) mapearam os desastres provocados pelas inundações e alagamentos devido às chuvas fortes na região de Itapoá, litoral norte de SC. Conforme os AVADAN da DC, como parte do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID), esses episódios de chuvas extremas se resumem durante o mês janeiro de 2008 acumulando 426 mm em Joinville, em novembro de 2008 com acumulados maiores a 400 mm nas cidades de Itapoá, Araquari, Garuva e Joinville, e por último em janeiro de 2011 acumulando 397,5 mm novamente em Joinville. Segundo Silveira et al. (2016), não há um padrão exato na distribuição das chuvas para os três eventos analisados, contudo, os maiores registros ficaram no setor oeste do município, evidenciando a influência da orografia para as chuvas no litoral norte catarinense. O crescimento irregular urbano nessa região trouxe muitas localidades atingidas, com danos e prejuízos socioeconômicos. Concluem os autores que conhecer o comportamento das chuvas e

a influência dos fatores geográficos é uma ferramenta importante para o planejamento regional e urbano, uma vez que desastres sócio naturais podem ser evitados com um bom planejamento.

Durante o caso extremo de chuva que persistiu por mais de uma semana de 3-14 de julho de 1983, se totalizaram no estado quase 200.000 desabrigados, 49 mortos. O maior número de vítimas aconteceu nos municípios de Blumenau, com 50.000 desabrigados (29,3% da população) e 8 mortos; Itajaí com 40.000 desabrigados (42,3% da população) e 5 mortos; e Rio do Sul com 25.000 desabrigados (64,7% da população) e 5 mortos. A maioria dos demais municípios atingidos registraram cerca de 5000 desabrigados o qual representa uma alta porcentagem de seus habitantes, por exemplo, Lontras com 4.000 desabrigados (54,1% da população); Trombudo Central com 2980 desabrigados (40,2% da população); Rio do Oeste com 2.820 desabrigados (38,7% da população); e Três Barras com 3752 desabrigados (29,4% da população) (HERRMANN, 2001).

Na Figura 3 é mostrada a distribuição de parte dessas chuvas de julho de 1983, com dados de 7 estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Estas estações são as únicas das quais se têm registros de dados históricos para sua análise. Se observa a boa distribuição das chuvas pelo estado todo, sendo que, os municípios de fronteira com RS e próximos ao litoral alcançaram os maiores acumulados da chuva, supondo que o sistema atuante, antes comentado, ficou semi-estacionário com maior intensidade nessa região mais montanhosa (SEVERO, 1994).

Figura 3 - Distribuição Média da Chuva num caso extremo de Chuva historicamente registrado durante 1983 em SC.



Fonte: Autoria Própria

Herrmann e Mendonça (2007) analisam as características climáticas em SC abordando a ocorrência de desastres naturais, tais como inundações graduais e bruscas, deslizamentos, estiagens, granizos, vendavais, tornados e tempestades de marés relacionando os mesmos aos fenômenos meteorológicos associados. Este trabalho resume parte do trabalho feito no Atlas de Desastres Naturais de SC da Tese de doutorado de Herrmann (2001), onde se agregou uma análise variada sobre os diversos desastres naturais que ocorreram no estado, no período de 1980 a 2004.

Em SC, a configuração morfológica, a continentalidade e a maritimidade interagem com os sistemas atmosféricos, influenciando variações climáticas locais de aquecimento, resfriamento, pluviosidade e de altitude. A suscetibilidade aos riscos e desastres climáticos é reflexo das características fisiográficas, principalmente da organização do espaço. As maiores diferenças quanto à circulação são produzidas por influência das oscilações da Frente Polar, que ocasiona bruscas mudanças no tempo favoráveis a instabilidades e chuvas. Esses sistemas produzem chuvas de sudoeste para nordeste, as quais se intensificam pela ascensão forçada por barreiras orográficas, posicionadas no centro sul do estado (HERRMANN, 2001).

Em SC a maior frequência em número de desastres naturais, entre os anos 1980 e 2000, segundo Herrmann (2001), foram registrados nas estações do verão e logo no inverno. Os desastres naturais que ocorreram em SC têm uma alta frequência nos últimos 25 anos. O estado apresenta nos últimos anos as mais diversas manifestações de fenômenos meteorológicos causadores de desastres, por exemplo um total de 1299 registros de ocorrência de inundações graduais, 555 inundações bruscas, 140 deslizamentos, 492 estiagens, 342 granizadas, 502 vendavais e 43 casos de tornados. O planejamento urbano precisa ainda melhorar seus planos diretores com foco nestes eventos e seus danos nos municípios de SC (HERRMANN; MENDONÇA; 2007).

As frentes frias originadas no Círculo Polar Antártico encontram as massas de ar quente tropicais, provocando intensas chuvas convectivas. Essas chuvas convectivas, principalmente nos meses de verão, provocam diversos deslizamentos em SC. A região que apresenta a maior quantidade de afetados por esse evento fica no Vale do Itajaí, norte do estado, com 12.420 pessoas. Em SC, no período de 1991 a 2012, foram registrados oficialmente 36 desastres relacionados a movimentos de massa, e do total de 295 municípios do estado, 19 foram atingidos por esses eventos. O maior número de registros de movimento de massa aconteceu na região do Vale do Itajaí, seguido das regiões da Grande Florianópolis e Norte Catarinense, com respectivamente 12, 8 e 6 eventos. Os municípios mais atingidos, com dois registros, são Florianópolis e Gaspar (CEPED, 2013)

As instalações urbanas acentuam a gravidade das enchentes, como loteamentos residenciais e sistemas viários instalados nas planícies aluviais propensas a inundações. Obras de engenharia também podem favorecer a enchentes quando não se leva em conta um estudo climático da região e quando são mal estruturadas, não levando em conta o possível rompimento de barragens com acúmulo de lixo e entulhos nos canais fluviais, acentuando o transbordamento (HERRMANN, 2001).

2.2.5 Padrões de Circulação de Eventos de Chuva

Hoje em dia uma das principais linhas de pesquisa da meteorologia e especificamente da climatologia sinótica, têm sido a obtenção e classificação de padrões de circulação atmosférica (RICHTMAN, 1986; COMPAGNUCCI et al., 2001). Existe um crescente interesse na melhora da previsão do tempo, pela necessidade de prevenir-se das consequências dos fenômenos extremos de precipitação, que como antes mencionado, causam os maiores danos na população e economia. Padrões atmosféricos podem ser obtidos a partir do estudo das

variáveis para um caso por si só, o qual fornece informações detalhadas sobre a evolução do ambiente atmosférico durante a ocorrência do evento significativo, ou pela composição de um conjunto de casos (compostos), o qual utiliza a informação coletiva de um conjunto de eventos associados a um mesmo fenômeno atmosférico para conhecer o ambiente sinótico médio que contribuiu para a sua ocorrência (TEIXEIRA, 2010).

Outro método amplamente empregado em diversas áreas, como ferramenta de resumo estatístico, será o da Análise de Componentes Principais (ACP). Com o uso dessa ferramenta, Escobar (2007) obteve os padrões associados a ondas de frio na cidade de São Paulo. Posteriormente Moura et al. (2013) obtiveram padrões de circulação em superfície e altitude, associados a eventos de chuva intensa no Rio de Janeiro. Escobar (2014) conseguiu definir eventos de anomalias positivas de precipitação no estado de Minas Gerais para um mês específico. Recentemente Gonçalves (2015) encontrou como padrão sinótico para as chuvas persistentes no sudeste do Brasil, a incidência de frentes frias e o fortalecimento dos anticiclones do Pacífico e Atlântico, e ainda, o autor encontrou a formação de um sistema de bloqueio no Atlântico, o qual provoca pouca mobilidade do sistema que causa a chuva e relaciona-o com a região de forte umidade no centro do continente ZCAS, que favorece a manutenção da chuva durante vários dias. A aplicação da ACP na climatologia sinótica, objetiva à obtenção de padrões atmosféricos levando ao consequente melhoramento dos conhecimentos da meteorologia operacional na previsão do tempo. (RICHTMAN, 1986; COMPAGNUCCI et al., 2001; TEIXEIRA, 2010; MOURA et al., 2013; ESCOBAR, 2007, 2014; PRIETO, 2016; GONÇALVES, 2015).

No trabalho de Teixeira e Prieto (2019), nenhuma tendência de aumento ou diminuição do número de casos de chuva persistente no estado do RS foi detectada, sendo que, esses eventos têm preferência de acontecer durante o inverno. Com respeito à espacialização da chuva, os autores resumiram que a metade leste do RS tem maior frequência de eventos de chuva persistente, com grande quantidade de chuva. Nas estações de transição, especificamente durante o outono, se registram os casos mais intensos quanto à persistência em dias e acumulados da chuva persistente extrema e abrangente nos últimos 10 anos no RS, estado que limita ao sul com SC. Esta situação é provocada principalmente por frentes frias estacionárias (PRIETO, 2016).

Neste trabalho poderá ser verificado, se o uso de ACP na região de estudo e para os anos em questão será realmente relevante como até o momento tinha sido feito pelos trabalhos aqui citados, na hora de comparar as ACP com os mapas compostos.

2.3 METODOLOGIA

Foram definidos eventos extremos de chuva por meio de técnicas estatísticas dos quantis, aplicados aos dados de chuva coletados pelas estações meteorológicas nos municípios do estado. Foram selecionados os casos mais intensos a partir de sua persistência, acumulado e abrangência espacial. Para estes eventos, foram obtidos padrões de circulação atmosférica em escala sinótica e sua evolução temporal, caracterizando o ambiente de escala sinótica associado aos mesmos no tempo e espaço. Os dados diários de precipitação utilizados foram do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa, para 31 anos de observação (1986-2016), disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET e pelo Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de SC (EPAGRI-CIRAM). Esses dados são tomados das estações convencionais mais significativas no estado de SC e com menor período de dias faltantes, menos falhas, no máximo uma semana sem dados.

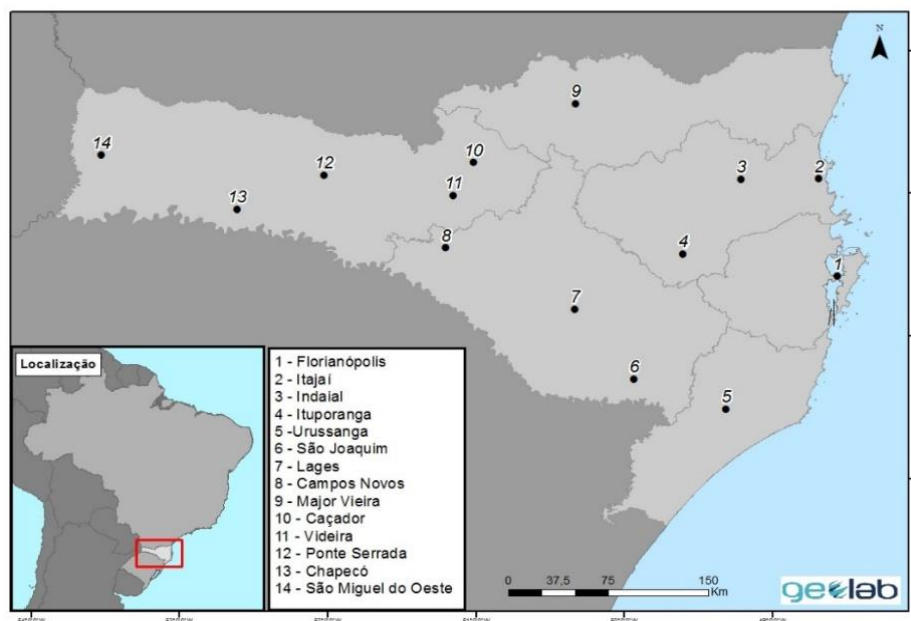
A Tabela 2 apresenta dados técnicos sobre as principais estações convencionais com coleta de dados meteorológicos que se encontram em SC, as quais foram tomadas como referências para este estudo. Na Figura 4, apresenta-se a respectiva localização geográfica das estações apresentadas na Tabela 2, onde percebe-se claramente que há uma boa distribuição espacial e uniforme das mesmas.

Tabela 2- Estações meteorológicas com coordenadas (latitude, longitude e altitude) das principais estações convencionais do estado de SC com dados de precipitação (1986-2016) que foram utilizados no trabalho.

Cidade	Cód. OMM-No. EPAGRI	Lat. (°)	Lon (°)	Altitude(m)
CAMPOS NOVOS	83887	-27.38	-51.2	946.67
CHAPECÓ	83883	-27.11	-52.61	679.01
FLORIANÓPOLIS	83897	-27.58	-48.56	1.84
INDAIAL	83872	-26.9	-49.21	86.13
LAGES	83891	-27.81	-50.33	936.83
SÃO JOAQUIM	83920	-28.3	-49.93	1415.00
URUSSANGA	83923	-28.51	-49.31	48.17
CAÇADOR	600	-27.38	-51.2	946.67
ITAJAÍ	1830	-27.11	-52.61	679.01
MAJOR VIEIRA	5150	-27.58	-48.56	1.84
PONTE SERRADA	4850	-26.9	-49.21	86.13
SÃO MIGUEL DO OESTE	3610	-27.81	-50.33	936.83
ITUPORANGA	1910	-28.3	-49.93	1415.00
VIDEIRA	4420	-28.51	-49.31	48.17

Fonte: CPTEC- INMET

Figura 4- Representação das 14 estações meteorológicas no mapa de SC, com dados de precipitação (1986-2016) que são utilizadas no trabalho. Do lado esquerdo inferior se destaca a localização de SC dentro do Brasil.



Fonte: Autoria Própria

Como citado por Prieto (2016), a definição de um evento de chuva extrema pode ser estabelecida levando-se em conta aspectos como intensidade, a quantidade total acumulada nos registros num certo intervalo de tempo e abrangência espacial, bem como quaisquer combinações destas características da chuva. Este estudo se centra nos eventos climáticos que perduram longos períodos (chuvas persistentes). Para a seleção dos casos finais foram usadas três características: duração, acumulado no período e abrangência espacial. Um evento de chuva persistente, extrema e abrangente é aquele que aconteceu em um longo período, com um elevado acúmulo da precipitação e com abrangência espacial.

2.3.1 Seleção dos Casos de Chuva Extrema

Seguindo a metodologia antes testada por Prieto (2016), para a seleção dos casos de chuva extrema, foram usadas três características da chuva: (i) duração, (ii) acumulado no período e (iii) abrangência espacial.

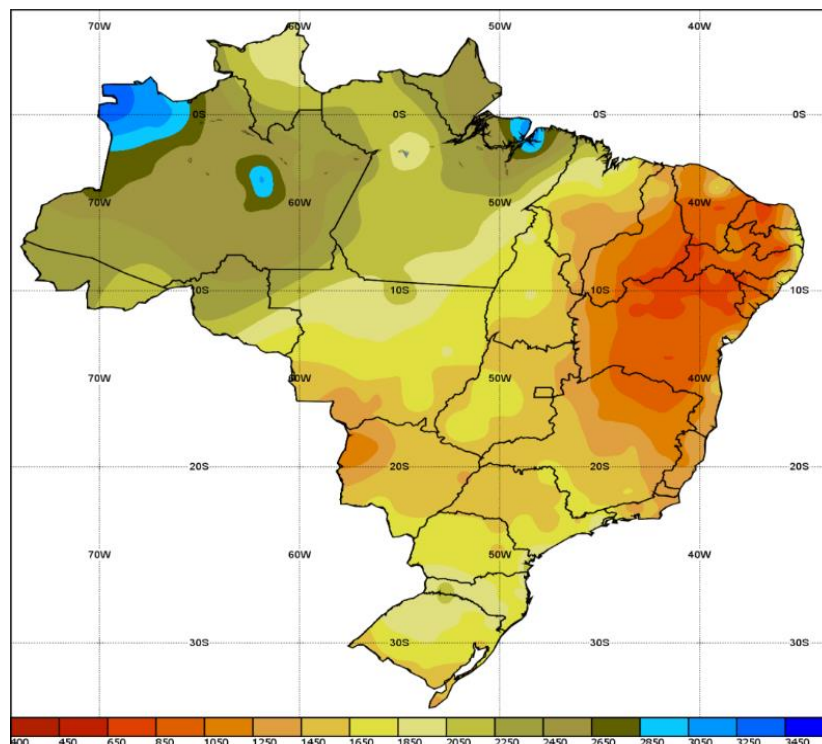
Para obter a **primeira característica da chuva**, em cada uma das estações meteorológicas, foram contabilizados os dias com chuva superior a 1 mm, sendo organizados e agrupados estes dados em dias consecutivos de chuva. Uma contagem dessa sequência de dias é obtida, gerando assim um conjunto de períodos de chuva contínua, que foram chamados casos

de chuva persistente. Obtêm-se assim uma base de dados com os períodos ou casos de chuva e seus acumulados durante os 31 anos de estudo. Foram selecionados os períodos com número de dias superior ao quantil 0.9 dos casos persistentes, fazendo testes iniciais com outros quantis, cumprindo assim com a primeira característica da chuva.

Na sequência de filtrar os casos para a *segunda característica da chuva*, se analisa a Normal Climatológica da precipitação mensal e anual acumulada para todo o Brasil (1981-2010), disponível no site oficial do INMET e o recorte mensal para o estado de SC, disponível no site oficial da EPAGRI-CIRAM.

A modo de exemplo, a Figura 5 mostra a normal da precipitação acumulada anual do Brasil 1981-2010, similar a como se mostra cada mês por separado no site do INMET antes mencionado, o qual foi comparado com o recorte mensal da EPAGRI-CIRAM, obtendo os valores climatológicos mensais em cada uma das estações meteorológicas do estudo. Se define assim um valor médio da chuva sazonal, ficando como verão (janeiro, fevereiro e março), outono (abril, maio, junho), inverno (julho, agosto e setembro) e primavera (outubro, novembro e dezembro). Foram agrupados dentro dessas estações do ano, os casos de persistência extrema inicialmente obtidos. A partir de alguns testes de filtro na série de dados e pela frequência analisada nos mesmos, foram selecionados os casos cujo acumulado supera o 50% da média sazonal em sua estação meteorológica, sendo chamados de Casos de Chuva Extrema Persistente.

Figura 5- Normal Climatológica da precipitação acumulada anual do Brasil (1981-2010).



Fonte: INMET

Fazendo essa segunda filtragem, são agrupados os casos das diferentes estações meteorológicas pela similitude nas datas em que os mesmos aconteceram, ao juntar os mesmos, obtém-se casos de maior persistência em dias e com um maior acumulado de chuva, conseguindo contabilizar por quais estações de SC esses casos se mantiveram e foram se deslocando.

Chegando na **terceira característica da chuva**, foi analisada a extensão do fenômeno e sua proximidade geográfica das cidades atingidas. Dessa forma, os casos devem abranger ao mesmo tempo no mínimo 30% das estações em análise, neste estudo, mais de 4 estações meteorológicas. Em outras palavras, será definida como abrangência dos casos a simultaneidade de ter chuva durante a mesma data, com as características de persistência e intensidade antes mencionadas, em 4 ou mais estações meteorológicas, descartando os casos que não superem este filtro. Foi obtido assim, durante os 31 anos de estudo, os **Casos de Chuva Persistente, Extrema e Abrangente (CCPEA)**, com maior abrangência, intensidade e duração na região que aconteceram.

Os CCPEA tratados neste estudo não estão sendo selecionados com base no impacto e sim pelas características do evento em si: duração, intensidade e abrangência espacial, uma vez

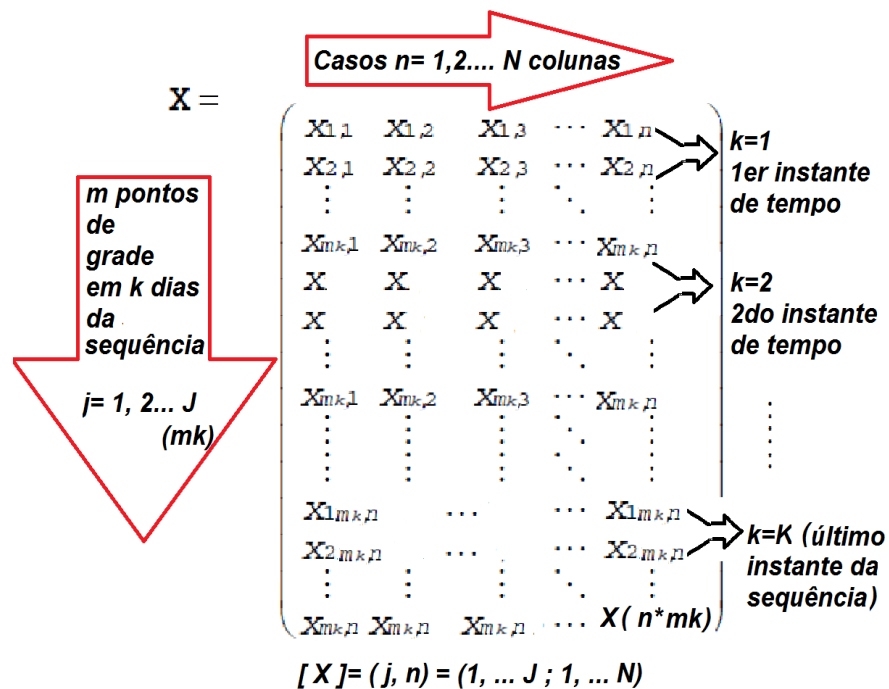
que o impacto em si é mais difícil de ser quantificado e de se fazer comparações entre uma ocorrência e outra.

Foi analisada a frequência dos casos nas estações do ano, assim como, o tipo de sistema meteorológico predominante nos casos mais extremos, segundo sua persistência e acumulado de chuva no período, a partir das imagens diárias de satélite, obtidas do site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais INPE.

Foram usados os dados da Reanálise II do National Centers for Environmental Prediction (NCEP), daqui em diante referido como RII-NCEP. Esses dados são globais e contém informações de temperatura, umidade, vento, ômega, altura geopotencial e pressão em diferentes níveis atmosféricos, com espaçamento de grade de 2,5° de latitude por 2,5° de longitude e espaçamento temporal de 6 horas.

A identificação de padrões sinóticos é usada com o objetivo de obter uma representação da circulação atmosférica associada aos CCPEA, de maneira similar aos trabalhos de Richman (1986), Compagnucci et al. (2001), Teixeira (2010), Moura et al. (2013), Escobar (2007; 2014), Prieto (2016) e Gonçalves (2015). Para determinar estes padrões, é feita uma seleção dos dados da variável PNMM das 12 UTC para os dias em sequência selecionados, esta é uma das variáveis mais representativas neste tipo de estudo. Estes dados são organizados dentro de uma matriz como mostra a Figura 6, da qual são calculados as Componentes Principais e os Compostos ou mapas Médios dos Campos da Pressão ao Nível Médio do Mar (PNMM).

Figura 6- Matriz de Dados Organizados.



Fonte: Adaptado de COMPAGNUCCI et al., 2001

A técnica estatística multivariada ACP é analisada e comparada aos compostos ou mapas médios para esta variável, a fim de mostrar uma melhor reprodução e classificação sintetizada dos padrões atmosféricos de circulação, com as frequências e períodos neles dominantes. A evolução temporal dos padrões de circulação determina com facilidade os períodos dos eventos que perduram por vários dias, além disso, analisa a trajetória e comportamento dos sistemas sinóticos que causaram e mantiveram os CCPEA.

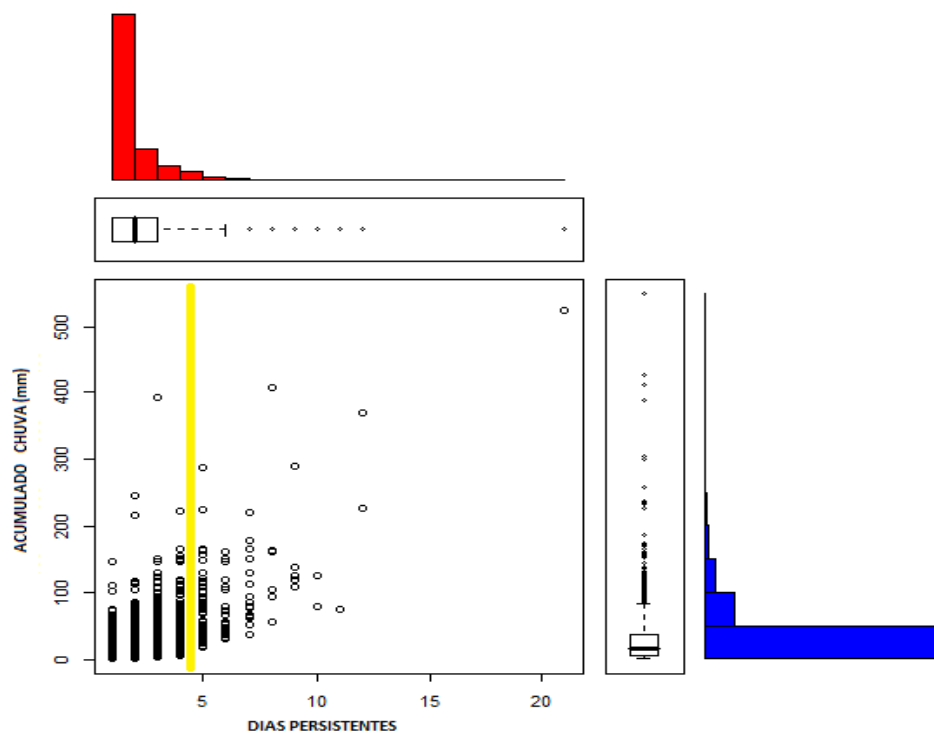
2.4 RESULTADOS

Mostram-se neste capítulo os resultados preliminares, com os quais se dá continuidade ao trabalho de Tese. Estes resultados são levados em conta em futuras etapas nos capítulos a seguir.

2.4.1 Identificação dos casos e sua estatística climatológica

Faz-se a identificação e seleção dos CCPEA de 1986 até 2016 em SC segundo as três características da chuva já antes explicada na metodologia. A maioria dos casos, aproximadamente 500, se concentraram dentro de um período de 1 até 3 dias em cada estação analisada por separado, desta forma, o percentil 0.90 filtrou muito bem a primeira característica da chuva, ficando os casos com mais de cinco dias de persistência de chuva como mínimo. Na Figura 7, a modo de exemplo, se mostra o procedimento feito para a estação meteorológica de Florianópolis e ele foi feito em cada uma das 14 estações deste estudo.

Figura 7- Seleção dos casos na estação meteorológica de Florianópolis, a partir da primeira característica da chuva, Persistência. Casos filtrados ficam à direita da linha amarela, superiores ao percentil 0.90.



Fonte: Autoria Própria

Ao filtrar a segunda característica da chuva e considerando os dados numéricos da normal climatológica 1981-2010 nas estações meteorológicas de SC, os casos se agruparam por estação do ano, selecionando os que tiveram um acumulado de chuva superior a 50% da média climática sazonal, cumprindo com a condição de chuva extrema, Tabela 3. Importante destacar que o oeste catarinense possui o maior déficit de chuvas historicamente, mas analisando a Figura 5 antes mostrada, pode-se observar como no centro oeste, climatologicamente existe um acumulado de até 2250 mm ao ano, sendo este o maior do estado.

Tabela 3- Seleção dos casos nas estações meteorológicas, a partir da segunda característica da chuva, Extremos.

ESTAÇÃO MET	MED VERÃO	CASOS > 50%	MED OUTONO	CASOS > 50%	MED INVERNO	CASOS > 50%	MED PRIMAVERA	CASOS > 50%
CAÇADOR	173,80	15	159,63	7	176,87	6	187,57	11
CAMPOS NOVOS	173,80	24	159,63	18	176,87	18	187,57	9
CHAPECÓ	173,20	14	168,43	12	175,83	13	190,73	12
FLORIANÓPOLIS	210,63	22	110,57	11	111,00	10	157,33	14
INDAIAL	183,03	25	107,07	10	125,77	20	163,13	12
ITAJAÍ	183,03	24	107,07	9	125,77	19	163,13	17
ITUPORANGA	183,03	17	107,07	13	125,77	17	163,13	18
LAGES	147,00	16	116,40	10	152,10	11	153,70	10
MAJOR VIEIRA	173,80	18	159,63	18	176,87	14	187,57	15
PONTE SERRADA	173,20	25	168,43	19	175,83	13	190,73	15
SÃO JOAQUIM	164,80	20	125,97	15	176,37	15	162,03	18
SÃO MIGUEL DO OESTE	173,20	11	168,43	16	175,83	9	190,73	14
URUSSANGA	186,67	32	111,03	14	117,67	18	145,90	24
VIDEIRA	173,80	18	159,63	14	176,87	12	187,57	14

Fonte: Autoria Própria

Foram agrupados assim, os casos com períodos de chuva em datas similares, eles passam a ser casos que representam uma estação meteorológica específica, para casos com uma maior persistência de dias, com grande acumulado de chuva e coincidindo no tempo ao se manter e/ou deslocar por várias cidades de SC.

Chegando à última e não menos importante característica da chuva, foi aplicada a metodologia a mais de 300 casos bem distribuídos no estado todo. Nessa última filtragem foram escolhidos os casos com chuva abrangente em mais de 30% das estações em análise, neste estudo mais de 4 estações meteorológicas, Figura 8. Ficam finalmente assim, 74 Casos de Chuva Persistente, Extrema e Abrangente bem distribuídos pelo estado todo (74 CCPEA).

Figura 8- Seleção dos casos finais a partir da terceira característica da chuva, Abrangência.

The image shows a Microsoft Excel spreadsheet with a ribbon at the top containing tabs like 'Arquivo', 'Página Inicial', 'Inserir', 'Layout da Página', 'Fórmulas', 'Dados', 'Revisão', 'Exibir', 'Power Pivot', and 'Entrar'. The main area contains a data table with columns labeled A through Z. The table has multiple rows of data, including numerical values and dates. At the bottom of the spreadsheet, there is a filter bar with several buttons: 'FILTRO VERAO', 'FILTRO OUTONO', 'FILTRO PRIMAVERA', 'FILTRO INVERNO', 'CASOS ABRANGENTES', 'CCPE SC', 'TABELA CASOS FINAIS', 'grafico de barras', and 'tabela sazoni ...'. The 'FILTRO VERAO' button is highlighted with a red box.

Fonte: Autoria Própria

Os CCPEA obtidos foram resumidos em ordem cronológica na Tabela 4 e representados sazonalmente pela Figura 9, resultando num número de 26 casos durante o verão, 15 casos para o outono, 17 casos no inverno e 16 casos na primavera. A diferença dos resultados obtidos por Teixeira e Prieto (2019) para RS, resulta que, durante a estação de verão, acontece o maior número de CCPEA, resultado que coincide com Nunes e Da Silva (2013). Segundo a média estatística dos dias e da chuva acumulada no período nas cidades, os casos mais persistentes e intensos correspondem primeiramente ao outono e logo ao verão, Figura 9 e Tabela 4, resultados que coincidem com o estudo realizado por Cardoso (2017). Relacionam-se os casos de maior persistência em dias no verão e os de maior acumulado médio no outono. A abrangência média dos casos foi de 7 cidades para o verão, outono e primavera, sendo que, o valor máximo da abrangência média foi de 8 cidades atingidas no inverno.

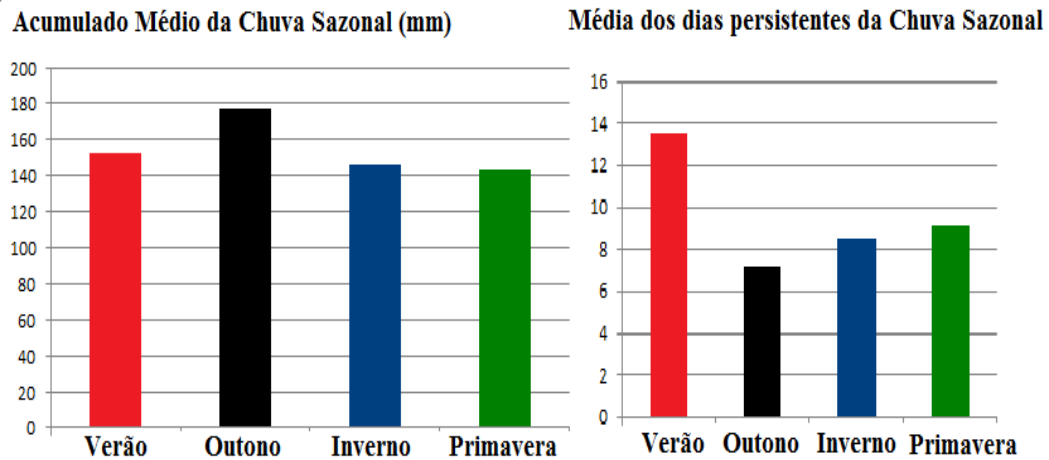
Tabela 4- CCPEA em ordem cronológica com sua persistência (dias), acumulado médio da chuva (mm) e abrangência (estações meteorológicas).

<i>CCPEA</i>	<i>Datas</i>	<i>Persistência Dias</i>	<i>Acumulado Médio (mm)</i>	<i>Abrangência Estações Met.</i>
1	07-19/01/1987	12	154	6
2	12-21/10/1987	9	138,11	8
3	21/01-04/02/1989	14	159,53	11
4	14/02-03/03/1989	17	129,62	5
5	29/04-08/05/1989	9	143,48	5
6	07-16/09/1989	9	143,83	6
7	26/12/1889-04/01/1990	9	100,1	4
8	01-24/01/1990	23	157,08	9
9	28/05-07/06/1990	10	336,65	11
10	16-23/07/1990	7	123,84	8
11	18-24/06/1991	6	146,56	5
12	06-16/08/1991	10	134,85	6
13	25/10-06/11/1991	12	111,8	5
14	21-28/12/1991	7	116,56	8
15	22/01-03/02/1992	12	116,5	5
16	26/05-02/06/1992	7	211,97	12
17	27/06-03/07/1992	6	181	11
18	26/01-06/02/1993	11	117,13	4
19	19/09-06/10/1993	17	152,59	14
20	05-16/02/1994	11	118,47	6
21	17-28/02/1994	11	137,9	6
22	10-17/05/1994	7	160,85	4
23	02-09/07/1994	7	112,18	6
24	18-27/10/1994	9	166,17	7
25	05-11/11/1994	6	149,18	4
26	27/12/1994-04/01/1995	8	151	6
27	06-24/01/1995	18	169,35	10
28	22/09-03/10/1995	11	196,51	7
29	13/01-02/02/1996	20	206,6	7
30	16-22/06/1996	6	108,2	6
31	23-30/09/1996	7	105,49	10
32	17/01-06/02/1997	20	202,02	13
33	17-23/07/1997	6	111,24	7
34	06-17/10/1997	11	175,45	12
35	29/10-08/11/1997	10	168,05	4
36	27/01-09/02/1998	13	195,15	10
37	13-18/05/1998	5	124,98	5
38	16-26/01/1999	10	176,75	4
39	11-20/01/2000	9	119,08	4

CCPEA	<i>Datas</i>	<i>Persistência Dias</i>	<i>Acumulado Médio (mm)</i>	<i>Abrangência Estações Met.</i>
40	10-21/09/2000	11	208,36	11
41	12-19/10/2000	7	126,28	8
42	27/01-07/02/2001	11	118,42	5
43	26/09-05/10/2001	9	171,83	7
44	07-17/06/2002	10	180,43	4
45	03-11/06/2003	8	98,14	7
46	30/03-07/04/2005	8	182,33	4
47	12-19/06/2005	7	206,48	8
48	28/10-04/11/2007	7	127,02	5
49	23/01-05/02/2008	13	210,72	5
50	14-23/10/2008	9	121,67	7
51	23-28/10/2008	5	128,16	5
52	10/11-01/12/2008	21	248,06	8
53	06-13/07/2009	7	107,51	7
54	07-15/09/2009	8	167,27	9
55	05-15/01/2010	10	143,58	4
56	21-31/03/2010	10	139,01	8
57	21-28/04/2010	7	224,12	11
58	20-25/09/2010	5	99,68	4
59	15-31/01/2011	16	149,01	5
60	05/02-01/03/2011	24	140,5	10
61	25/03-03/04/2011	9	154,05	8
62	29/06-05/07/2011	6	105,4	5
63	19-24/07/2013	5	116,77	7
64	16-25/09/2013	9	167,91	8
65	08-18/01/2014	10	159,9	4
66	08-23/03/2014	15	124,9	4
67	05-11/06/2014	6	150,5	7
68	23/06-01/07/2014	8	283,12	10
69	24/09-02/10/2014	8	189,44	8
70	09-23/01/2015	14	121,98	5
71	07-18/07/2015	11	193,83	7
72	06-16/10/2015	10	146,55	8
73	16-22/10/2016	6	115,9	5
74	30/01-09/02/2016	10	153,28	4

Fonte: Autoria Própria

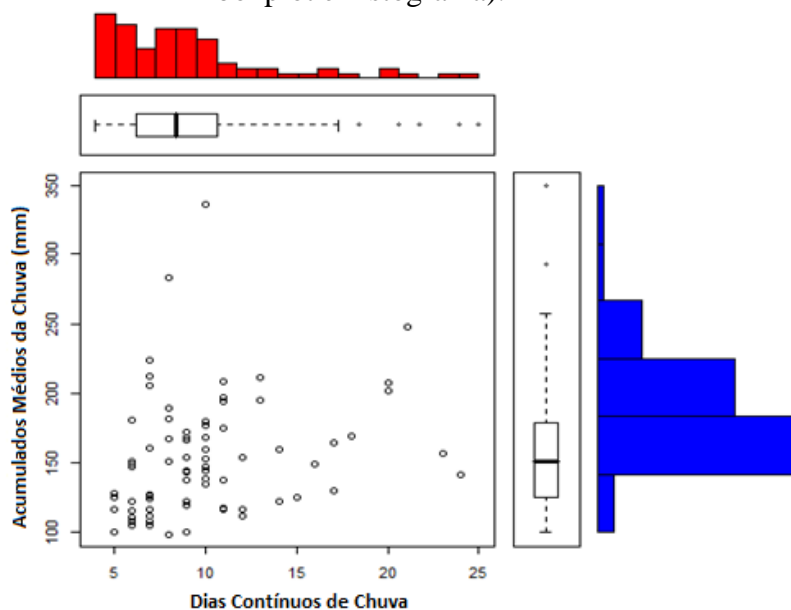
Figura 9- Histograma dos CCPEA por estação do ano.



Fonte: Autoria Própria

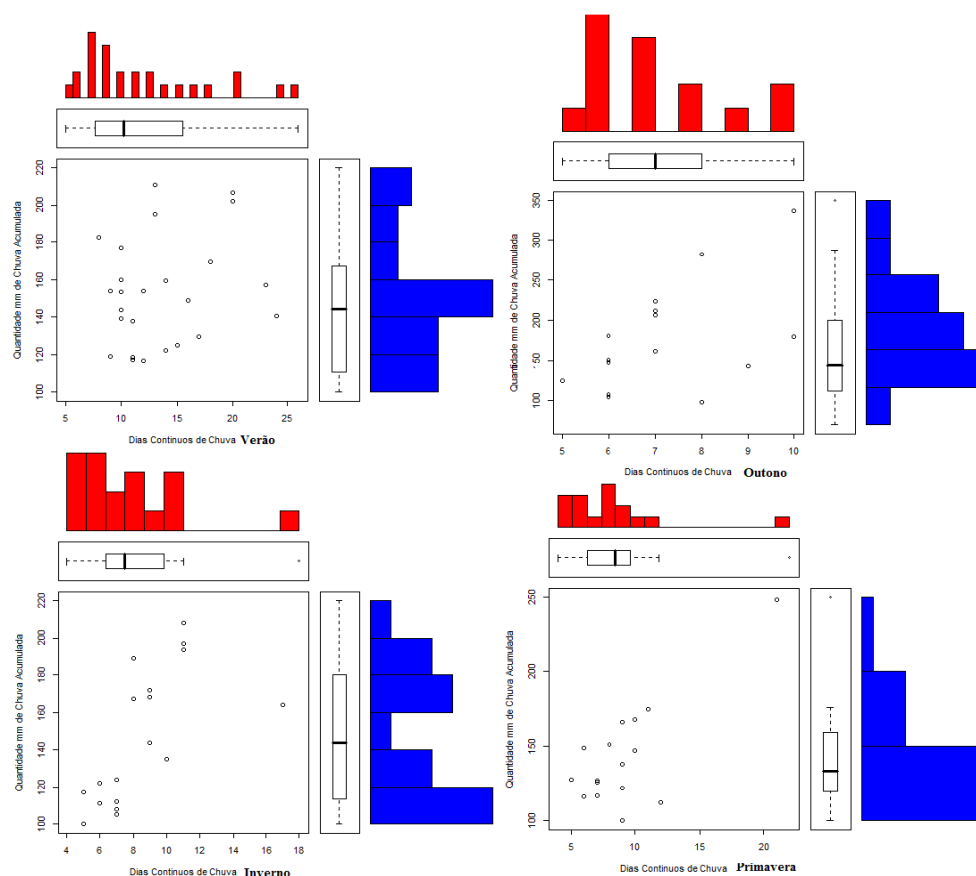
Faz-se uma representação dos CCPEA na Figura 10, onde se pode observar que a maioria dos casos aconteceram com períodos persistentes de chuva entre 5 e 11 dias e com acumulado médio de até 230mm. Nessa mesma Figura 10 se observa que existe um caso com até 25 dias com chuva na região de estudo e outro caso com acumulado médio de até 350 mm de chuva. Esses casos são os mais extremos individualmente para um estudo mais aprofundado posteriormente. Na Figura 11 se mostram os casos com maior detalhamento por estação do ano, confirmando o antes dito sobre a preferência dos casos pelo verão e o outono.

Figura 10- Representação dos CCPEA. Ordenada refere-se à chuva acumulada média mm nos casos (com boxplot e histograma); abscissa refere-se à duração dos casos em dias (com boxplot e histograma).



Fonte: Autoria Própria

Figura 11- Representação dos CCPEA por estação do ano. Ordenada refere-se à chuva acumulada média mm nos casos (com boxplot e histograma); abscissa refere-se à duração dos casos em dias (com boxplot e histograma).

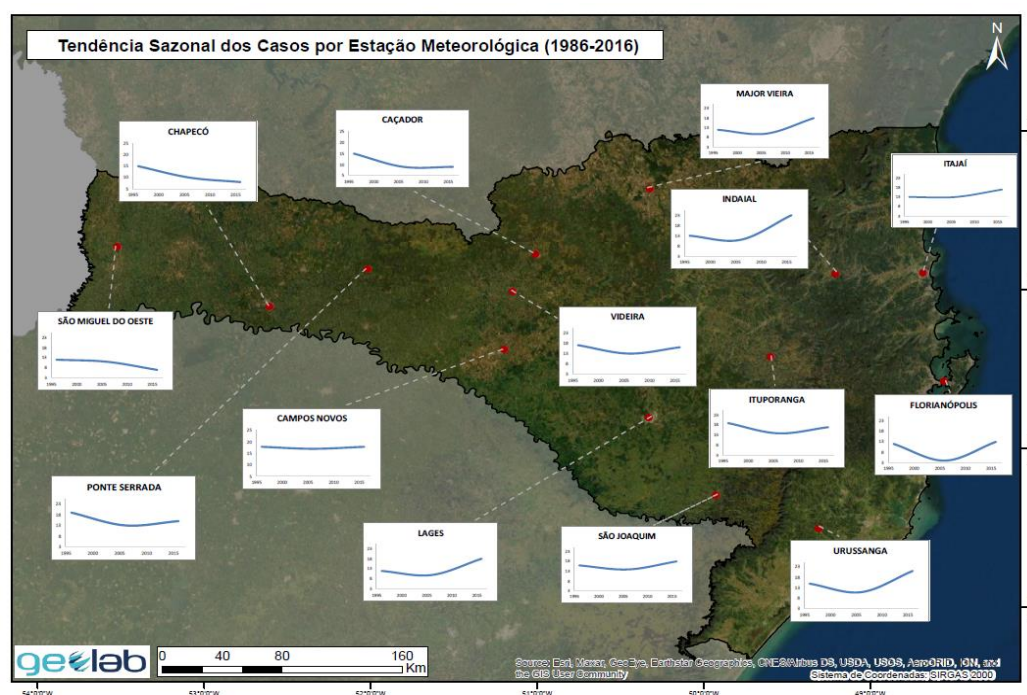


Fonte: Autoria Própria

Como mostra a Figura 12, o comportamento dos casos por décadas nas estações meteorológicas tem sido em crescente na maioria das estações. Há destaque de uma tendência crescente para cidades como Indaial, Florianópolis e Urussanga, além de outras onde tem-se mantido constante a sua diminuição, como São Miguel do Oeste, Chapecó e Campos Novos. Já na Figura 13 se mostra a distribuição dos CCPEA em cada uma das estações Meteorológicas, sendo que, de esquerda à direita as barras mostram as estações de verão, outono, inverno e primavera. Como antes dito, a estação do verão fica com o maior número de casos. As estações de São Miguel do Oeste, Major Vieira e Florianópolis, se mantiveram homogêneas quanto a sua distribuição sazonal, sem embargo nas estações mais no centro do estado como Caçador, Ponte Serrada, Videira, Lages e Ituporanga se observa como ficam maiores os valores no verão e no inverno com respeito às demais estações do ano.

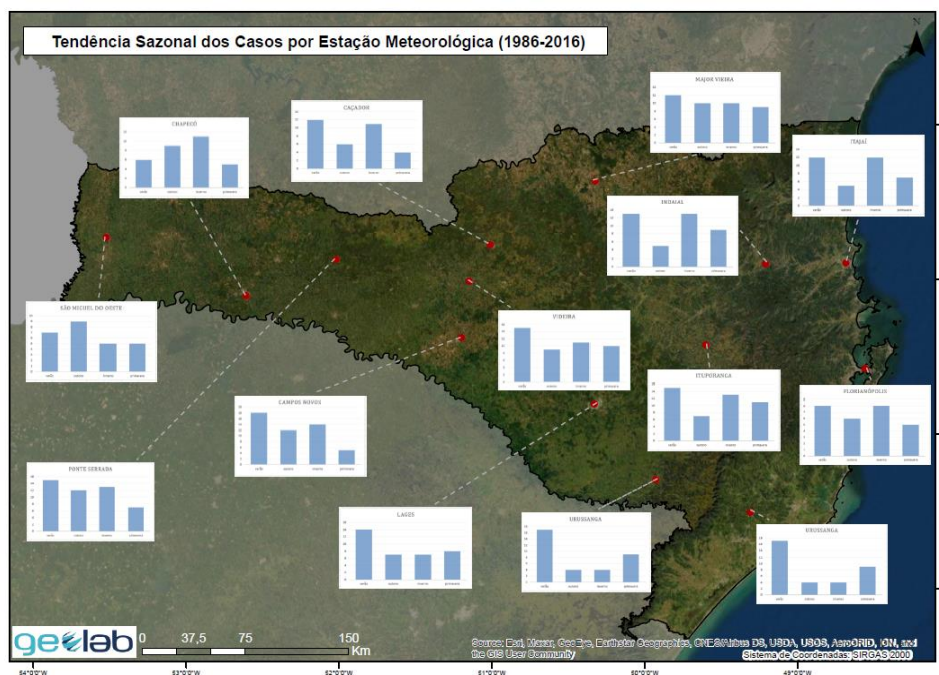
Na época do verão acontecem os maiores períodos de chuvas que persistem como visto na Figura 11, isso pode estar associado a SCM, desenvolvidos por mecanismos/ sistemas de maior escala. Esses SCM se relacionam ao aquecimento diurno e ao fluxo de umidade que transporta o JBN e que entra na região de SC, exatamente através dos municípios do centro que apresentaram contrastes na distribuição sazonal dos CCPEA. Já no inverno ficam semi-estacionárias as frentes frias, trazendo os maiores casos para municípios do litoral, onde se observou uma tendência positiva dos CCPEA. Nas estações de Itajaí e Urussanga se observam os maiores contrastes sazonais da chuva, Figura 13, isto pode ser devido à mudança de relevo e o contraste entre fenômenos meteorológicos de latitudes tropicais e extratropicais, como antes referenciado por Reboita et al. (2010).

Figura 12- Tendência 1986-2016 dos CCPEA.



Fonte: Autoria Própria

Figura 13- Tendência Sazonal dos CCPEA.



Fonte: Autoria Própria

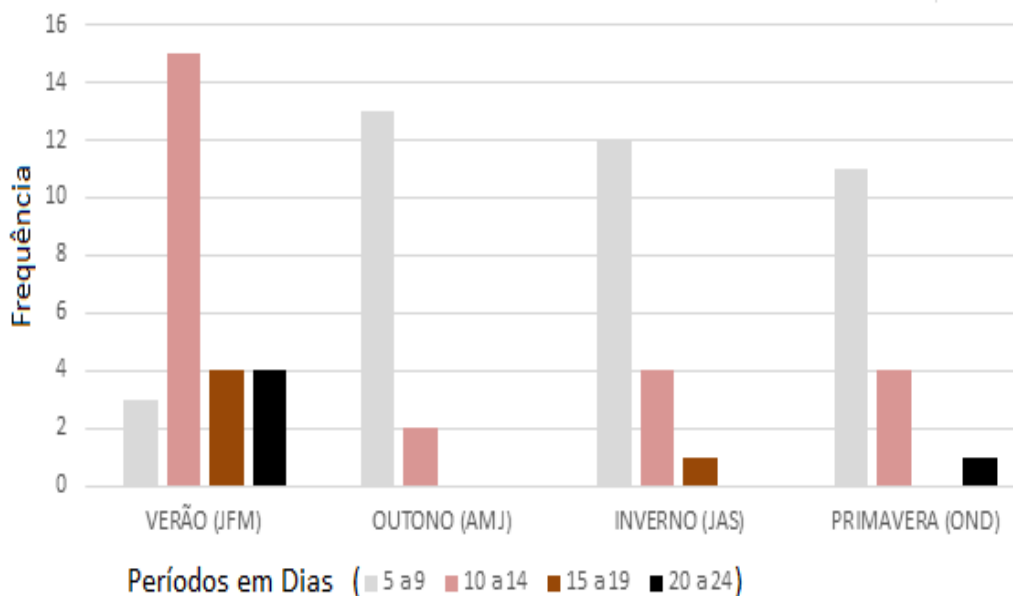
Uma separação em períodos de dias dos CCPEA é representada, Tabela 5 e Figura 14. Com esta separação obtém-se uma melhor análise sazonal, assim como, se facilita um estudo mais detalhado, na hora de obter novos mapas com padrões em sequência da pressão ao nível médio do mar. Esses mapas nos indicam as condições que provocaram os casos agora agrupados em períodos de dias. Da Tabela 5 e figura 14 pode-se perceber que, eventos de 5 a 9 e 10 a 14 dias de duração (até 2 semanas), foram mais comuns durante o período do estudo. Assim, após duas semanas, são observados alguns eventos mais prolongados, obtendo casos de até 3 semanas. Como analisado por Teixeira e Prieto (2019), é lógico esperar esse resultado, com base nas características estatísticas da chuva. É mais comum ter eventos com durações mais curtas, sendo que, eventos mais raros são aqueles que duram muitos mais dias.

Tabela 5- Distribuição sazonal dos casos de chuva persistente, extrema e abrangente segundo sua duração em dias.

Duração (dias)	JFM	AMJ	JAS	OND	TOTAL
5 a 9	3	13	12	11	39
10 a 14	15	2	4	4	25
15 a 19	4	0	1	0	5
20 a 24	4	0	0	1	5
TOTAL	26	15	17	16	74

Fonte: Autoria Própria

Figura 14- Frequência Sazonal dos períodos dos CCPEA.



Fonte: Autoria Própria

A partir da análise das figuras 10, 11, 12, 13 e 14, alguns dos CCPEA obtidos destacam-se pontualmente nas cidades onde aconteceram e coincidem com os grandes casos históricos de chuva intensa/extrema em SC, conhecidos pelas grandes enchentes que provocaram. Os casos de novembro de 1991, fevereiro de 1994, fevereiro de 2001, janeiro de 2008, novembro de 2008, janeiro de 2011, alcançaram acumulados próximo a 400 mm durante seus primeiros 5 dias de chuva persistente no litoral norte de SC, coincidindo com as referências dos estudos de Herrmann, Mendonça e Campos (1993) e Silveira et al. (2016). Bom destacar que os CCPEA não incluem todos os casos de chuva extrema em SC, por exemplo, um caso que não cumpre a metodologia aqui tratada foi o famoso caso de dezembro de 1995 e o de setembro de 2011 em Itajaí, pelo que não aparecem.

Dentro dos CCPEA destacam-se os seguintes casos, pelos maiores acumulados de chuva que somaram à climatologia de algumas cidades:

- Itajaí, durante janeiro de 1995, com até 275 mm de chuva, o qual foi abrangente em 10 cidades de SC;
- Urussanga, desde metade de janeiro até início de fevereiro 1996, com até 352 mm de chuva, o qual foi abrangente em 7 cidades de SC;
- Florianópolis, Ponte Serrada e Lages; desde metade de janeiro até início de fevereiro de 1997, com até 370 mm de chuva, o qual foi abrangente em 13 cidades de SC;

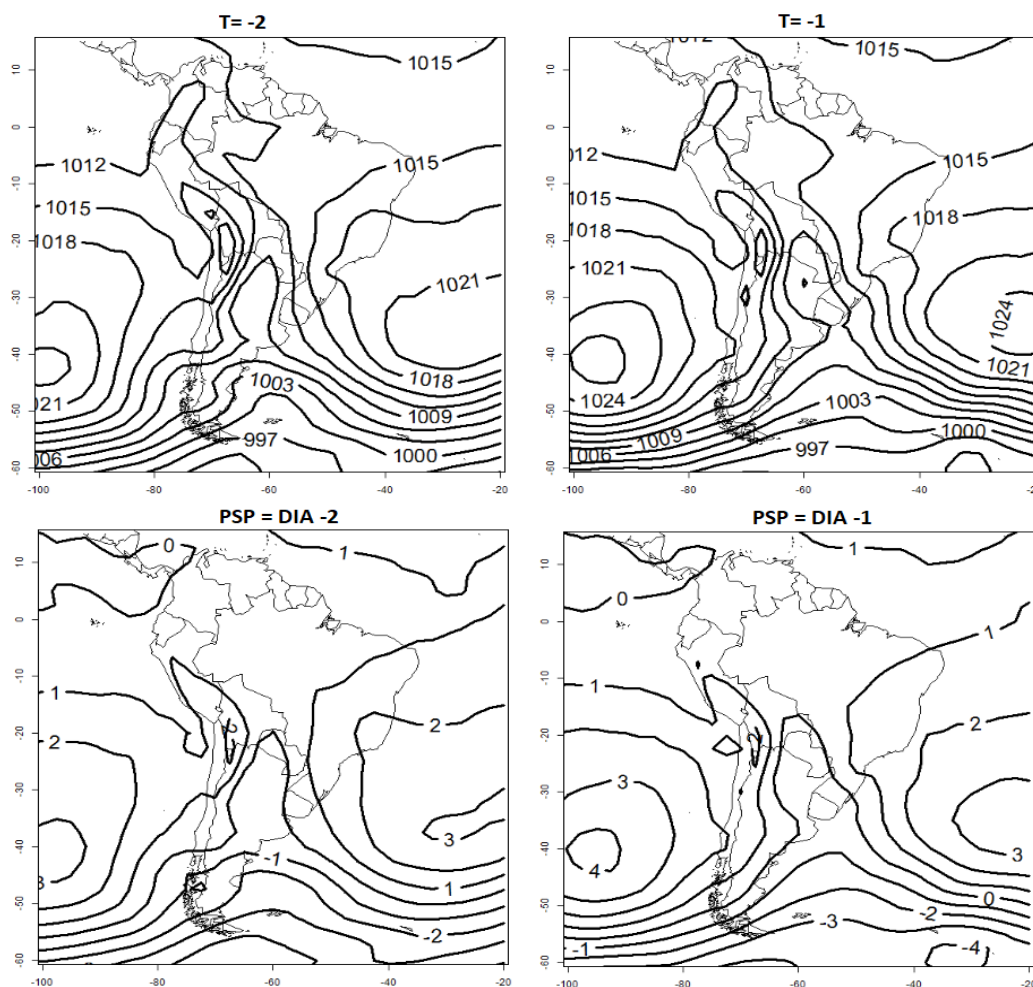
- d) Itajaí; durante janeiro de 1999, com até 371 mm de chuva, o qual foi abrangente em 4 cidades de SC;
- e) Ponte Serrada e Campos Novos; desde finais de janeiro até inícios de fevereiro de 1998, com até 340 mm de chuva, o qual foi abrangente em 10 cidades de SC;
- f) Florianópolis; desde finais de janeiro até inícios de fevereiro de 2008, com até 407 mm de chuva, o qual foi abrangente em 5 cidades de SC;
- g) Urussanga; durante a segunda metade de janeiro 2011, com até 273 mm de chuva, o qual foi abrangente em 5 cidades de SC;
- h) Indaial; durante fevereiro e início de março 2011, com até 407 mm de chuva, o qual foi abrangente em 10 cidades de SC;
- i) Caçador, São Miguel do Oeste, Chapecó, Ponte Serrada, Ituporanga, Campos Novos; desde finais de maio até inícios de junho de 1990, com até de 550 mm de chuva, o qual foi abrangente em 11 cidades de SC;
- j) Urussanga; durante maio de 1994, com até 295 mm de chuva, o qual foi abrangente em 4 cidades de SC;
- k) São Miguel do Oeste; durante junho de 2005, com até 375 mm de chuva, o qual foi abrangente em 8 cidades de SC;
- l) Videira e Ponte Serrada; durante abril de 2005, com até 332 mm de chuva, o qual foi abrangente em 11 cidades de SC;
- m) São Joaquim, São Miguel do Oeste, Chapecó, Ponte Serrada, Major Vieira; Videira durante finais de junho e início de julho de 2014, com até 450 mm de chuva, o qual foi abrangente em 10 cidades de SC;
- n) São Miguel do Oeste, Chapecó; durante julho de 2015, com até de 315,8 mm chuva, o qual foi abrangente em 7 cidades de SC;
- o) São Miguel de Oeste; durante finais de setembro até inícios de outubro 1995, com até 272 mm de chuva, o qual foi abrangente em 7 cidades de SC;
- p) Chapecó e Videira; durante setembro 2000, com até 285 mm de chuva, o qual foi abrangente em 11 cidades de SC;
- q) Ponte Serrada; durante setembro até inícios de outubro 2014, com até 275 mm de chuva, o qual foi abrangente em 8 cidades de SC;
- r) Florianópolis, Itajaí e Indaial; durante novembro até inícios de dezembro 2008, com até 528 mm de chuva, o qual foi abrangente em 8 cidades de SC;
- s) Videira; durante finais de dezembro 1994 até inícios de janeiro de 1995, com até 268,6 mm de chuva, o qual foi abrangente em 6 cidades de SC.

2.4.2 Análise dos Campos Médios da PNMM

Primeiramente foi previsto na metodologia a aplicação do estudo por Componentes Principais, procedimento que cientificamente é empregado em larga escala na academia como mostrado nos trabalhos de Escobar (2007 e 2014). Uma vez gerados os mapas para os dias prévios ao início da chuva, nos casos de estudo, se analisam que as Componentes Principais não agregam resultados efetivos e distintos em relação aos resultados obtidos pelos mapas compostos ou como conhecidos mapas médios da Pressão ao Nível Médio do Mar, Figura 15. Nesse contexto, toma-se como referência – pelo seu melhor enquadramento ao objeto de estudo da pesquisa – os mapas médios da Pressão ao Nível Médio do Mar.

Como visto na Figura 15 desde 2 dias antes de começar a chuva ($T = -2$ e $T = -1$) se observa uma situação em que o ASAS, bem intenso, mantém sua influência sobre praticamente todo o Brasil. Desde o centro do continente sul-americano, entre Bolívia e Paraguai, observa-se um cavado que se alonga até a região sudeste da Argentina no Atlântico, onde parece existir um centro de baixas pressões ou ciclone extratropical. Este cavado parece estar favorecido com o JBN, típico conector do fluxo de umidade entre a Amazônia e o Oceano Atlântico através do centro-sudeste-sul do Brasil. Pelo lado do Oceano Pacífico observa-se a influência também forte com 1024 hPa do Anticiclone do Pacífico Sul (ASPS), o qual influencia o deslocamento do cavado antes mencionado mais para o leste, onde se encontra a Região Sul do Brasil. Nestes dias prévios ao início das chuvas persistentes, o escoamento do vento sobre SC e todo o sul brasileiro parece ser de direção norte influenciado pela grande incidência do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). Lembrar que este tipo de condições prévias está relacionado com a entrada de sistemas frontais estacionários, declarado como padrão às chuvas persistentes segundo Teixeira e Prieto (2019) no seu trabalho específico para o Rio Grande do Sul.

Figura 15- Mapas médios da pressão ao nível médio do mar. (T=-2) horário das 00 UTC dois dias antes de começar a chuva. (T=-1) horário das 00 UTC um dia antes de começar a chuva. (ACP = DIA -2) Padrão de sequência principal dois dias antes de começar a chuva. (ACP = DIA -1) Padrão de sequência principal um dia antes de começar a chuva.



Fonte: Autoria Própria

Uma vez analisadas as condições prévias ao início da chuva nos casos, se dá continuidade à análise dos compostos da PNMM agora a partir da 00 hora UTC do dia que começa a chuva. Na Figura 16 pode-se analisar que no dia que inicia a chuva nos casos sobre SC, T=0, as condições sinóticas mostram favoráveis do ponto de vista da PNMM. Ambos os anticiclones nos oceanos Pacífico e Atlântico (ASAS e ASPS), mostram-se afastados do continente, permitindo que o cavado de dias anteriores, antes de começar a chuva, agora chegue mais perto do Sul do Brasil acoplado a uma ampla região da baixa pressão no centro de América do Sul. Estes sistemas ganham força nos próximos dias como percebe-se na sequência. Essa configuração é típica da primavera favorecida pelo JBN, a qual traz grande parte da umidade

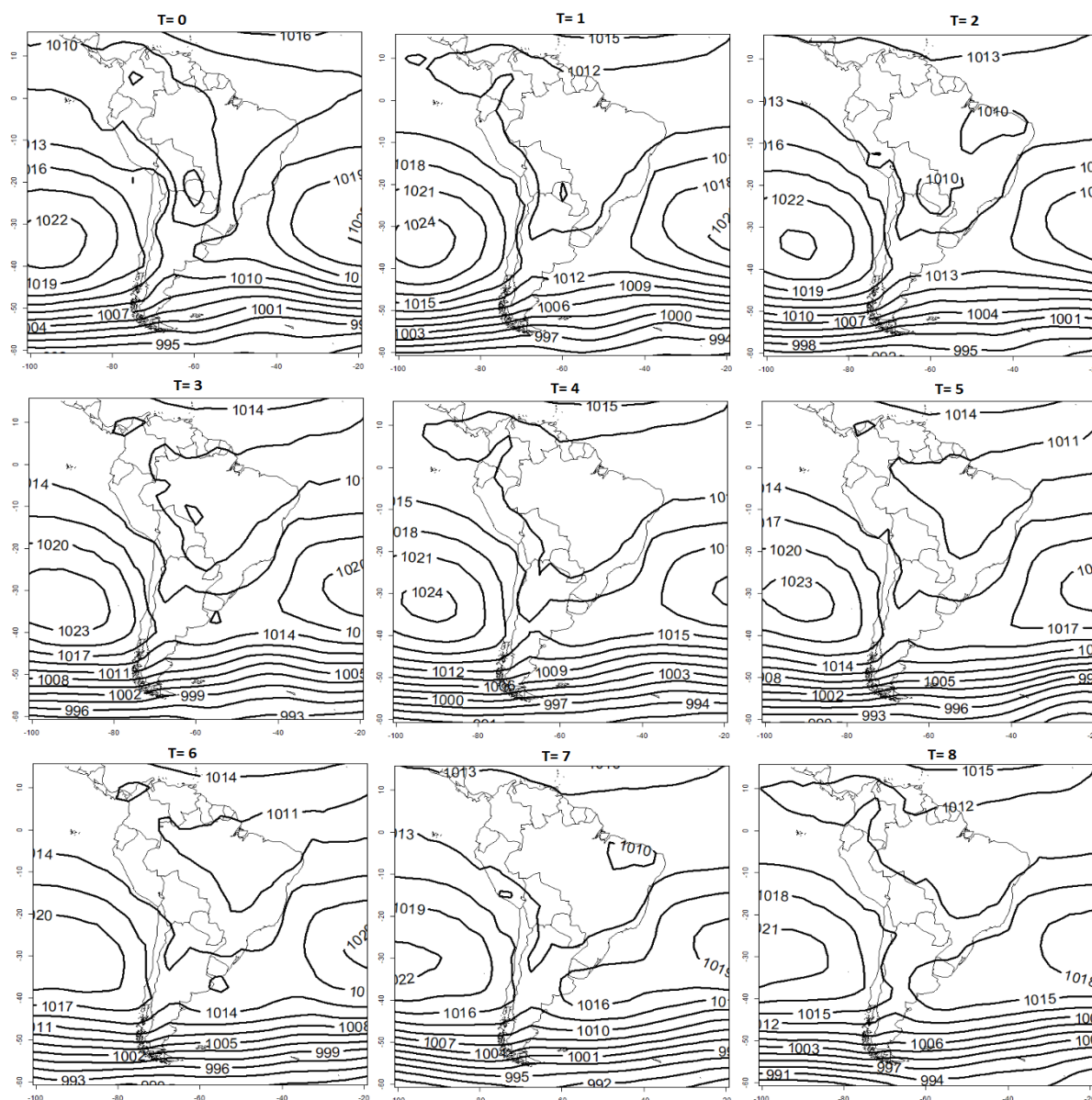
da Amazônia em poucos dias para todo o sul brasileiro, como relatam os trabalhos de Grimm 2009 e Escobar 2019.

A partir do dia $T=1$ até $T=4$, observa-se a intensificação do centro de baixas pressões antes mencionadas, mas agora mais deslocado para a região do Sul brasileiro, inclusive chegando a fechar outro pequeno centro para $T=4$ no sul-sudeste do Uruguai, no oceano Atlântico. Observa-se como os anticiclones semi-permanentes em ambos os oceanos mostram ganhando em intensidade com o passar dos dias até $T=8$. Essa situação parece ser uma clássica situação de bloqueio atmosférico, que como foi referenciado por Grimm et al. (2000) e Climanálise (2001), paralisa todo sistema que está em desenvolvimento sobre uma mesma região, neste caso o cavado associado a uma grande região de baixas pressões acoplado a uma região, aparentemente de Jatos de Baixos Níveis, que pode estar acoplado a uma ZCAS no centro do continente ao sudeste do Brasil, típico padrão favorável às chuvas fortes como explicado por Escobar (2019).

Observa-se como no dia $T=6$, quando parou a chuva em alguns casos, mas continuou em outros, há repetição da configuração de uma ciclogêneses na mesma região do sudeste do Uruguai, ficando estacionário devido à intensidade e presença dos centros anticiclônicos ASAS e ASPS. O escoamento do vento sobre SC se manteve controlado pelo sistema de bloqueio com direção do norte noroeste, bem onde se encontra a ampla região de baixa pressão com grande conteúdo de umidade da Amazônia.

Finalmente para o dia $T=8$, quando continua a chuva persistente, agora para um menor número de casos, finalizando em outros, observa-se como o sistema de ASAS entra no continente sobre o Uruguai e Sul do Brasil, empurrando mais para o centro norte do Brasil toda aquela configuração de baixa pressão, em relação ao possível JBN. Desenvolve-se, neste momento, aparentemente um segundo período de bloqueio, e volta a ficar semi-estacionária toda a situação do tempo antes dita, agora mais para o norte da região de estudo, com grandes volumes de chuva persistente, extrema e abrangente. Para confirmar essa situação aqui explicada somente pela PNMM, em próximas etapas são feitos os demais compostos das mais diversas variáveis meteorológicas.

Figura 16- Mapas médios da pressão ao nível médio do mar. (T= 0) = horário das 00 UTC do primeiro dia com chuva para todos os casos. (T= 1) = horário das 18 UTC do primeiro dia com chuva para todos os casos, (T= 2) horário das 18 UTC para o segundo dia com chuva para todos os casos, (T=3) horário das 18 UTC para o terceiro dia com chuva para todos os casos, (T=4) horário das 18 UTC para o quarto dia com chuva para todos os casos, (T=5) horário das 18 UTC para o quinto dia com chuva para todos os casos, onde para alguns deles foi o final da chuva, (T=6) horário das 18 UTC para o sexto dia com chuva para os casos onde continuou a mesma, (T=7) horário das 18 UTC para o sétimo dia com chuva nos casos onde continuou a mesma, (T=8) horário das 18 UTC para o oitavo dia com chuva nos casos onde continuou a mesma, (T=9) horário das 18 UTC para o nono dia com chuva para os casos onde continuou a mesma.



Fonte: Autoria Própria

3 REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DIGITAL MULTIESCALAR DAS REGIÕES CLIMATICAMENTE SUSCETÍVEIS AOS CASOS DE CHUVA PERSISTENTE EXTREMA EM SC

3.1 INTRODUÇÃO

Com o avanço das geotecnologias, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) apresentam-se como uma eficiente ferramenta, para representar e analisar espacialmente regiões com maiores danos decorrentes dos eventos extremos de chuva, assim como, estudar sua estatística. No Brasil diversos centros relacionados à prevenção de desastres desenvolvem aprimoramentos e aplicam nas suas pesquisas os SIG, tais como: o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais CEMADEN, Serviço Geológico do Brasil CPRM e a Defesa Civil Nacional. Os SIGs apresentam recursos computacionais suficientes e altamente eficientes para integrar “n” variáveis de interesse aos estimadores sociais e biofísicos, gerando mapas de perigo, vulnerabilidade e risco, com os quais, apoia-se o planejamento, monitoramento de desastres, implementação de alertas e inventário de danos nas cidades onde aconteceram os eventos extremos.

Segundo o Manual de Gestão de Riscos e Gestão de Desastres, da Defesa Civil de SC, a aplicação do mapeamento temático implementados em SIG, como instrumentos de identificação e delimitação de áreas de risco, tem sido bastante explorada em vários municípios brasileiros, com a utilização de várias metodologias que têm como base a combinação de dados e informações. Em Santa Catarina (SC), de modo especial os órgãos de governo e da Defesa Civil têm desenvolvido, nos últimos anos, estratégias apoiadas na Lei 12608/2012, com a qual, o estado torna-se referência nacional, no planejamento e alerta ante fenômenos naturais, bem como na rápida tomada de medidas, minimizando assim os impactos negativos, prevendo seu retorno (UNISDR, 2018). O uso das tecnologias virtuais permite aos planejadores, bem como, aos tomadores de decisão executar uma simulação virtual de cenários, sejam eles de vulnerabilidade, suscetibilidade e/ou de risco, passíveis de controle e ações de interferência distintas, que podem reverter mais acertadamente na solução do problema. Portanto, o aporte geotecnológico bi e tridimensional que soma parâmetros virtuais à realidade posta do ambiente, confere maior segurança ao tomador de decisão, uma vez que as análises empíricas e não científicas são excluídas do processo.

3.2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste tópico, de forma similar ao capítulo 2 é feita breve descrição física- geográfica de SC (Mesorregiões). Segundo o site oficial do Estado de SC: Santa Catarina é um território de 95,4 mil km², o menor Estado do Sul do Brasil. O clima muda consideravelmente de cidade em cidade. O Estado é dividido em oito principais regiões: Litoral, Nordeste, Planalto Norte, Vale do Itajaí, Planalto Serrano, Sul, Meio-Oeste e Oeste. Santa Catarina com grandes resultados na economia no Brasil, possui uma posição estratégica no Mercosul. O Estado faz fronteira com o Paraná (ao Norte), Rio Grande do Sul (ao Sul), Oceano Atlântico (Leste) e Argentina (Oeste). SC tem um clima subtropical úmido, onde as quatro estações estão bem definidas com temperaturas que variam de 13 a 25° C e chuvas distribuídas durante todo o ano. O Estado tem 295 municípios e a Capital é Florianópolis. Entre as maiores cidades, destacam-se Joinville, Blumenau, Itajaí, Balneário Camboriú, Chapecó, Criciúma, Lages e Jaraguá do Sul.

3.2.1 Aplicação de Sistemas de Informação Geográfica voltados à gestão das bases de dados que representam situação de desastres

A aplicação de técnicas de geoprocessamento, como conjunto de tecnologias de coleta, tratamento e desenvolvimento de informações espaciais, é muito útil para o planejamento de áreas. Isso é possível porque, uma vez processados os atributos ambientais em SIG através de modelos, é proporcionada a visualização e entendimento de conceitos socioeconômicos altamente relevantes para pesquisa. Estes sistemas são capazes de mostrar eficientemente conceitos de expressão territorial como unidades potenciais de uso da terra, zonas de influência, áreas críticas, entre outros. Esta tecnologia tem a capacidade de prestar serviços para o planejamento geoeconômico, para a proteção ambiental e para as análises geopolíticas (CÂMARA; QUEIROZ, 2001).

A geração de mapas temáticos objetiva a comunicação das informações geográficas e representa os elementos espaciais, que facilitam a compreensão de diferenças, semelhanças e possibilitam as suas correlações. Os mapas temáticos podem ser gerados a partir de materiais disponíveis que podem ser utilizados de forma direta ou indireta, através de edições, processamentos, tabulações, combinações, síntese e análise, gerando novos mapas temáticos com informações úteis que respaldam melhores decisões. Para o município de Joinville/SC foi possível identificar áreas urbanas suscetíveis a inundação, a partir do uso de SIG. Neste

município foi realizado um mapeamento de variáveis ambientais com o cruzamento de mapas temáticos, utilizando o algoritmo da média ponderada (MULLER 2012).

Os dados que são inseridos no SIG podem ser de diversas fontes geradoras e de formatos apresentados, com relações espaciais entre si (topologia e estrutura entre objetos geográficos), a partir de mapas digitalizados ou imagens de satélite, por exemplo. Dados temáticos descrevem a distribuição espacial de uma grandeza geográfica, os quais se expressam de forma quantitativa e qualitativa. Um dado cadastral distingue-se de um temático, pois cada um de seus elementos é um objeto geográfico, que possui atributos e pode estar associado a várias representações gráficas. No caso das imagens, sejam obtidas por satélite, fotografias aéreas ou scanners aerotransportados, representam formas de captura indireta de informação espacial. Armazenadas como matrizes, cada elemento da imagem (pixel) tem um valor proporcional à energia eletromagnética refletida ou emitida pela área da superfície terrestre correspondente (CÂMARA; QUEIROZ, 2001).

Os SIGs são importantes pois apresentam recursos a partir da geração de gráficos, tabelas e mapas temáticos/ de suscetibilidade, com os quais é possível integrar conjuntos de dados diversos (espaciais e não espaciais) e sua aplicação na delimitação de áreas de risco a desastres naturais. Se trabalha com importação, exportação, consulta e manutenção de dados, a representação de informações de natureza espacial, a recuperação de informações com base em critérios, as operações sobre elementos gráficos que possibilitam a visualização dos dados geográficos.

Segundo informações compiladas pelo Manual de Gestão de Riscos e Gestão de Desastres, as principais aplicações dos SIGs na aplicação para prevenção de desastres, se baseiam no ordenamento e gestão do território, otimização de arrecadação, localização de equipamentos e serviços públicos, inclusive de informações socioeconômicas, identificação de público-alvo de políticas públicas, gestão ambiental, gerenciamento de sistemas de transporte, comunicação com os cidadãos, gestão da frota municipal entre outros. Esse tipo de manual serve de apoio aos órgãos públicos, na hora de identificar áreas de risco, a fiscalização do uso e ocupação da terra e para evitar que novas áreas suscetíveis sejam ocupadas ou criadas, diminuindo a probabilidade de perdas humanas e danos socioeconômicos.

A seguir serão apresentados exemplos de aplicação de SIG na área de desastres. No âmbito internacional, por exemplo, Feizizadeh et al. (2014) fizeram um estudo de aplicação de SIG na bacia de Izeh, na província de Khuzestan no Sudoeste do Irã. Esses autores fizeram o mapeamento da suscetibilidade a deslizamentos de terra, com a combinação de diversos métodos de avaliação de múltiplos critérios (diferentes fontes de origem combinada). O método

de análise de decisão mais favorável nesse estudo é baseado nos fatores identificados por especialistas, relacionados aos que causam os deslizamentos de terra. A partir das bases de dados das propriedades e terras conhecidas, podem classificar as regiões como de “muito alta suscetibilidade” e como de “alta suscetibilidade”. Ainda os autores concluem sobre a importância de como o processo de tomada de decisões é claramente dependente da qualidade dos dados usados .

Youssef et al. (2015) dentro do planejamento urbano do ambiente urbano na Bacia de Wadi Al-Aska na Arábia Saudita, durante o período de 1973 a 2009, desenvolveram uma metodologia criando mapas temáticos que além dos parâmetros econômicos e sociais já antes mapeados na região, utilizaram características geológicas, geomorfológica e geográficas da área de estudo, associando-os ao fator de risco de inundação repentina. As variáveis antes descritas foram correlacionadas usando o método de processo hierárquico analítico e incorporado em um sistema de informação. Como produto final os autores obtiveram mapas temáticos que classificam a região geográfica em categorias de suscetibilidade, que vão de muito alta, alta, moderada, baixa e muito baixa, respectivamente.

O Levantamento de Desastres Naturais, causados pelas adversidades climáticas no Estado de SC de 1980 a 2000, foi feito com o uso de SIG por Herrmann (2001). Esse estudo registrou em mapas para SC, 1215 ocorrências de enchentes, 370 estiagens, 352 vendavais, 322 enxurradas, 270 granizadas, 116 deslizamentos e 21 tornados. Esses eventos foram provocados principalmente pelas condições meteorológicas de frentes frias estacionárias, vórtices ciclones, cavados de níveis médios, convecção tropical relacionada à orografia favorável a chuvas em SC e pela umidade que chega da circulação marítima pelas ASAS semi-permanentes e da Amazônia pelo JBN.

Freitas e Oliveira (2018), com o uso de mapas temáticos e informações processadas com SIG desenvolveram a pesquisa Estiagem no Oeste Catarinense Diagnóstico e Resiliência, onde fazem uma análise detalhada sobre a gestão dos recursos hídricos no oeste catarinense, referente a vários períodos de secas climáticas (1979-1985 e 1986-1994) até a recente tendência de decretação de desastre por estiagem (2006-13). Esse estudo tem como foco o planejamento e estruturação da resiliência antes esses períodos anômalos por falta de chuvas. Os autores encontraram a causa da estiagem, que são os bloqueios atmosféricos que paralisam as condições do tempo na região.

Diversos artigos, Marcelino et al., (2006); Goerl et al., (2012); Reis et al., (2014), têm demonstrado conceitos de parâmetros e metodologias a seguir para a elaboração de mapas temáticos, os quais são atualmente utilizados pela Defesa Civil do Estado de SC.

Marcelino et al (2006), realizaram o mapeamento de risco de desastres naturais para o estado de Santa Catarina, associados às instabilidades atmosféricas severas. Para obter o índice de risco, os autores calcularam os índices de perigo, de vulnerabilidade e de correção para cada município catarinense, e esses índices, por sua vez, foram obtidos pela frequência dos desastres naturais que aconteceram relacionados ao índice de vulnerabilidade. As mesorregiões mais danificadas foram Oeste Catarinense, Vale do Itajaí e Grande Florianópolis. Dentre os municípios que apresentaram maiores desastres registrados destacam-se Florianópolis, Blumenau, São José dos Cedros, Joinville e Chapecó, estes municípios apresentam uma alta densidade demográfica com alta frequência de desastres naturais. As mesorregiões Norte Catarinense e Serrana foram as que apresentaram maior vulnerabilidade aos desastres naturais, sendo mais propensas a terem muitas pessoas prejudicadas frente a um desastre. Alguns municípios litorâneos também apresentaram elevados índices de vulnerabilidade, que estão correlacionados principalmente com a elevada densidade demográfica e a grande presença de pessoas idosas representando 65% da população catarinense, esses municípios são Balneário Camboriú, São José, Criciúma, Florianópolis e Blumenau.

Na Figura 17, as fotografias retratam exemplos de áreas que foram afetadas por chuvas intensas nas cidades catarinenses. Neste caso, os danos ocorreram frente às fortes chuvas de 17/02/2019, pela ocupação irregular do território (edificações) em áreas de risco (por alagamentos e deslizamentos) em SC, especificamente na sua capital Florianópolis.

Figura 17- Fotografias que retratam os danos, frente às fortes chuvas e o Planejamento Territorial deslocado da variável potencial risco ambiental.



Fonte: NSC TV e Defesa Civil de SC (www.defesacivil.sc.gov.br)

Segundo Ribeiro et al. (2016), para estudar as áreas em risco, provocados por eventos de chuvas, se faz necessário a criação e análise de mapas de inundação. Com mapas atualizados de prevenção, controle e gestão das inundações, áreas de risco são constantemente alertadas. Os autores fazem um estudo na área urbana de Quebrangulo, município do estado de Alagoas. O mapeamento foi feito a partir de dados de população e domicílios, obtidos no censo demográfico do IBGE de 2010, e da modelagem hidrodinâmica, realizada pelo modelo computacional bidimensional IBER, que forneceu as lâminas de água de inundação ocorridas para cada localidade. Foi identificada a principal utilidade dos terrenos, com vistas à elaboração de diagnóstico do uso do solo na área em estudo, utilizando o recurso de *Street View* do *Google Earth*. Com ajuda do ArcMap elaboraram um mapa de risco com manchas de inundação para os períodos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos, para dois diferentes cenários. Como resultado as áreas identificadas de maiores problemas por inundações são aquelas localizadas nas proximidades do rio Paraíba, principalmente devido à vulnerabilidade e à ocupação desordenada.

O trabalho de Wilvert (2010) analisa os processos da dinâmica do meio físico, processos pluviais (alagamentos), fluviais (inundação e erosão marginal) e movimentos de massa (deslizamentos), que produzem perigo à população da cidade de Antônio Carlos em SC. Foram analisados 23 eventos adversos que ocorreram entre 1980 e 2010, através dos totais diários de precipitação e dos sistemas atmosféricos atuantes no momento, dos 23 eventos, 17 foram desencadeados por precipitações acima de 100 mm em 24h.

Pela importância até aqui descrita em diversos trabalhos e artigos de grande atualidade e relevância científica, o uso de SIG é adequado para que atinja os objetivos propostos neste trabalho de Tese, sendo descrito na metodologia.

3.2.2 Bases de Dados da Defesa Civil Nacional

Segundo o manual de Gestão de Riscos e Gestão de Desastres da Defesa Civil de SC, em conjunto com o governo do estado, após SC sofrer um dos piores desastres de sua história em 2008 e devido às fortes chuvas que aconteceram, foi criada em 2012 a Secretaria Estadual de Monitoramento e Alerta. A secretaria antes mencionada vem desenvolvendo um projeto de Gerenciamento de Riscos e Desastres para SC no qual se agruparam órgãos nacionais de extrema importância.

Entre os órgãos que se agruparam dentro do projeto de Riscos e Desastres em SC, estão a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), a Secretaria de Estado do Planejamento (SGP), a Secretaria do Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDS), o Centro de Informática e Automação do Estado de SC (CIASC), o Departamento Estadual de Infraestrutura (DEINFRA), o Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD), o Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres (CEMADEN), a Agência Nacional de Águas (ANA), O Serviço Geológico do Brasil (CPRM), universidades, entre outros. Como resultado final da movimentação política e do interesse do estado criou-se o Centro Integrado de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CIGERD), com profissionais que atendem a necessidade de operações de vigilância e alerta para o Estado e o país como um todo. O projeto é um alinhamento com a legislação vigente da Lei 12608, da qual já se comentaram suas bases e argumentos na introdução deste trabalho.

O sistema de monitoramento e alerta desenvolvido pelo CIGERD, responde também ao MARCO de SENDAI para a redução do risco de desastres 2015- 2030 e a Estratégia Internacional para Redução de Desastres da ONU, o qual aponta para a necessidade de promover a resiliência das nações e comunidades frente a potencial ocorrência dos desastres, tendo como prioridade de ação as responsabilidades institucionais na redução significativa do risco de desastres ao longo do decênio. O MARCO de SENDAI reafirma a necessidade de aumentar a capacidade de alerta e resposta com uma maior preparação reduzindo riscos ante desastres no planejamento de desenvolvimento de práticas conexas e do fomento de uma cultura de prevenção e de promoção da resiliência. Visa-se a cooperação internacional entre os países desenvolvidos e em desenvolvimento e entre os estados e organizações internacionais (UNISDR, 2018).

A partir da criação do Cadastramento no Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID) em 2012 por parte da DC Nacional no Brasil, ficam registradas todas as informações de eventos naturais ou antrópicos e dos danos provocados por eles em cada município brasileiro. O S2ID objetiva informatizar os procedimentos de solicitação de reconhecimento de situação de emergência e/ou estado de calamidade pública, com o qual, é obtida a transferência de recursos federais para os municípios com maior agilidade nos documentos e acompanhamento do processo em tempo real.

Segundo Souza et al. (2014) a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) exige que cada município elabore o mapa de risco de seu território, como medida de gerenciamento e resiliência, cumprindo a exigência para um número mínimo de habitantes do município. Considerando a PNPDEC para se desenvolver mapas da vulnerabilidade a desastres

naturais, devem ser levados em conta elementos socioeconômicos básicos como: educação, renda, dependência, demografia e entrevistas para o conhecimento da realidade.

Para elaborar mapas de perigo, têm-se como base os eventos naturais extremos como inundações, deslizamentos e fluxo de detritos, diferentemente do mapeamento de risco, que seria um mapa mais completo e complexo, unificando diferentes variáveis. Nesse sentido no ano de 2007, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), com recursos do Banco Mundial e junto ao Ministério das Cidades, elaborou uma metodologia de mapeamento para risco de deslizamentos o “Curso de Treinamento de técnicos municipais para o mapeamento e gerenciamento de áreas urbanas com risco de escorregamentos e inundações”. Com mapas de risco é possível a elaboração de medidas preventivas, a planificação de situações de emergência e o estabelecimento de ações conjuntas entre poder público e comunidade, visando assim a diminuição do número de pessoas afetadas.

Deve-se ressaltar que tanto o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) quanto a Defesa Civil do Estado, utilizam como referência para os seus trabalhos os dados com números de pessoas expostas ao risco utilizados nos alertas, proveniente dos mapeamentos de risco. Essas bases de dados possuem informações importantes com dados atualizados, entre outras informações, sobre a população exposta em áreas de risco a desastres, nos que se encontram áreas de deslizamentos, inundações e enxurradas, com informações sobre a caracterização de moradores e de residências. A região Sudeste do Brasil concentrou o maior contingente populacional em áreas de risco, com um total de 4.266.301 moradores expostos, seguidamente a região Nordeste do Brasil concentrou 2.952.628 moradores expostos em áreas de risco climático. Na Região Sul, onde se encontra SC, foram estimados 703.368 moradores, enquanto nas regiões Norte e Centro-Oeste somam um total de 347.830 moradores expostos a risco, produto aos desastres que provocam as chuvas extremas (CEPED, 2013).

A partir das informações básicas sobre número de moradores e moradias em áreas de risco, incluindo moradores por gênero, faixa etária, rendimento, responsável do domicílio, foi criada a Base Territorial Estatística de Áreas de Risco – BATER (SAITO, 2019). Existe uma força tarefa de mapeamento das regiões em risco que existem no Brasil. Segundo a Defesa Civil Nacional, esse trabalho é o realizado pelo Serviço Geológico Brasileiro – CPRM para os desastres geo-hidrológicos (que são os desastres mais recorrentes e que mais geram danos ao país). Foram mapeados a partir de um levantamento inicial 821 municípios, segundo a necessidade e demandas estaduais do momento, e hoje se conta com um total de 1.607 municípios mapeados. No CEMADEN, em nível Federal, todo o sistema de alerta, por exemplo, é embasado nas informações do mapeamento, para a análise de obras de prevenção. No âmbito

estadual e municipal mudam as regras e medidas a serem adotadas segundo suas necessidades (CEPED, 2013).

A Defesa Civil Nacional elabora planos de contingência, planos diretores e urbanísticos. Em termos de base de dados, a principal evolução tem sido verificada a partir da implementação do S2ID, onde todos os registros de desastres, bem como de solicitações de recursos para apoio à população e de reconhecimento Federal frente a situação de emergência ou calamidade pública, estão hoje nessa plataforma oficial da Defesa Civil Nacional. O histórico de desastre possibilita muitos estudos de correlação com outras informações e favorece um grande conhecimento acerca das questões de riscos e desastres no país, o que com certeza é uma grande ferramenta para a sua melhor gestão. Em relação ao uso de novas tecnologias o sistema S2ID, dá uma grande agilidade e transparência ao trabalho da Defesa Civil, também o Cartão de Pagamento da Defesa Civil – CPDC, agiliza o recebimento de apoio com recurso financeiro frente a um momento de desastre, com um maior controle dos recursos públicos (CEPED, 2013).

3.2.3 Fortalecimento do Sistema de Proteção e Defesa Civil (engrenagem completa).

Segundo o Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres, foram investidos mais de 18 bilhões de reais entre os anos de 2012 e 2014 nas áreas de Prevenção aplicados a obras estruturais, Mapeamento das áreas de risco, Resposta (socorro, assistência e reconstrução), e Monitoramento e Alerta, estruturando a rede nacional. A Figura 18 traz um resumo do Investimento em Defesa Civil no Brasil.

Figura 18 – Investimento da Defesa Civil entre os anos de 2012 e 2014



Fonte: Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres

Aproximadamente 15,6 bilhões de reais foram aplicados em obras de prevenção na contenção de encostas, drenagem, barragens e contenção de cheias, além de contenção de cheias e sistemas de abastecimento de água. O mapeamento das áreas de risco foi capaz de identificar 821 municípios com risco de deslizamento e enxurradas e 17 bacias críticas com risco de inundação, 162 milhões de reais foram empregados nessa área.

Foram investidos aproximadamente 362 milhões de reais entre os anos de 2012 e 2014 na área de monitoramento e alerta, que tem como principal órgão o CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais) atua de 2 a 6 horas de antecedência com um alerta de enxurradas e deslizamentos nos municípios mapeados, funcionando 24h por dia, 7 dias de semana.

A Resposta é composta pelos órgãos CENAD/Defesa Civil Nacional, junto ao Ministério da Cidadania - MDS. Entre os anos de 2012 e 2014 aproximadamente 2,6 bilhões de reais foram executados em recursos para atender a assistência, socorro e reconstrução de: pontes, prédios públicos, limpeza pública, e infraestrutura urbana.

O mapeamento possibilita um maior conhecimento sobre os processos que podem acontecer e onde podem ocorrer, reduzindo o risco ao desastre, quando feitas medidas de prevenção, inclusive através de obras de engenharia, concedendo informações apontadas por meio da Lei 12.527/2011 de acesso à informação, no seu site <https://www.cprm.gov.br/>.

A CPRM/IPT oferece cartas de suscetibilidade, mapas sobre geologia, geoquímica, perigo e riscos, recursos minerais e recursos hídricos, além de, bases de dados e sistemas de informações georreferenciadas. As cartas de suscetibilidade são feitas na escala 1:25.000 e quando há base de dados disponível, se utiliza a escala de 1:10.000. Cartas em escala maior (mais detalhes), em geral são utilizadas para o mapeamento de risco.

Segundo Costa (1969) no passado, o preenchimento territorial ocorria de maneira mais ou menos espontânea, condicionada a motivos econômicos passageiros, em sua maioria, e sem nenhuma lógica globalizadora. Com o passar dos tempos, foram se indicando diferenças geográficas relevantes de desenvolvimento, conglomerados ditos urbanos foram se saturando, entrando em evidência e precipitando distúrbios de natureza social e econômica. Costa (1969) ainda ressalta que esse fenômeno, dentre outros, trouxe um pensamento que hoje é consagrado, isto é, que a forma como uma população se distribui no espaço territorial é importante no elenco de variáveis que compõem o jogo de fatores para o seu desenvolvimento.

3.2.4. Principais conceitos em uso pela Defesa Civil de Santa Catarina ante Desastres.

Um **Evento** acontece quando uma situação, fenômeno ou fato previsto, com dimensões e localização geográfica, realmente ocorre. Ele pode ser de origem natural ou antrópica. Em dependência aos danos e prejuízos que ele cause, suas consequências podem ser graves, sendo que, a ameaça que se transforma em um evento pela sua gravidade, torna-se um evento adverso. Um dos grandes desafios para a DC no Brasil e da Estratégia Internacional para Redução de Desastres da ONU (UNISDR, 2018) é minimizar os danos humanos, ambientais e materiais e as consequências, prejuízos econômicos e sociais resultantes da ocorrência de desastres provocados por algum evento. Com maior percepção do risco e comprometimento por parte das autoridades públicas e comunidades, será possível a redução dos desastres (RODRIGUES 2010).

Fatores que condicionam a ocorrência de um evento adverso:

I. **Suscetibilidade:** Maior ou menor predisposição ou propensão dos terrenos ao desenvolvimento/ocorrência de um determinado fenômeno ou processo do meio físico, em uma área específica. Indica a potencialidade de ocorrência mais relacionado a processos naturais dentro de uma área, podendo ser classificado em classes de probabilidade de ocorrência.

II. **Vulnerabilidade:** Exposição socioeconômica ou ambiental de um cenário sujeito à ameaça do impacto de um evento adverso natural, tecnológico ou de origem antrópica. Características locais podem criar condições para que o desastre ocorra ou tenha impactos fortes, sejam essas características sociais, econômicas, políticas, ambientais, institucionais ou geográficas. Indica a probabilidade e grau do estado de fraqueza, fragilidade e delicadeza de uma área danificada frente a um fenômeno ou processo. Considerada como uma característica específica de cada comunidade, em relação a um determinado fenômeno, mudando continuamente no tempo e no espaço. Se expressa na escala de zero (nenhum dano) a um (perda total).

III. **Ameaças:** Evento natural, tecnológico ou antrópico, com elevada possibilidade de causar danos humanos, materiais e ambientais com perdas socioeconômicas públicas e privadas. Será uma ameaça um evento físico, potencialmente prejudicial, fenômeno e/ou atividade humana que pode causar a morte ou lesões, danos materiais, interrupção de atividade social e econômica ou degradação do meio ambiente. Ex. chuva intensa, deslizamento de terra ou transporte de produto perigoso e contaminante.

Resiliência se define como o Grau/Capacidade de um sistema, comunidade ou sociedade reagir, resistir, absorver, adaptar-se, recuperar-se e regenerar-se, dos efeitos ante uma

exposição ou ameaça de maneira oportuna, eficaz, com preservação à restauração de suas estruturas e funções básicas.

O **Grau de Exposição** de uma população e seus recursos físico - econômicos, direciona à uma ameaça que pode se transformar em desastre. Essa exposição indica o quanto uma cidade, comunidade ou sistema, localizado dentro de uma área suscetível a um determinado perigo, estará sujeita a sofrer com um evento adverso, quando ou se o mesmo acontecer. **Danos, Perdas e Prejuízos**, caracterizam as consequências negativas, podendo ser referenciados qualitativa ou quantitativamente. **Danos**, são o resultado das perdas humanas, materiais ou ambientais infligidas às pessoas, comunidades, instituições, instalações e aos ecossistemas, como consequências de um desastre. **Prejuízo**, se refere mais a uma medida de perda relacionada com valor econômico, social e patrimonial de um determinado bem dentro de uma circunstância de desastre. Os prejuízos abarcam desde o setor social, de infraestrutura, de economia até o meio ambiente, subdivididos em população prejudicada, habitação, saúde, educação, transporte, água e saneamento, infraestrutura e energia, telecomunicações, meio ambiente, agropecuária, indústria, entre outros.

Portanto, o **Risco** pode ser associado à vulnerabilidade, sensibilidade, suscetibilidade ou proximidade a danos potenciais, sendo que quanto maior a vulnerabilidade, maior o risco para uma determinada área. **A Gestão de Risco** entra então como um processo social complexo, com fim de redução ou previsão e controle permanente de riscos na sociedade (CEPED, 2013). **A Gestão de Riscos de Desastres** são as medidas preventivas destinadas à redução de riscos de desastres, suas consequências e à instalação de novos riscos. Acontecem as etapas de prevenção, mitigação e preparação.

A gestão de desastres compreende assim o planejamento, a coordenação e a execução das ações de resposta e de recuperação. O **Risco de Desastre** será assim o potencial de ocorrência de um evento adverso sob um cenário vulnerável. Descreve se um evento (ameaça), com uma determinada intensidade e frequência, humana ou natural, é mais ou menos provável (probabilidade) e quais os danos e prejuízos que se podem esperar (consequências). Os riscos se classificam segundo o grau de importância dentro de uma determinada comunidade, desta forma, podem analisar-se como nenhum, leve, moderado, severo e catastrófico. Desta forma **uma área de risco** será aquela passível de ser atingida por fenômenos ou processos naturais e/ou induzidos que causem efeito adverso. As pessoas moradoras dessa área estão sujeitas a danos físicos e perdas materiais. Normalmente no contexto das cidades brasileiras, essas áreas correspondem a núcleos habitacionais de baixa renda, assentamentos precários.

3.2.5 Fases/ Ações do Ciclo de Proteção e Defesa Civil, parte da normativa 02/2016 em relação à nova política desenvolvida pela Lei 12608

I. **Prevenção:** Medidas e atividades prioritárias, destinadas a evitar a instalação de riscos e desastres. Envolve identificação, mapeamento, e monitoramento de riscos, ameaças e vulnerabilidades, bem como a capacitação da sociedade.

II. **Mitigação:** Medidas e atividades imediatamente adotadas para reduzir ou evitar as consequências do risco de desastre.

III. **Preparação:** Medidas para aperfeiçoar as ações de resposta e minimizar os danos e as perdas decorrentes do desastre. Envolve planos de contingência, simulações, emissão de alertas e a evacuação da população.

IV. **Resposta:** Medidas de emergência, durante ou após o desastre, visam o socorro e a assistência da população atingida e o retorno dos serviços essenciais.

V. **Recuperação:** Medidas após o desastre para retornar à situação de normalidade. Abrange a reconstrução da infraestrutura danificada ou destruída, a reabilitação do meio ambiente e da economia, visando ao bem-estar da sociedade.

O mapeamento de áreas de risco traz uma solução e resume as informações necessárias para evitar futuros danos em uma região determinada. Como ferramenta multiplamente em uso, a própria Defesa Civil propõe a elaboração de diferentes metodologias para o mapeamento de áreas de risco com o objetivo de manter um banco de dados que forneça subsídios para os Planos Diretores de Defesa Civil. Mapas podem compilar informações de ameaças, vulnerabilidades e riscos de diferentes fenômenos, sendo este último o tipo de mapa que reúne várias informações (CEPED, 2013).

3.2.6 Classificação dos Mapas de Risco

Os **mapas de risco** podem ser classificados como, **i) mapa de inventário**, utilizado para a elaboração da carta de suscetibilidade e do mapa de risco. Dentro do Inventário se considera a distribuição espacial dos eventos, o conteúdo: tipo, tamanho, forma e estado, informações de campo, fotos e imagens.

Outro tipo de representação pode ser, **ii) mapa de suscetibilidade**, o qual apresenta a potencialidade de ocorrência de desastres no local, fornecendo informações que auxiliem no planejamento do uso e ocupação do solo. Fornece a correlação entre fatores causadores e os

eventos produzidos, de forma tal que classificam as unidades em graus de suscetibilidade aos diversos fenômenos, seja a inundações, alagamentos, estiagem, vendaval e/ou deslizamentos.

Com base nos mapas de inventário e de suscetibilidade, **iii) mapa de risco**, apresenta a probabilidade de ocorrência de processos geológicos naturais ou induzidos e as consequências sociais e econômicas deles decorrentes. Indica a probabilidade tempo/espaço de uma ameaça acontecer, apresenta tipo e comportamento do fenômeno em análise, indicando a vulnerabilidade dos elementos sob risco com cálculos relativos aos danos que aconteceram.

A DC do estado agora com a criação do CIGERD, desenvolve Planos Comunitários de Redução de Risco (PCRRD), com os quais, identifica ameaças, perigos e vulnerabilidades gerais/específicas. Com os PCRRD é possível obter mapeamento de riscos, realizando o cruzamento espacial das ameaças/perigos e das vulnerabilidades identificadas.

Pelos conceitos antes comentados de suscetibilidade e tipos de mapas, é que este trabalho de Tese abordará o mapeamento de regiões suscetíveis aos eventos extremos das chuvas persistentes, dividido entre os capítulos 2 e 3, fazendo assim o cruzamento espacial dos casos selecionados com os danos provocados em cada lugar diferencialmente.

3.2.7 Ferramenta Spline

Saravia, Bonomo, Souza (2017, p. 28), definem que o método Spline Tensionado é um estimador determinístico, que ajusta uma superfície analítica, tomando como base as equações polinomiais em uma avaliação de interpoladores geoestatísticos e determinísticos da Evapotranspiração de Referência (Eto) diária. Os autores compararam métodos de interpolação, entre um deles o Spline Tensionado, visando à espacialização da Eto.

A ferramenta Spline utiliza um método de interpolação que estima valores acionando uma função matemática que minimiza a curvatura geral da superfície, resultando em uma superfície lisa que passa exatamente pelos pontos de entrada.

Conceitualmente, os pontos de amostra são empurrados até a altura de sua magnitude. A Spline dobra uma folha de borracha que passa pelos pontos de entrada enquanto minimiza a curvatura total da superfície. Ele ajusta uma função matemática a um número especificado de pontos de entrada mais próximos enquanto passa pelos pontos de amostra. Este método é melhor para gerar superfícies suavemente variáveis, como elevação, altura do lençol freático ou concentrações de poluição (ArcMAP).

Segundo o site do software ArcGIS Pro, a ferramenta Spline pode ser utilizada por diversas metodologias:

Regularizado: Produz uma superfície lisa e primeiras derivadas lisas. Com essa opção, valores mais altos usados para o parâmetro de peso produzem superfícies mais lisas. Os valores inseridos para este parâmetro devem ser iguais ou maiores que zero.

Tensão: Ajusta a rigidez do interpolador de acordo com o caráter do fenômeno modelado. Com essa opção, valores mais altos inseridos para o parâmetro de peso resultam em superfícies um pouco mais grosseiras, mas superfícies que se ajustam aos pontos de controle.

A opção Regularizada do tipo Spline geralmente produz superfícies mais lisas do que aquelas criadas com a opção Tensão.

Parâmetro de peso. Para o método Spline Regularizado, o parâmetro Weight define o peso das primeiras derivadas da superfície na expressão de minimização da curvatura. Quanto maior o peso, mais suave será a superfície de saída. Os valores inseridos para este parâmetro devem ser iguais ou maiores que zero. Os valores típicos que podem ser usados são 0, 0,001, 0,01, 0,1 e 0,5.

Para o método de Tensão, o parâmetro Weight define o peso da tensão. Quanto maior o peso, mais grosseira será a superfície de saída. Os valores inseridos devem ser iguais ou maiores que zero. Os valores típicos são 0, 1, 5 e 10.

Parâmetro de número de pontos. O Número de pontos identifica o número de pontos usados no cálculo de cada célula interpolada. Quanto mais pontos de entrada você especificar, mais cada célula será influenciada por pontos distantes e mais suave será a superfície de saída. Quanto maior o número de pontos, mais tempo leva para processar o raster de saída (ArcGIS Pro).

As recentes matérias de espacialização de dados climáticos têm ressaltado a importância de estabelecer os melhores interpoladores. Segundo Aranoff (1989, apud LUCAS et al. 2013), a condição de uma interpolação decorre da distribuição e da compreensão dos pontos usados no cálculo, além da correlação de modelos estatísticos com os fenômenos em questão. A seleção de um modelo adequado é essencial para se obter resultados razoáveis.

A associação entre modelos matemáticos e técnicas de geoprocessamento é elementar por possibilitar quantificar a propriedade dos modelos de superfície por meio da medição do erro estatístico estimado para superfícies previstas. Segundo Silva (2011, apud LUCAS et al. 2013), a aquisição de superfícies interpoladas compreende três etapas fundamentais, a análise estatística exploratória de dados espaciais, a análise estrutural de cálculo (modelagem das

propriedades superficiais de locais próximos, cálculo e modelação do variograma) e a avaliação dos resultados.

3.2.8 Álgebra de mapas

Ferreira e Silva (2020), em um artigo de proposições para a gestão do território da bacia hidrográfica do Rio Brilhante (Mato Grosso do Sul / Brasil), desenvolvem um modelo para estabelecer classes de fragilidade ambiental com fundamento na sobreposição de fatores naturais e antrópicos, combinando o método de análise hierárquica (AHP) e a Álgebra de Mapas, hierarquicamente adaptados em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica), isso a fim de contribuir com a gestão desse território.

O método de álgebra de mapas também contribui para o estudo de susceptibilidade erosiva, segundo Silva (2020) esse tipo de análise consiste na aplicação de operações aritméticas para associar várias camadas de modo a obter como resultado classificações que permitem análises diversas. A análise de multicritério com o método de álgebra de mapas permite agrupar e classificar áreas que apresentem potencial de susceptibilidade erosiva semelhante.

Na visão de Berry (1993 apud SANTOS, 2011) a definição de álgebra de mapas ou álgebra de campos pode ser observado como uma extensão da álgebra clássica, com um agrupamento de operadores, onde as circunstâncias aplicadas são campos geográficos (Berry, 1993).

O termo álgebra de mapas foi disseminado pelo livro *Geographic Information System and Cartographic Modeling* (Tomlin, 1990). Este autor apontou os mapas como componentes que vinculam um valor quantitativo (escalar, ordinal, cardinal ou intervalar) ou qualitativo (nominal) para cada zona de uma área de estudo, e apoiou a realização de cálculos matemáticos entre esses componentes segundo a determinação e bom-senso do modelador (SANTOS, 2011).

A ferramenta Álgebra de mapas é simples e poderosa, e por meio dela é possível executar todas as ferramentas, operadores e funções do Spatial Analyst para realizar análises geográficas, a ferramenta está disponível no módulo Spatial Analyst (uma extensão para o pacote do site ArcPy Python). Como a Álgebra de mapas foi integrada ao Python, todas as funcionalidades do Python e do ArcPy e suas extensões (módulos, classes, funções e propriedades) estão disponíveis.

A Álgebra de mapas do Python é composta de ferramentas, operadores, funções e classes. Para obter mais informações sobre as regras de sintaxe da Álgebra de mapas, o site ArcMAP orienta consultar os seguintes recursos:

- Visão geral das regras da Álgebra de Mapas
- Trabalhar com objetos Raster
- O objeto Raster
- Visão geral das classes Spatial Analyst
- Criar declarações complexas

O uso e a sintaxe do Álgebra de mapas no ArcGIS 10 são muito semelhantes ao Álgebra de mapas usado em versões anteriores do ArcGIS. As diferenças são aproveitar o ambiente Python integrado que fornece uma experiência de modelagem mais poderosa. A Álgebra de Mapas fornece um farto conjunto de instrumentos para realizar análise e modelagem espacial baseada em Raster. Os termos de álgebra de mapa podem consistir em vários operadores e ferramentas. As expressões de Álgebra de Mapas complexos podem ser construídas pela funcionalidade Spatial Analyst, mas também podem incluir ferramentas de outras caixas de ferramentas (ArcMAP).

A Álgebra de Mapas permite que você acesse as ferramentas, operadores, funções e classes do Spatial Analyst através da álgebra. É fácil tornar-se produtivo rapidamente com a Álgebra de Mapas e, à proporção que suas necessidades crescem, você pode explorar muitas de suas particularidades. O site ArcMAP, sugere três maneiras de usar a Álgebra de Mapas:

- A ferramenta Calculadora Raster
- A janela do Python
- Seu ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) Python favorito

A partir da bibliografia antes descrita, neste capítulo 3 dentro do trabalho de Tese, será utilizada a metodologia Álgebra de Mapas, com uso da ferramenta Calculadora Raster.

3.3 METODOLOGIA

Os danos e as consequências relacionados aos CCPEA definidos no capítulo 2 deste estudo estão relacionados com informações da Defesa Civil de SC, disponibilizadas no seu site www.defesacivil.sc.gov.br e do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID). Esses sites possuem informações históricas sobre os desastres provocados por diversos fenômenos meteorológicos e não meteorológicos.

Com o uso dos recursos de software de Sistemas de Informação Geográfica e em consonância com a Lei 12608 da Defesa Civil, foi possível identificar as áreas mais suscetíveis, a partir do mapeamento temático de variáveis representativas em SC. Superpondo os mapas temáticos em camadas (variáveis definidoras do processo), se delimita a área urbana com maior eficiência, caracterizando os registros de danos. Desta forma, se identificou a área mais suscetível aos CCPEA em SC.

As variáveis representativas que foram representadas em Mapas Temáticos I e Mapas Temáticos II são:

- I. O comportamento sazonal dos CCPEA, assim como sua abrangência e acumulado no período de estudo e pelo estado todo;
- II. Registros dos danos históricos nas cidades de SC.

Mapas Temáticos I que representam as características dos CCPEA em SC foram feitos por meio da interpolação dos dados, utilizando o método Spline, a partir da ferramenta de mesmo nome no Software - ArcGIS. Este é um método de interpolação que estima valores intermediários, em uma amostra de pontos, usando uma função matemática que minimiza a curvatura dos valores finais. O resultado gerado é uma curvatura suave que passa exatamente pelos pontos de entrada. A interpolação foi realizada utilizando como parâmetro de peso o número de casos de chuva extrema no período 1986 – 2016 e a precipitação acumulada nos casos.

Mapas Temáticos II foram feitos para representar o registro de danos históricos que ocorreram em SC no período de 31 anos (1986 – 2016). Os danos são agrupados segundo o fenômeno que causou os mesmos, ficando como Hidrológico, Meteorológico e Geodinâmico. Foi assim aplicada a metodologia de Álgebra de Mapas, com uso da ferramenta Calculadora Raster, obtendo mapas médios a partir dos cálculos que são aqui apresentados, para uma melhor visualização e filtragem. O mapa Impacto Total, como média entre os mapas Impacto Vida e

Impacto Social, mostra a região / cidade mais suscetível aos danos registrados. Os cálculos feitos para a obtenção dos mapas médios foram:

$$\text{Impacto Vida} = [(5 \times \text{mortos}) + (3 \times \text{enfermos}) + (2 \times \text{feridos})] / 10$$

$$\text{Impacto Social} = [(5 \times \text{afetados}) + (3 \times \text{desabrigados}) + (2 \times \text{desalojados})] / 10$$

$$\text{Impacto Total} = \text{Impacto Vida} + \text{Impacto Social}$$

Classificação: (alta, média, baixa)

Uma vez feita a filtragem da região / cidade mais suscetível segundo os casos de chuva persistente, extrema e abrangente em SC (Mapas Temáticos I) e a região / cidade mais suscetível segundo o registro de danos históricos (Mapas Temáticos II), foi possível definir a cidade mais suscetível aos danos que historicamente provocam as chuvas persistentes, extremas e abrangentes em SC.

Na sequência um exercício prático em 3D Realidade Aumentada foi feito. O exercício utiliza diversos níveis de detalhes, desde a escala sinótica onde se representam os fenômenos meteorológicos que provocam as chuvas extremas e persistentes, até uma escala regional mostrando a chegada do sistema meteorológico ao Sul do Brasil e finalmente até uma escala local na região / cidade mais suscetível aos danos que provocaram as chuvas persistentes e extremas em SC.

O princípio metodológico se mostra inovador e extremamente eficiente para os gestores públicos, que não precisam ser especialistas nos temas relacionados a desastres (eventos extremos), mas que necessitam compreender minimamente quais são as áreas suscetíveis segundo uma compreensão física multiescalar, bem como quais devem ser as ações imediatas a serem tomadas frente ao sinistro. Nesse sentido o GeoLab dá o aporte necessário para o desenvolvimento da representação 3D em programação no ambiente de Realidade Aumentada. O software utilizado para o vídeo exemplo prático em Realidade Aumentada foi o Max Reality.

Desta forma se representa um mapeamento multiescalar onde os tomadores de decisão têm a mão um amparo científico tecnológico envolto em um recurso passível de entendimento (aos leigos), que auxiliará a tomada de decisão, uma vez que o produto caracteriza a apresentação e simulação dos eventos em Realidade Aumentada.

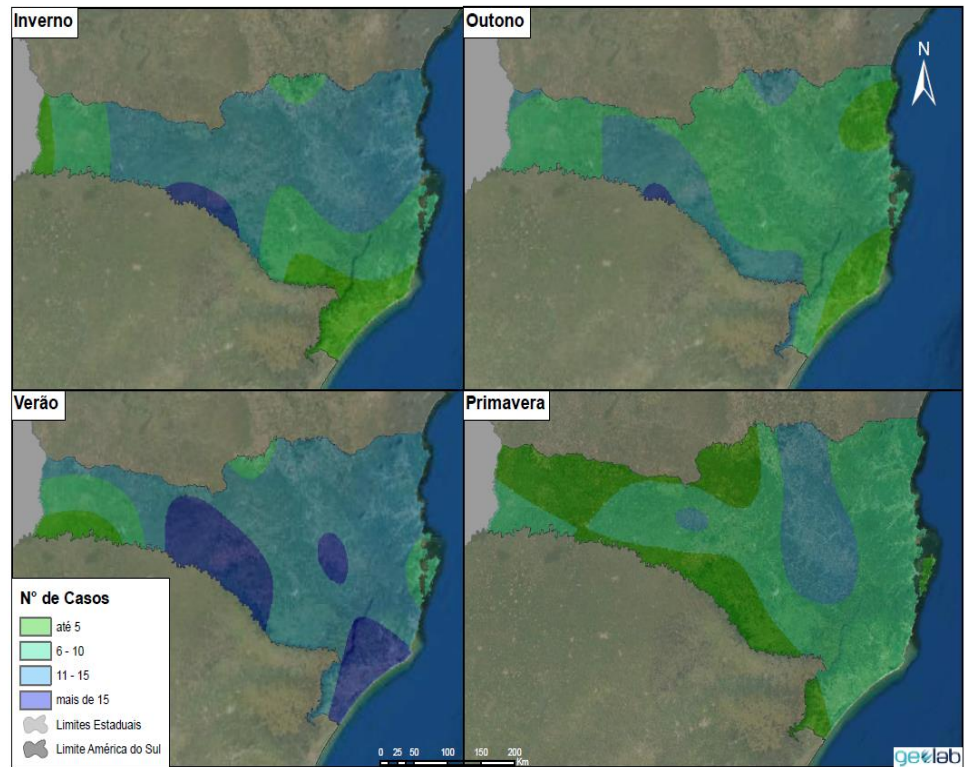
3.4 RESULTADOS

3.4.1 Mapeamento das cidades no estado de Santa Catarina, segundo as características dos Casos de Chuva Persistente, Extrema e Abrangente.

Nas Figuras 18 e 19 respectivamente, foi representada SC com a distribuição dos CCPEA e seus acumulados nas quatro estações do ano, Mapas Temáticos I. Se observa como as regiões mais suscetíveis ficam ou no centro-oeste ou nas cidades do litoral norte do estado. A unidade de Antas na região centro-oeste de SC vem apresentando nos últimos 31 anos, uma diminuição na tendência e número de CCPEA, em torno de 5 a 15 casos. Destaca-se também que os maiores acumulados de chuva ocorreram na região central do estado, em torno de 1700 a 2300 mm, como também nas cidades do litoral durante o verão, em torno de 2300 mm, Figura 19.

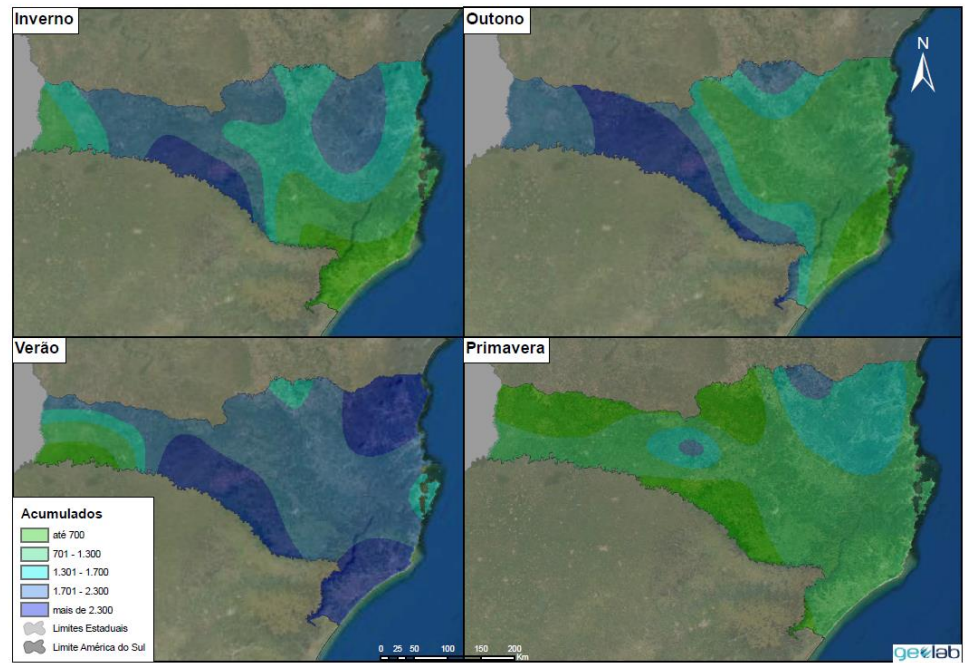
O litoral norte de SC é a região com maior incidência de CCPEA, tanto em frequência, aproximadamente 10 casos, como no seu acumulado, em torno de 2000 mm no verão. Por outro lado, cidades do litoral Sul e parte do centro de SC são as regiões com menor incidência em relação aos CCPEA, Figuras 18 e 19. Essas características dos CCPEA definem como a região do litoral norte e meio oeste do estado contém as cidades mais suscetíveis aos eventos.

Figura 18- Representação dos Casos de Chuva Persistente Extrema e Abrangente em SC (1986- 2016).



Fonte: Autoria Própria

Figura 19- Representação dos Acumulados Totais da Chuva nas estações meteorológicas.



Fonte: Autoria Própria

3.4.2 Mapeamento das regiões mais suscetíveis, segundo os danos registrados historicamente pela Defesa Civil do Estado (DADOS SI2D). Breve Introdução da caracterização física das regiões em SC

Neste tópico são analisadas as tabelas com danos e consequências que aconteceram em SC nos períodos dos CCPEA. Esses dados já estão coletados da DEFESA CIVIL de SC, disponibilizadas no seu site www.defesacivil.sc.gov.br e no SISTEMA INTEGRADO DE INFORMAÇÕES SOBRE DESASTRES (SI2D). Esse site possui informações sobre os desastres provocados por diversos fenômenos meteorológicos e não meteorológicos. Com essas informações, mapas temáticos são feitos, delimitando as áreas mais suscetíveis por essas variáveis.

3.4.3 Delimitação das regiões mais suscetíveis e representação em mapa da área mais crítica.

A Figura 20 mostra de forma organizada os dados do SI2D. Esses dados são cadastrados historicamente e devidamente organizados em SC, segundo os fenômenos que causaram os mesmos. A partir da filtragem desses dados são feitos os Mapas Temáticos II, para identificar as regiões / cidades mais suscetíveis aos danos, como descrito na metodologia deste capítulo 3.

Figura 20- Dados do Sistema Integrado da Defesa Civil (SI2D) para os municípios de Santa Catarina.

Fonte: Autoria Própria

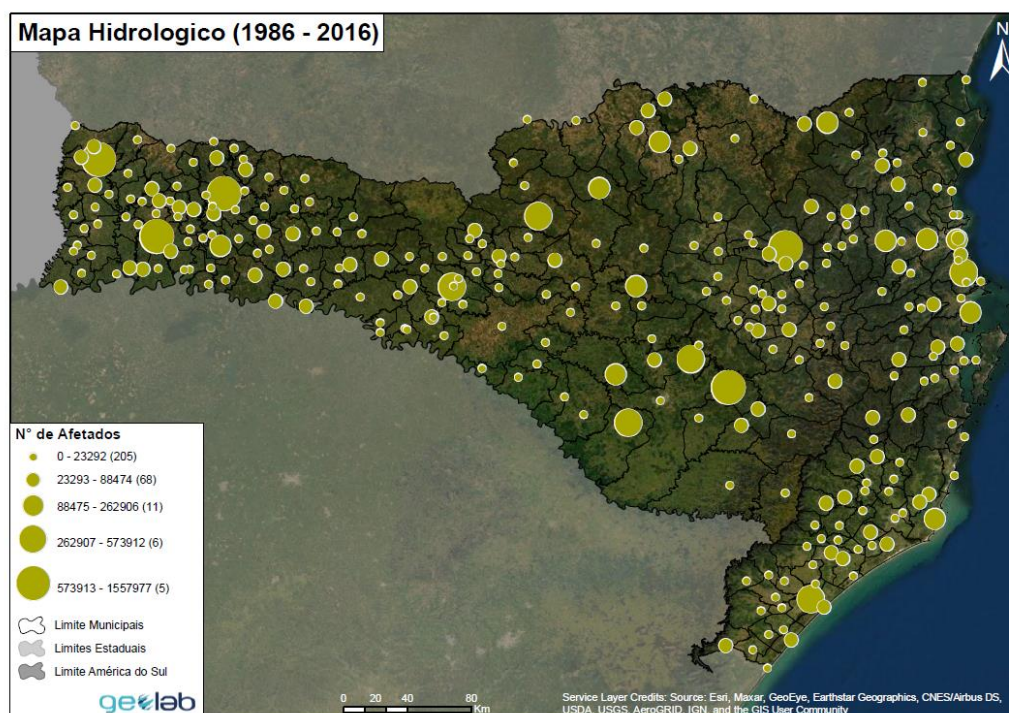
As variáveis pelas quais foram filtrados os danos históricos provocados pelos eventos de chuva extrema, persistente e abrangente em SC e os conceitos pelos quais a Defesa Civil Nacional agrupa esses danos são:

- Afetados: População que declara algum tipo de problema relacionado às chuvas e suas consequências.
- Desabrigados: População que fica sem local de moradia e não tem para onde ir, nesse caso o governo assume o traslado para um abrigo.
- Desalojados: População que fica sem local de moradia e vai para casa de familiares ou amigos.

- Desaparecidos: População que não se localiza mais na sua moradia, nem em casa de amigos ou familiares.
- Enfermos: População que precisa ser hospitalizada devido a um tipo de doença provocada pelas chuvas extremas.
- Feridos: População que sofre algum tipo de ferimento durante esses dias com chuva.
- Óbitos: População que faleceu no local durante esses dias com chuva, sem relação a morte natural.

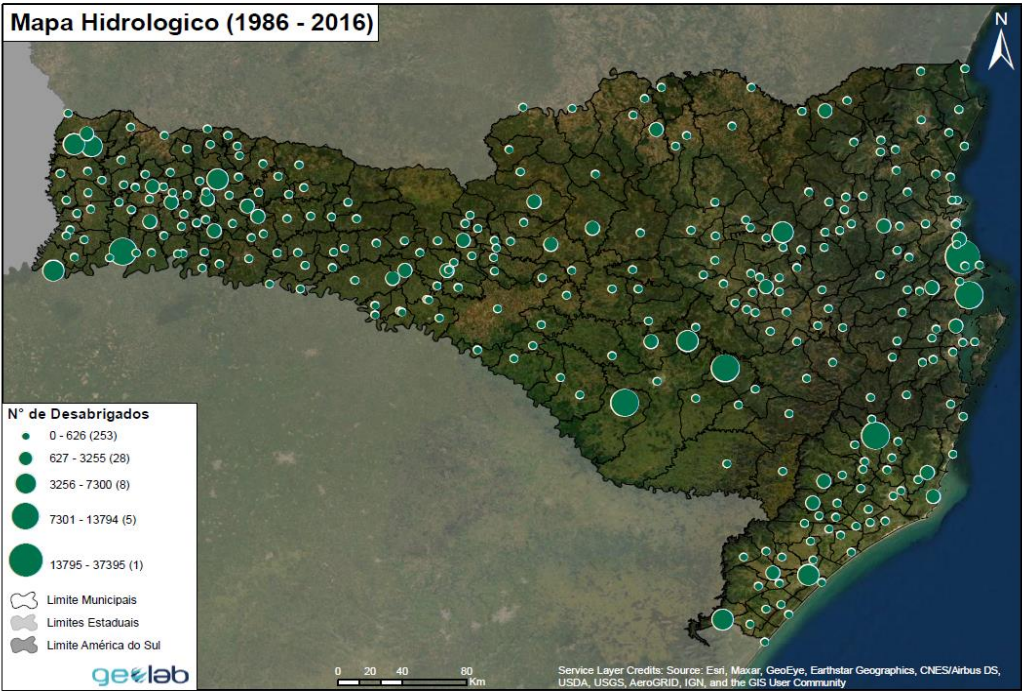
As variáveis antes descritas são agrupadas segundo a natureza do fenômeno que causou as mesmas, ficando como Hidrológico, Meteorológico e Geodinâmico. Para essas variáveis que representam os danos históricos, foram obtidos os Mapas Temáticos II, Figura 21 a Figura 36, segundo disponibilidade dos registros de dados. Na tabela 6 são resumidos os resultados obtidos nos Mapas Temáticos II, visando definir a região / cidade mais suscetível aos danos registrados.

Figura 21 Mapa Hidrológico de Santa Catarina – N° de afetados.



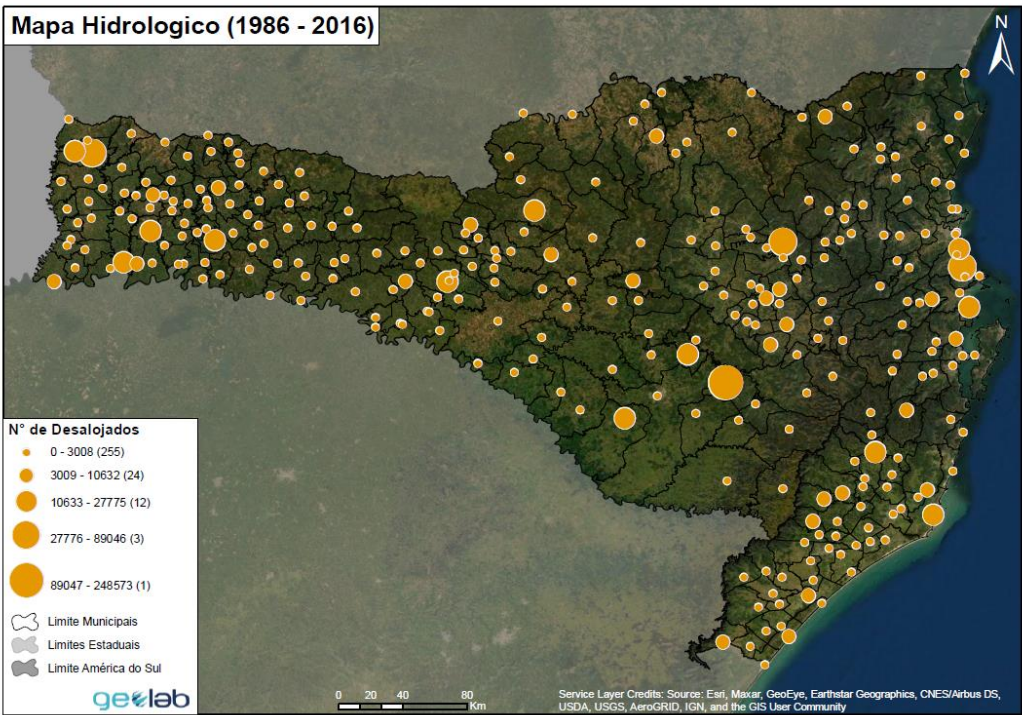
Fonte: Autoria Própria

Figura 22 - Mapa Hidrológico de Santa Catarina – N° de desabrigados.



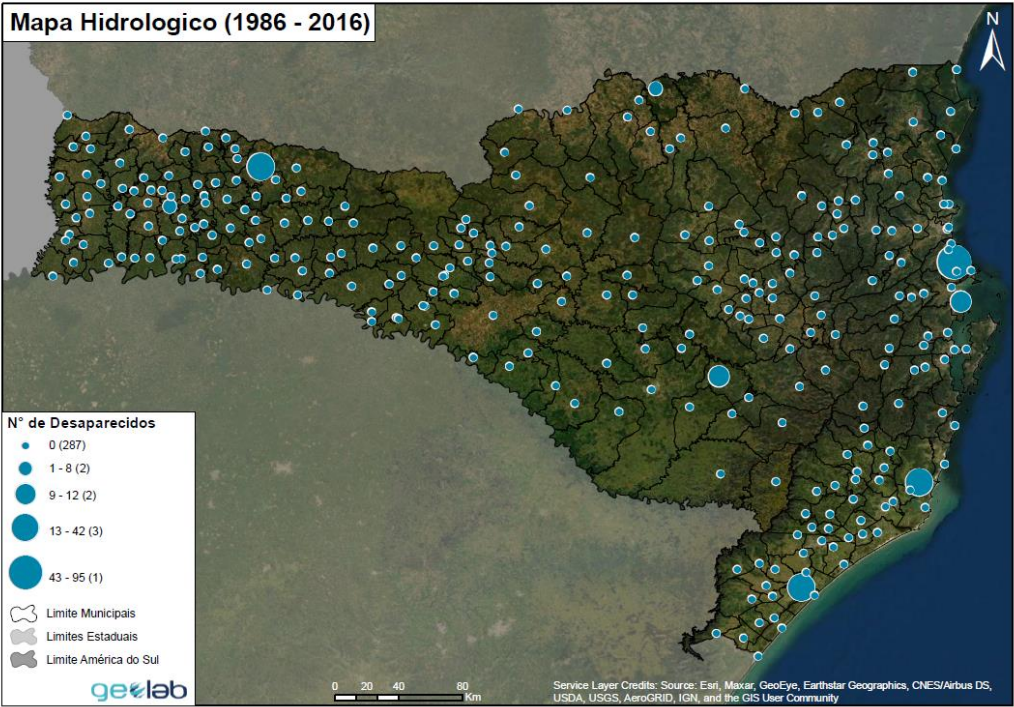
Fonte: Autoria Própria

Figura 23 - Mapa Hidrológico de Santa Catarina – N° de desalojados.



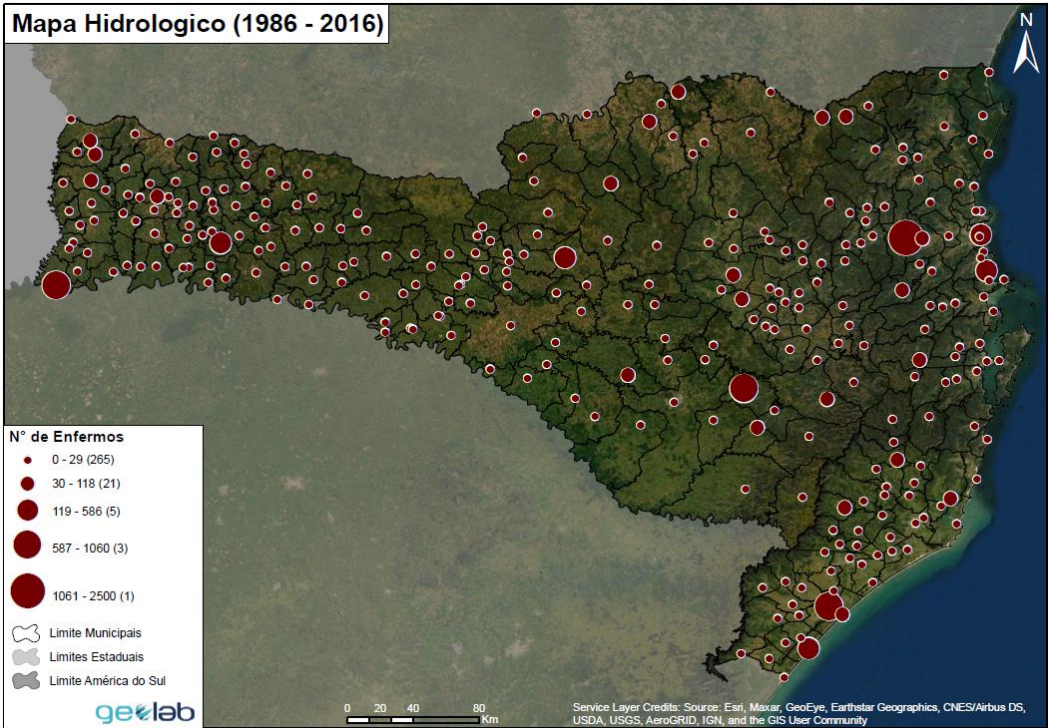
Fonte: Autoria Própria

Figura 24 - Mapa Hidrológico de Santa Catarina – N° de desaparecidos.



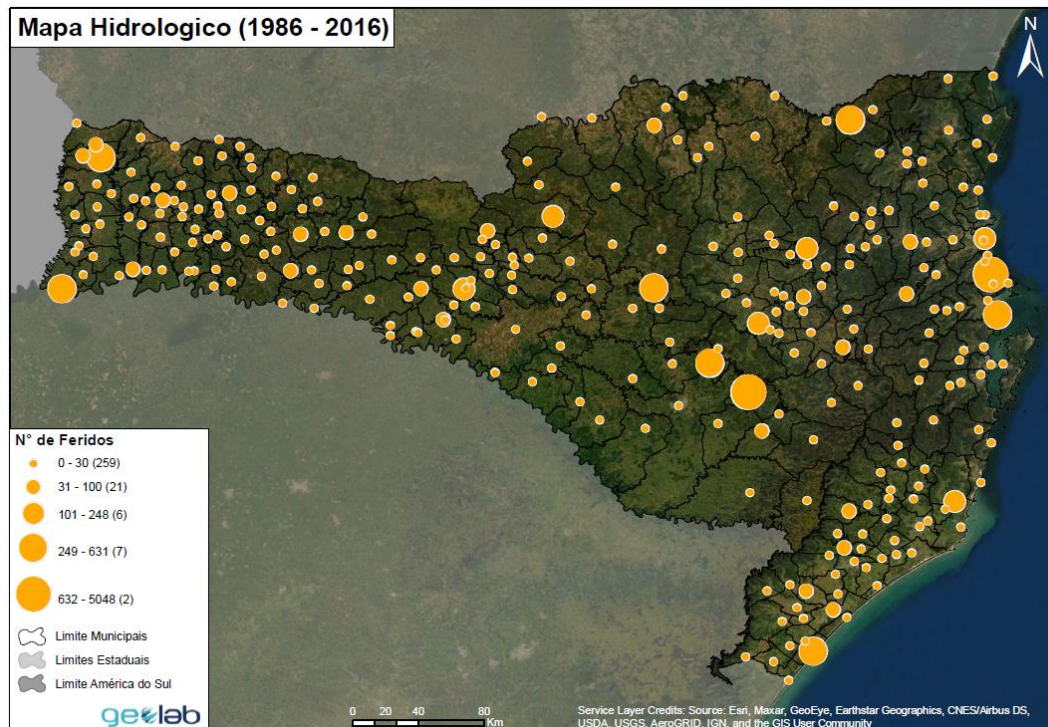
Fonte: Autoria Própria

Figura 25 - Mapa Hidrológico de Santa Catarina – N° de enfermos.



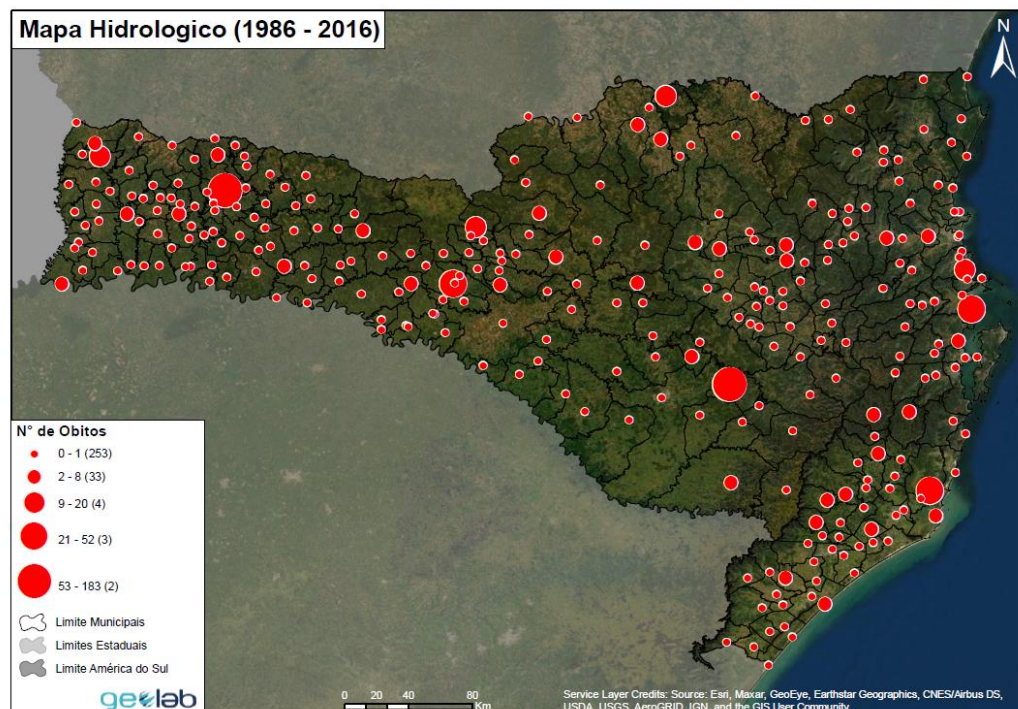
Fonte: Autoria Própria

Figura 26 - Mapa Hidrológico de Santa Catarina – N° de feridos



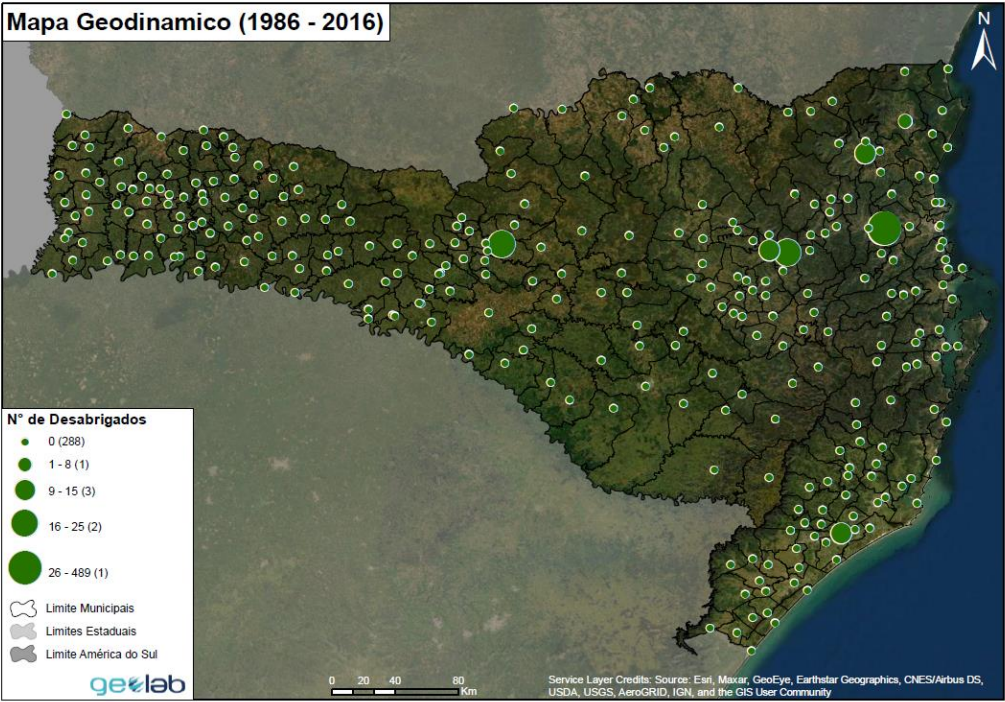
Fonte: Autoria Própria

Figura 27 - Mapa Hidrológico de Santa Catarina – N° de óbitos



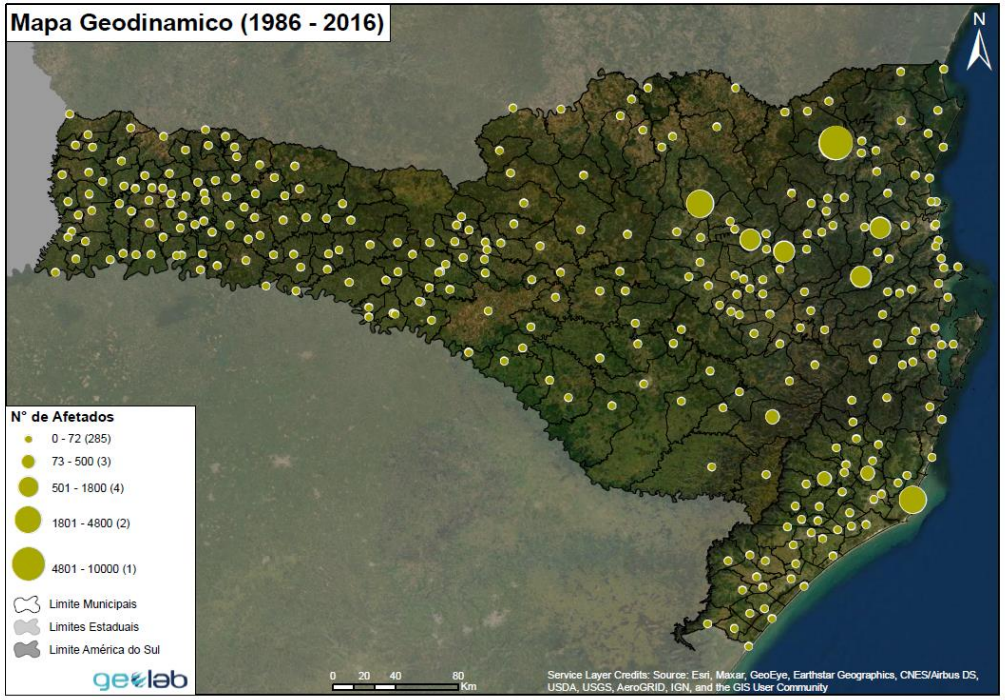
Fonte: Autoria Própria

Figura 28 - Mapa Geodinâmico de Santa Catarina – N° de Desabrigados



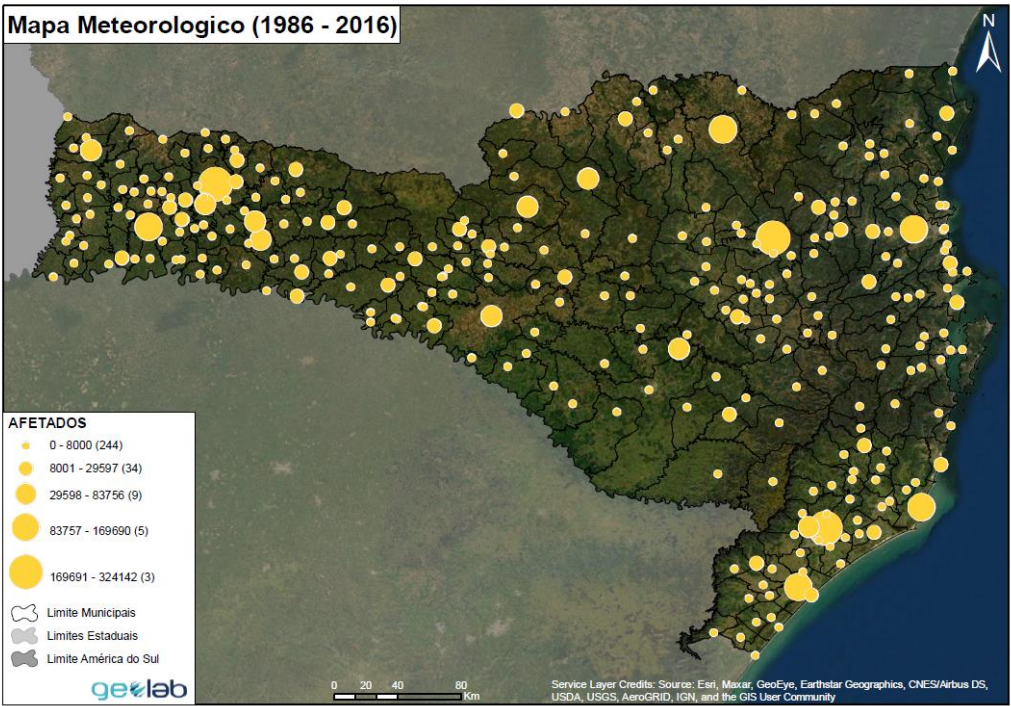
Fonte: Autoria Própria

Figura 29 - Mapa Geodinâmico de Santa Catarina – N° de afetados



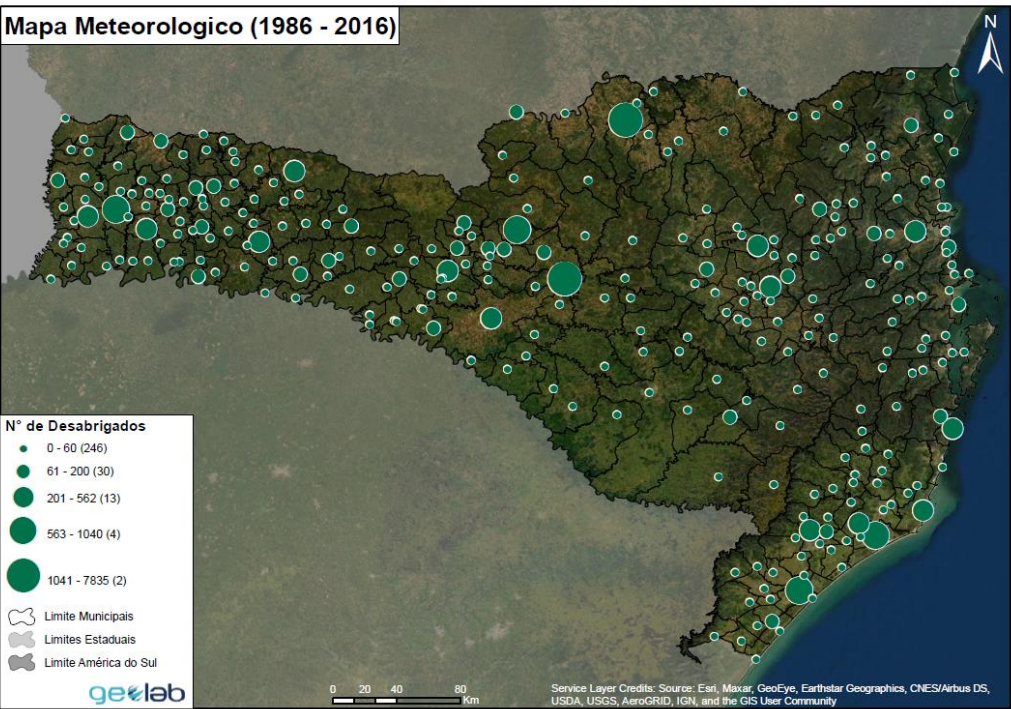
Fonte: Autoria Própria

Figura 30 - Mapa Meteorológico de Santa Catarina – Nº de afetados



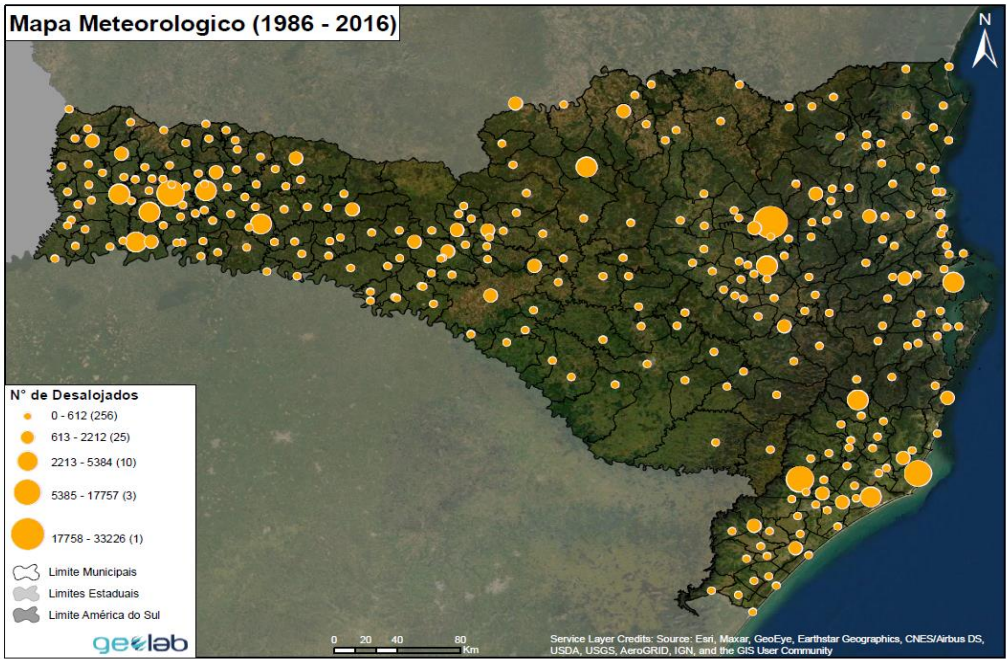
Fonte: Autoria Própria

Figura 31 - Mapa Meteorológico de Santa Catarina – Nº de Desabrigados



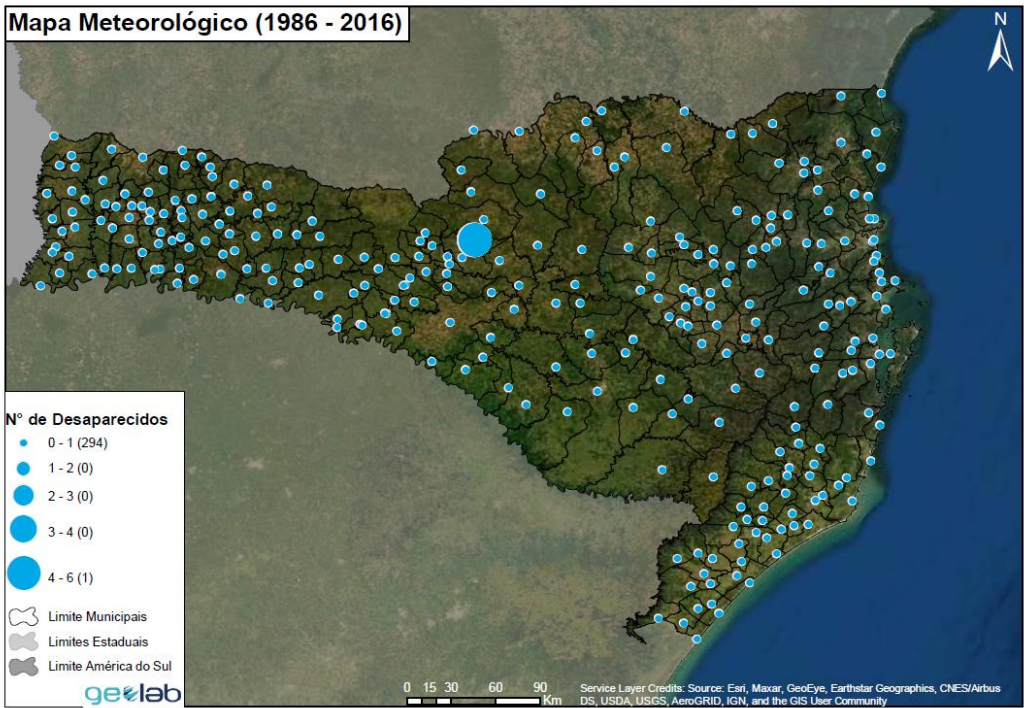
Fonte: Autoria Própria

Figura 32 - Mapa Meteorológico de Santa Catarina – Nº de Desalojados



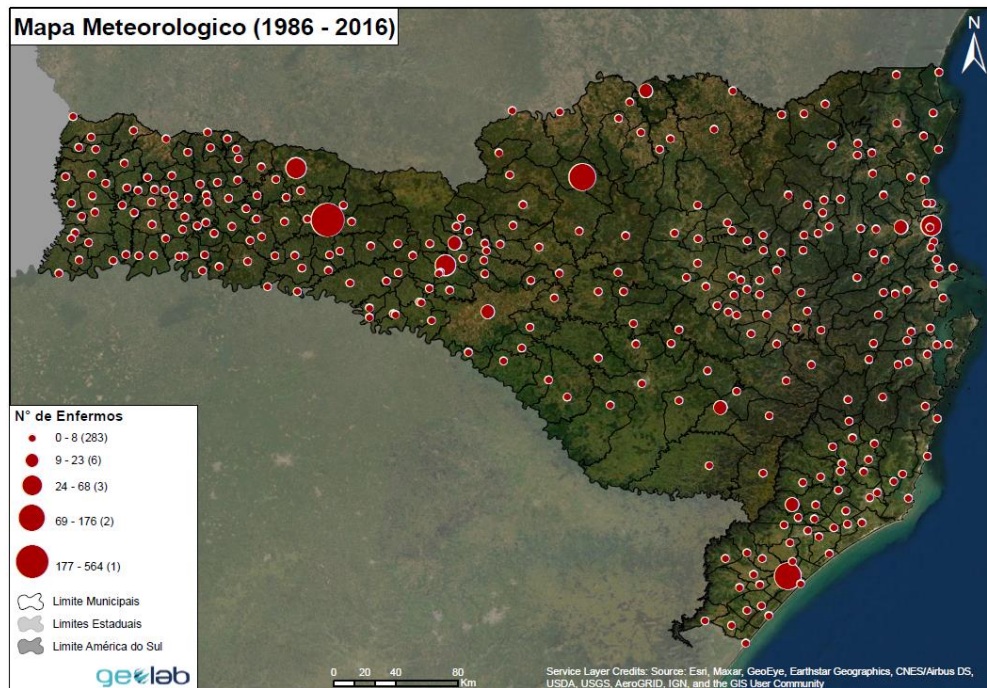
Fonte: Autoria Própria

Figura 33 - Mapa Meteorológico de Santa Catarina – Nº de Desaparecidos



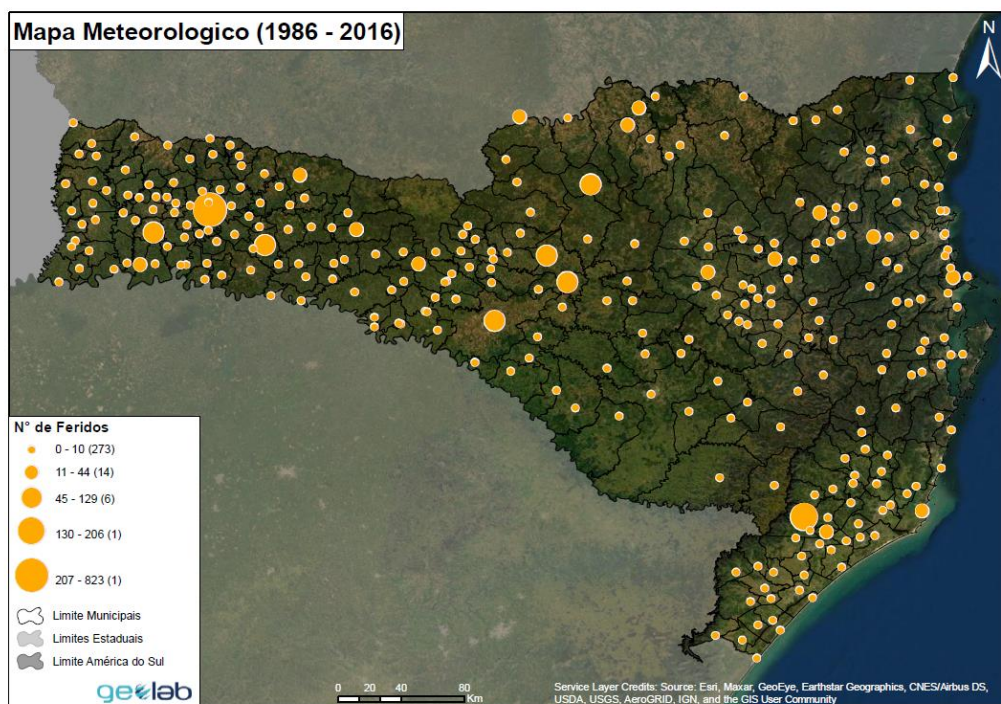
Fonte: Autoria Própria

Figura 34 - Mapa Meteorológico de Santa Catarina – N° de Enfermos



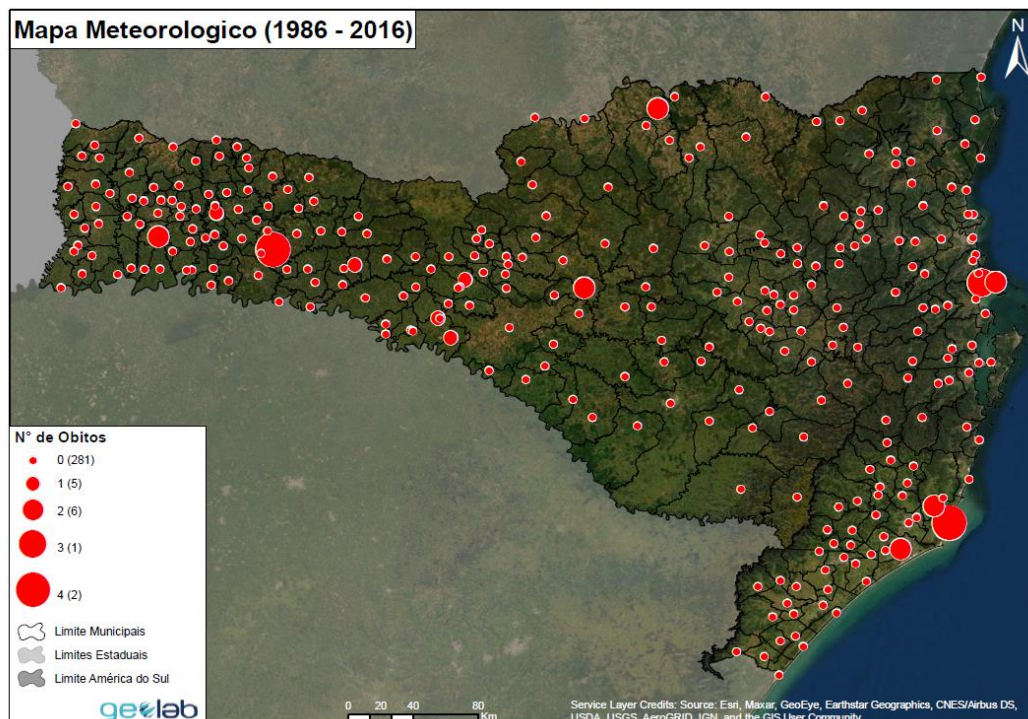
Fonte: Autoria Própria

Figura 35 - Mapa Meteorológico de Santa Catarina – N° de Feridos



Fonte: Autoria Própria

Figura 36 - Mapa Meteorológico de Santa Catarina – Nº de Óbitos



Fonte: Autoria Própria

Tabela 6 - Regiões mais susceptíveis aos Danos Históricos em Santa Catarina, segundo Mapas Temáticos II

Tipo de Mapa	Hidrológico	Geodinâmico	Meteorológico
Afetados	Litoral, Vale do Itajaí, Meio-Oeste e Oeste	Vale do Itajaí	Litoral, Vale do Itajaí, Planalto Serrano, Sul, Meio-Oeste e Oeste
Desabrigados	Vale do Itajaí, Sul e Meio-Oeste	Vale do Itajaí	Litoral, Vale do Itajaí, Planalto Serrano, Sul, Meio-Oeste e Oeste
Desalojados	Vale do Itajaí, Meio-Oeste e Oeste	sem dados	Vale do Itajaí, Sul, Meio-Oeste
Desaparecidos	Litoral e Meio Oeste	sem dados	Planalto Serrano
Enfermos	Vale do Itajaí, Sul e Meio-Oeste	sem dados	Vale do Itajaí, Planalto Norte, Sul e Meio-Oeste
Feridos	Vale do Itajaí, Sul e Oeste	sem dados	Planalto Serrano, Sul e Meio-Oeste
Óbitos	Vale do Itajaí, Sul, Meio-Oeste e Oeste	sem dados	Vale do Itajaí, Sul, Meio-Oeste

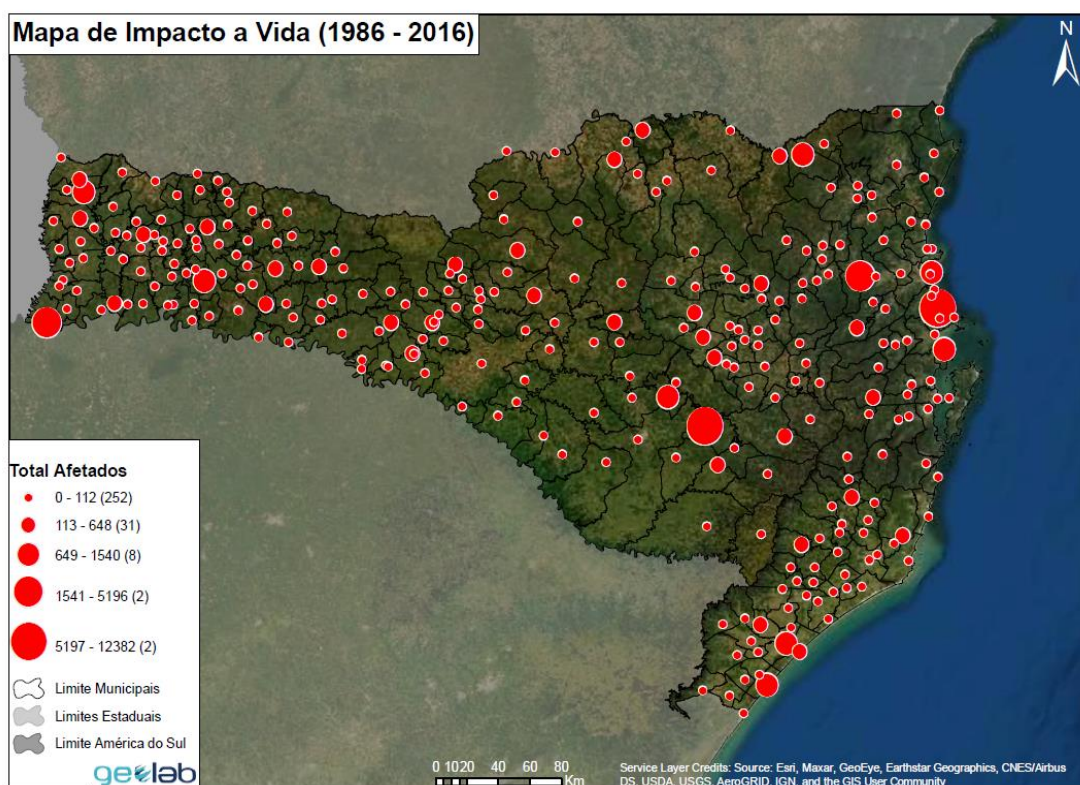
Fonte: Autoria Própria

Com uso da metodologia Álgebra de Mapas, foram obtidos os mapas finais deste trabalho de Tese, Figuras 37, 38 e 39. A partir do cálculo feito em cada um dos mapas, se obteve uma melhor visualização das variáveis para definir a da região / cidade mais suscetível aos danos registrados historicamente em SC.

Na Figura 37 se obteve o Impacto Vida, calculado a partir do resumo de danos antes filtrados e representado nos mapas temáticos.

$$\text{Impacto Vida} = [(5 \times \text{mortos}) + (3 \times \text{enfermos}) + (2 \times \text{feridos})]/10$$

Figura 37 - Mapa Impacto Vida – Total de Afetados.

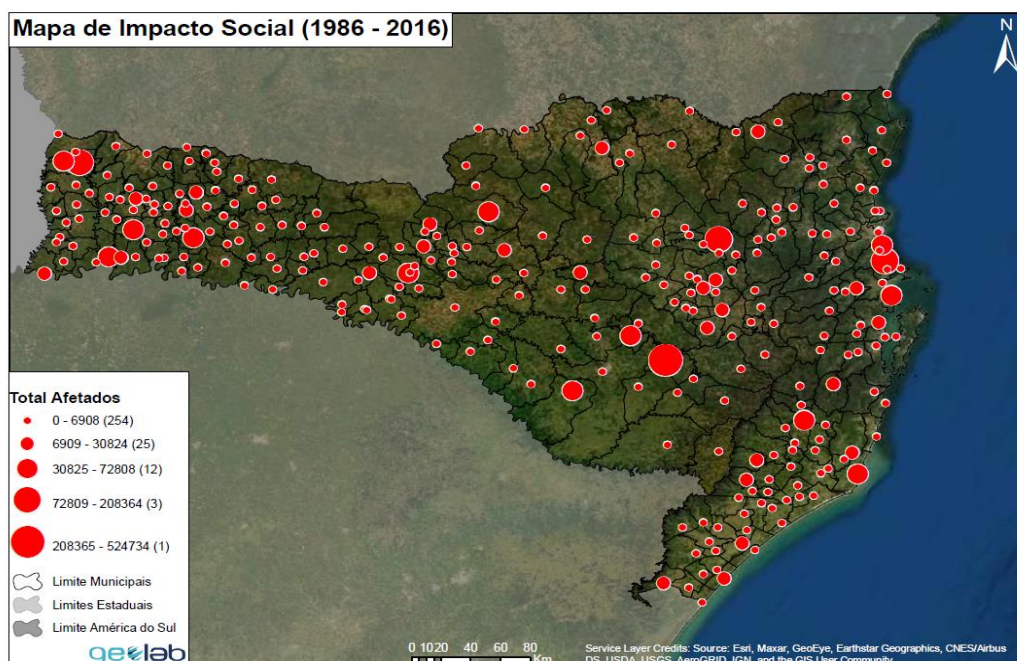


Fonte: Autoria Própria

Na Figura 38 se obteve o Impacto Social, calculado a partir do resumo de danos antes filtrados e representado nos mapas temáticos.

$$\text{Impacto Social} = [(5 \times \text{afetados}) + (3 \times \text{desabrigados}) + (2 \times \text{desalojados})]/10$$

Figura 38 - Mapa de Impacto Social – Total de Afetados.



Fonte: Autoria Própria

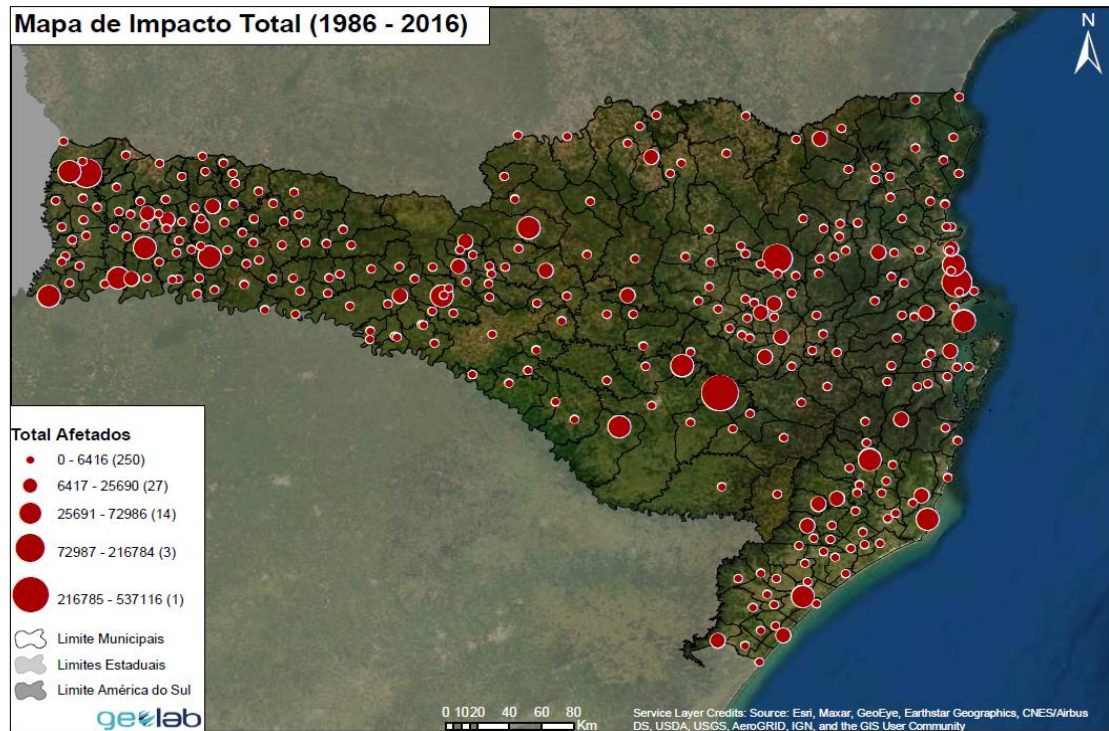
Na Figura 39 se obteve o Impacto Total, calculado a partir da média entre os mapas Impacto Vida e Impacto Social, antes calculados e apresentados.

Como representado na Figura 39, tudo parece indicar que dentro do Meio Oeste e no Vale de Itajaí aconteceram os maiores danos históricos, provocados por eventos extremos de chuva persistente em SC. Dentro do Vale de Itajaí se encontra a cidade de Itajaí, a qual foi escolhida como área piloto, região urbana mais suscetível segundo mapas temáticos I e Mapas Temáticos II antes analisados.

Impacto Total = Impacto Vida + Impacto Social

Classificação: (alta, média, baixa)

Figura 39 - Mapa de Impacto Total – Total de Afetados.



Fonte: Autoria Própria

3.4.4 Representação final em Realidade Aumentada da área urbana mais crítica.

A implementação das metodologias de SIG Spline e Álgebra de mapas trazem como resultado uma metodologia inovadora que permite a representação multiescalar dos fenômenos mapeados, fazendo possível um exercício prático em 3D / Realidade Aumentada para a cidade de Itajaí.

Para este fim a parceria com o GeoLab dá o aporte necessário para o desenvolvimento e representação 3D em programação no ambiente de Realidade Aumentada. Este produto ajudará auxiliando o tomador de decisão em escala local e/ou regional.

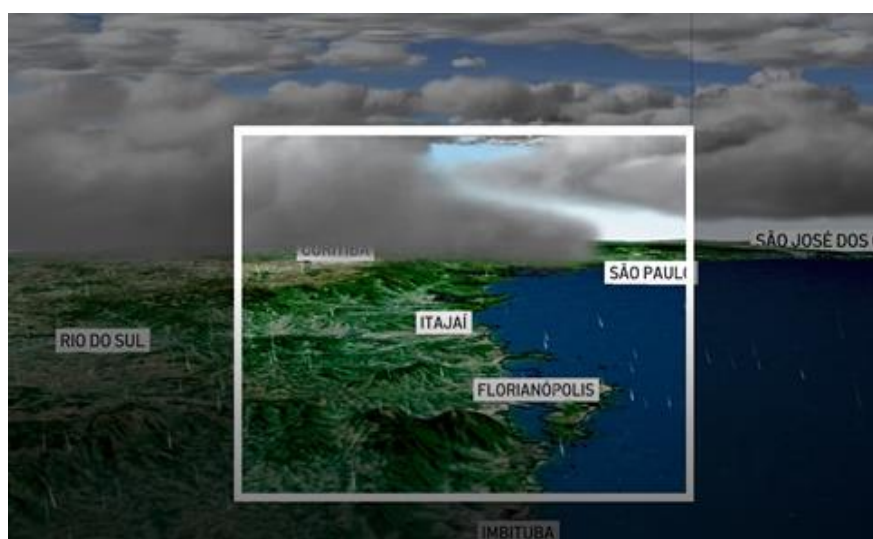
A seguir alguns prints das partes mais importantes no vídeo feito como parte de uma representação prática e simples dos avanços das ciências meteorológicas com uso de Realidade Aumentada, para a cidade de Itajaí, como região mais suscetível aos danos provocados historicamente pelos Fenômenos Meteorológicos causadores dos CCPEA. Vídeo completo disponível no site VIMEO, disponível em: <https://vimeo.com/728475726>.

Figura 40 – Primeira Imagem do ilustrativa Vídeo. Formação de ciclone extratropical e sua frente fria associada sobre Santa Catarina.



Fonte: Autoria Própria

Figura 41 – Segunda Imagem ilustrativa do Vídeo. Incidência das Chuvas Persistentes Extremas e Abrangentes sobre a cidade de Itajaí.



Fonte: Autoria Própria

Figura 42 – Terceira imagem ilustrativa do Vídeo. Início do alagamento associados ao evento meteorológico, relacionado à manutenção das chuvas extremas sobre a cidade de Itajaí.



Fonte: Autoria Própria

Figura 43 – Quarta e última imagem ilustrativa do Vídeo. Aumento dos danos por alagamento, devido à manutenção das chuvas extremas e a posição físico geográfica da cidade Itajaí.



Fonte: Autoria Própria

4 CONCLUSÃO

Os resultados apresentados nesta pesquisa de Tese demonstram que, a maioria dos CCPEA, resumidos na Tabela 4, coincidem com casos de danos históricos provocados pelas chuvas, que pontualmente aconteceram em algumas cidades do litoral catarinense como Itajaí e Florianópolis.

A localização geográfica do estado de SC e os sistemas meteorológicos que mantiveram os casos durante o verão e a primavera dos anos de 1991, 1994, 2001, 2008 e 2011, relevantes pela persistência, abrangência e com numerosos registros de desastres e danos históricos, demonstram que SC se caracteriza como uma região suscetível aos eventos extremos de chuva.

Na época de verão, acontece o maior número de CCPEA, esse resultado coincide com os resultados da pesquisa apresentada por Nunes e Da Silva (2013), porém, estes mesmos autores consideram ainda os casos mais extremos e persistentes no inverno. Vale lembrar que o estudo apresentado nesta pesquisa mostra que a maior persistência em dias e acumulados extremos de chuva ocorrem durante o verão e outono, coincidindo com os resultados evidenciados por Cardoso (2017). Essa diferença de resultados pode estar relacionada a diferentes períodos das bases de dados e metodologias utilizadas pelos autores supracitados.

Da mesma forma que Cardoso (2017) cita no seu trabalho, para este estudo os períodos são referenciados aos eventos persistentes, os quais preferem condições neutras do evento ENOS (Niño ou Niña). Em especial, destacam-se os anos 2008 e 2011 pelos grandes acumulados obtidos na região que abrange o estado de SC, assim como, pelos grandes registros de deslizamentos de terra, perdas econômicas e de vidas humanas que aconteceram. Desta forma, os órgãos de planejamento, gestão territorial e DC, juntamente com os órgãos de estudos climatológicos têm se aproximado para prever tais eventos e mitigar os potenciais danos.

Os 74 CCPEA obtidos neste trabalho, têm preferência de atuação no litoral, ou seja, a faixa leste do estado de SC, com exceção de alguns casos específicos que aconteceram no centro e no meio oeste do estado. Essa preferência dos casos em acontecer com maior predominância no litoral, na porção leste da região de estudo, coincide com os resultados obtidos por Tang et al. (2006); Chen e Zhai (2013); Zhao et al. (2017) e Teixeira e Prieto (2019). Sem dúvidas as unidades geográficas de Antas e Chapecó, que representam o oeste de SC, apresentam uma diminuição enquanto à tendência e número de CCPEA, assim como, de seus acumulados totais de chuva. Destacou-se que nesta região durante o outono dos últimos 31 anos, se concentrou um considerável acumulado total da chuva dos CCPEA, ficando entre 1700 e 2300 mm.

Foi possível obter os padrões sinóticos para os dias em sequência da chuva persistente, com o uso de compostos da PNMM. Bloqueios atmosféricos são os responsáveis pelos grandes períodos de estiagem no oeste catarinense, de igual forma, tudo parece indicar que esses sistemas favorecem a que o JBN persista por vários dias, trazendo um grande fluxo de umidade da Amazônia. Esta situação semi-estacionária, junto à contínua passagem de frentes frias e seu ciclone extratropical associado no Oceano Atlântico, são os elementos causadores dos CCPEA por toda SC.

Considerando o comportamento abrangente dos CCPEA, uma tendência negativa se observa nos municípios pertencentes à região oeste catarinense, porém, no centro-oeste e no litoral norte do estado, verifica-se a ocorrência de uma tendência positiva, acelerada e alarmante na maioria das estações do ano. Essas regiões do centro-oeste e do litoral norte do estado podem ser classificadas como as mais suscetíveis, com danos e perdas que historicamente as chuvas fortes provocam, o qual coincide com as referências de climatologia da região resumidas por Herrmann; Mendonça e Campos (1993); Herrmann, (2001) e Herrmann e Mendonça (2007).

O evento estudado nesse trabalho pode ser considerado como de “alto risco” de dano material e/ou morte, pois as chuvas persistentes extremas e abrangentes ocorrem durante qualquer época do ano e bem distribuídas por todo estado de Santa Catarina, indicando uma tendência positiva na sua intensidade e frequência no litoral do estado.

Os Sistemas de Informação Geográfica, junto aos produtos de imagens e mapas temáticos obtidos de satélites e demais softwares, caracterizam um avanço técnico e científico na hora de representar cartograficamente o uso dos diferentes espaços urbanos, e mais ainda, quando esses espaços são atingidos por diferentes fenômenos naturais.

Foi possível verificar como o mapeamento multiescalar, quando associado a um fenômeno natural que provoca danos na população, atende a diversas demandas da Defesa Civil e órgãos públicos tomadores de decisão. A visualização do fenômeno em diversos níveis de detalhes apoia ao plano de contingência, desde a escala sinótica onde se representam os fenômenos meteorológicos que provocam as chuvas extremas e persistentes, até uma escala regional mostrando a chegada do sistema meteorológico ao Sul do Brasil e finalmente até uma escala local na região / cidade mais suscetível aos danos que provocaram as chuvas persistentes e extremas em SC.

Os mapas temáticos gerados nesta pesquisa demonstram que a região do litoral norte e no meio oeste do estado se configuram como sendo as regiões mais suscetíveis à ocorrência das chuvas persistentes extremas, apresentando os maiores danos historicamente registrados. A implementação da metodologia de SIG Spline junto a Álgebra de Mapas, quando utilizada sobre

dados históricos para representar as regiões que sofrem os efeitos da chuva persistente, extrema e abrangente, resolvem o problema que existe em SC na procura de cidades resilientes com melhores condições para se viver.

O exercício prático apresentado e que demonstra a aplicação do recurso em visualização 3D – pautado na Realidade Aumentada, consegue mostrar de forma lúdica e ao mesmo tempo realística a potência dos fenômenos naturais e de seus impactos sobre determinada área em representação escalar distinta – de modo didático e atrativo para todo tipo de público, especialmente para o leigo. Assim, tem-se no vídeo um exemplo prático da formação de um ciclone extratropical com sua frente fria semi-estacionária e o dano de alagamento associados, como registro histórico na cidade de Itajaí, como cidade mais suscetível às chuvas persistentes, extremas e abrangentes no estado de SC.

Considera-se o uso do recurso de Realidade Aumentada como um processo inovador e altamente recursivo que demanda ser melhor investigado cientificamente e avaliado com maior propriedade o seu potencial como recurso educativo e científico na identificação do fenômeno, simulação de cenários e representação dos efeitos nocivos.

O futuro caminha a passos largos para a utilização de tecnologias que sejam interativas e intuitivas – no qual a relação de imagens reais se mistura naturalmente aos princípios científicos relativo aos comportamentos dos fenômenos meteorológicos e que permita criar uma cultura de resiliência, ou ainda de mitigar efeitos danosos por adoção de outras geotecnologias.

Esta Tese mostrou a potência que a área do conhecimento relacionada a climatologia tem a disposição em relação aos recursos geotecnológicos e a computação gráfica visual de iteração, neste caso representada pela Realidade Aumentada. O desenvolvimento científico aplicado demonstrado nesta pesquisa, caracteriza uma pequena amostra do novo contexto inovador que deve obrigatoriamente ser assumido pela área de conhecimento e que abre as portas para outros trabalhos científicos avancem no sentido de melhor representar o comportamento dos fenômenos, mostrar visualmente e de forma dinâmica as ocorrências e acima de tudo mudar paradigmas de comportamento da sociedade e dos gestores públicos tornando mais seguro as áreas suscetíveis a ocorrência dos fenômenos.

Além da reestruturação e melhor planejamento futuro dos meios urbanos para enfrentar os eventos extremos de chuva, se fazem necessárias ações que contribuam para minimização dos danos materiais e vítimas humanas, a partir de uma campanha persistente voltada à população e tomadores de decisão.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, K. M. **Climatologia e comportamento dos sistemas frontais sobre a América do Sul**. 2005. 185f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais- INPE, São José dos Campos.

AGENCIA Europea de Medio Ambiente. **El cambio climático y el agua: océanos más cálidos, inundaciones y sequías**. 2018. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2018-el-agua-es-vida/articulos/el-cambio-climatico-y-el>. Acesso em 05 fev. 2022.

APRESENTAÇÃO do Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais. 2012-2014. Disponível em: http://www.cprm.gov.br/publique/media/gestao_territorial/plano_nac_risco.pdf. Acesso em: 08 out. 2021.

ARCGIS PRO. **How Spline works**. Disponível em: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/3d-analyst/how-spline-works.htm>. Acesso em: 18 set. 2021.

ARCGIS PRO. **Spline (Spatial Analyst)**. Disponível em: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/spline.htm>. Acesso em: 18 set. 2021.

ARCMAP. **Cómo funciona Spline**. Disponível em: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox/how-spline-works.htm>. Acesso em: 18 set. 2021.

ARCMAP. **Ejecución de herramientas en Álgebra de mapas**. Disponível em: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/extensions/spatial-analyst/map-algebra/executing-tools-in-map-algebra.htm>. Acesso em: 14 set. 2021.

ARCMAP. **¿Qué es el Álgebra de mapas?** Disponível em: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/extensions/spatial-analyst/map-algebra/what-is-map-algebra.htm>. Acesso em: 14 set. 2021.

ARCMAP. **Un recorrido rápido por el uso del Álgebra de mapas**. Disponível em: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.4/extensions/spatial-analyst/map-algebra/a-quick-tour-of-using-map-algebra.htm/executing-tools-in-map-algebra.htm>. Acesso em: 14 set. 2021.

ARCMAP. **Vocabulario esencial sobre Álgebra de mapas**. Disponível em: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/extensions/spatial-analyst/map-algebra/essential-map-algebra-vocabulary.htm>. Acesso em: 14 set. 2021.

BARBIERI, P. R. B. **Caracterização da estação chuvosa nas regiões sul e sudeste do Brasil associado com a circulação**. 2005. 118f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais- INPE., São José dos Campos.

BRASIL, Lei 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de

informações e monitoramento de desastres. Disponível em:
http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112608.htm. Acesso em: 01 fev. 2022.

BRITTO, F.; BARLETTA, R.; MENDOÇA M. Regionalização Sazonal e mensal da precipitação pluvial máxima no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, ISSN 1980-0055X, Associação Brasileira de Climatologia, Presidente Prudente, SP. v. 2, n 2, p. 35-51, 2006.

CACCIOTI, Riccardo. et al. Climate change-induced disasters and cultural heritage: Optimizing management strategies in Central Europe. 2021. **Climate Risk Management**, Volume 32, 2021. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212096321000309?via%3Dihub>. Acesso em: 15 out. 2021.

CADERNO Técnico de Gestão Integrada de Riscos e Desastres. Ministério do Desenvolvimento Regional, Triagem: 1ª ed. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/protecao-e-defesa-civil-sedec>. Acesso em: 15 out. 2021.

CANTOS, Jorge Olcina. Prevención de Riesgos: Cambio Climático, Sequías e Inundaciones. **Panel científico-técnico de seguimiento de la política del agua**. Universidad de Alicante, 2008. Disponível em: <https://fnca.eu/images/documentos/politica/informes/anexo.pdf>. Acesso em: 08 out. 2021.

CARDOSO, C. S. Abrangência e Persistência de Eventos Extremos de Precipitação no Sul do Brasil: El Niño. Oscilação Sul e Padrões Atmosféricos. 2017. 204f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina- UFSC. Florianópolis.

CARDOSO, C. S., CALEARO, D. S. Variabilidade Espaço- Temporal dos Eventos Extremos de precipitação no sul do Brasil: Análise da intensidade e persistência e suas relações com o ENOS, **Cadernos Geográficos (UFSC)**, v. 36, p. 37-48, 2017.

CÂMARA, G.; QUEIROZ, G. R. Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica. **Introdução à ciência da geoinformação**. Cap. 3 Livro Online. INPE. 2001. Disponível em: <http://www.dopi.inpe.br/gilbertolivro/>. Acesso em 20 abr. 2017.

CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS. Disponível em: <https://www.cemaden.gov.br>. Acesso em: 05 jul. 2019.
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES (Florianópolis). **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais de 1991 a 2012**. Volume Santa Catarina. Florianópolis. CEPED- UFSC, 2013. Atlas.

CEPAL. **Climate Change in Central America: Potential Impacts and Public Policy Options**. Santiago, 2018. Disponível em:
https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39150/7/S1800827_en.pdf. Acesso em: 04 nov. 2021.

CEPAL. **Construir un futuro mejor: Acciones para fortalecer la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible**. Santiago, 2021. Disponível em:
<https://repositorio.cepal.org/handle/11362/46682>. Acesso em: 05 fev. 2022.

CEPAL. **Planificación para el desarrollo territorial sostenible en América Latina y el Caribe**. Santiago, 2019. Disponível em: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44731/1/S1900439_es.pdf. Acesso em: 04 nov. 2021.

CHEN, Yun-Ju. et al. Assessment of Flood Risk Map under Climate Change RCP8.5 Scenarios in Taiwan. **Water**, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/14/2/207>. Acesso em: 08 out. 2021.

CHEN, Y.; ZHAI, P. Persistent extreme precipitation events in China during 1951-2010. **Climate Research**, v. 57, p. 143-155, 2013.

CLIMANÁLISE. **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, Cachoeira Paulista, SP, INPE/CPTEC, v. 16, n. 10, p. 3-27, 2001.

CLIMANÁLISE. **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, Cachoeira Paulista, SP, INPE/CPTEC, v 21, n.1, p. 11-24, 2006.

COMPAGNUCCI, R.; ARANEO, D.; CANZIANI, P. Principal sequence pattern analysis: A new approach to classifying the evolution of atmospheric systems., **International Journal of Climatology**, v 21, p. 197-217, 2001.

COMPAGNUCCI, R. H.; RICHMAN, M. B. Can principal component analysis provide atmospheric circulation or teleconnection patterns? **International Journal of Climatology**, v. 28, n. 6, p. 703-726, 2008.

CONSTRUIR un futuro resiliente con respecto al clima. **Nueva Estrategia de la UE sobre adaptación al cambio climático**. Comisión Europea - Comunicado de prensa, Bruxelas, 24 fev. 2021. Disponível em: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/ip_21_663. Acesso em: 14 out. 2021.

COSTA, Manoel Augusto. **Distribuição Espacial da População do Brasil**. Fundação IBGE. N 2. Rio de Janeiro: 1969, 44 p.

DEFESA Civil de SC. Disponível em: www.defesacivil.sc.gov.br. Acesso em: 25 out. 2014.

DEFESA Civil Nacional. Disponível em: <http://www.rladr.mi.gov.br/defesacivil>. Acesso em 09 abr. 2022.

EMPRESA de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina - CIRAM. **Avisos Meteorológicos**. Disponível em: http://ciram.epagri.sc.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=141&Itemid. Acesso em: 09 abr. 2022.

ESCOBAR, G. C. J. Padrões sinóticos associados a ondas de frio na cidade de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v22, n2, p. 241-254, 2007.

ESCOBAR, G. C. J. Padrões de circulação em superfície e em 500 hPa na América do Sul e eventos de anomalias positivas de precipitação no estado de Minas Gerais durante o mês de dezembro de 2011, **Revista Brasileira de Meteorologia**, v29, n1, p. 105-124, 2014.

ESCOBAR, G. C. J. **NOTA TÉCNICA Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS): critério de detecção para uso em centros operacionais de previsão de tempo.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Disponível em: <http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/3SGMUDP..> Acesso em: 10 jun. 2019.

FANTÁSTICO, mostra como o Brasil e o mundo estão se preparando para a nova realidade do Clima. **Fantástico.** Rio de Janeiro: Globo, 14 de abril de 2019. Programa de TV.

FBDS. **Mudanças Climáticas e Eventos Extremos no Brasil.** Disponível em: http://www.fbds.org.br/cop15/FBDS_MudancasClimaticas.pdf. Acesso em: 05 fev. 2022.

FEIZIZADEH B., ROODPOSHTI M. S. B, JANKOWSKI P., BLASCHKE T. A GIS-based extended fuzzy multi-criteria evaluation for landslide susceptibility mapping. **Computers&Geosciences**, V. 73, p. 208–221, 2014.

FERNANDES, L. G.; RODRIGUES R. Changes in the patterns of extreme rainfall events in Southern. Brazil. **International Journal of Climatology.** Online in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com) DOI: 10.1002/joc.5248, 2017.

FERREIRA, Patricia Silva; SILVA, Aparecido Charlei. **O método AHP e a Álgebra de Mapas para determinar a fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Brilhante (Mato Grosso do Sul / Brasil), proposições para a gestão do território.** Confins: Revista Franco-Brasileira de Geografia, n. 46, 2020.

FIALOVÁ, Dana; ŠNEJDOVÁ, Ludmila. **Heavy rain risk reduction by regional planning instrument.** Rainman, 2020. Disponível em: <https://www.interreg-central.eu/Content.Node/Home/Projects/RAINMAN/Main-Project-outputs-/T2.2.3-Heavy-Rain-Risk-Reduction-by-Regional-Planning-Instru.pdf>. Acesso em: 08 out. 2021.

FREITAS, Carlos Machado de; et al. **Mudanças Climáticas, Redução de Riscos de Desastres e Emergências em Saúde Pública nos níveis Global e Nacional.** Prospecção Estratégica do Sistema de Saúde Brasileiro, 2019. Disponível em: <https://saudeamanha.fiocruz.br/wp-content/uploads/2020/02/FREITAS-CARLOS-et-al-Mudan%C3%A7as-clim%C3%A1ticas-redu%C3%A7%C3%A3o-de-riscos-de-desastres-e-emerg%C3%Aancias-em-sa%C3%BAdade-p%C3%BAblica.pdf>. Acesso em: 20 out. 2021.

FREITAS, C. M. J.; OLIVEIRA, F. H. **Estiagem no Oeste Catarinense. Diagnóstico e Resiliência.** Florianópolis: Relatório Técnico-Científico, Secretaria de Estado da Defesa Civil de Santa Catarina. Editora UDESC, 2018.

GEREMIAS, R. **Análise do Ritmo Pluviométrico do Litoral Catarinense.** 1997. 33 f. Relatório de Pesquisa. Centro Integrado de Meteorologia e Recursos Hídricos de Santa Catarina. Florianópolis.

GOERL, R.F.; KOBIYAMA, M.; PELLERIN, J.R.G.M. Proposta metodológica para mapeamento de áreas de risco a inundação: Estudo de caso do município de Rio Negrinho - SC. **Boletim de Geografia (UEM)**, v.30, n.1, p.81-100, 2012.

GONÇALVES, J. P. C. **Caracterização e variabilidade de situações sinóticas associadas a episódios de chuva intensa e chuva persistente durante a estação chuvosa na região**

sudeste do Brasil. 2015. 139f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais- INPE, São José dos Campos.

GOUVEIA, Gabriel Gera de. et al. Adoção Da Territorialização Por Bacias Hidrográficas Na Gestão Dos Riscos Hidrológicos: As Experiências Nas Bacias Do Aricanduva, Jacu E Itaquera, Na Zona Leste Do Município De São Paulo. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental**, vol. 7, 2017.

GOVERNO de Santa Catarina, Disponível em: <https://www.sc.gov.br/conhecasc/geografia>. Acesso em 20 ago. 2021.

GRIMM, A. M. Clima da Região Sul do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; JUSTI DA SILVA, M. G. A.; SILVA DIAS, M. A. F. **Tempo e clima no Brasil**. SP.: Ed. Oficina de Textos, 2009. p. 259-274.

GRIMM, A. M.; BARROS, V. R.; DOYLE, M. E. Climate variability in southern South America associated with El-Niño and La-Niña events. **Journal of Climate**, v.13, p.35-58, 2000.

HERRMANN, M. L. P. Levantamento dos Desastres Naturais causados pelas adversidades Climáticas no Estado de Santa Catarina de 1980 a 2000. In: **Imprensa Oficial do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis, p 1- 89,2001.

HERRMANN, M. L. P.; MENDONÇA M. Desvios Climáticos e os Desastres Naturais no Estado de Santa Catarina-BR durante o Período 1980 a 2004. In: **Revista Intergeo. Iterações no Espaço Geográfico**. Ano 5, n. 5, p. 62-85, 2007.

HERRMANN, M. L. P.; MENDONÇA, M.; CAMPOS, J. N. São José- SC: Avaliação das enchentes e deslizamentos ocorridos em novembro de 1991 e fevereiro de 1994. In : **Geosul**, Ano 8, n16, p. 46- 78, 1993.

INSTITUTO Brasileiro De Geografia E Estatística - IBGE. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 25 jul. 2019.

INSTITUTO Nacional de Pesquisas Espaciais. **Banco de Dados de Imagens**. Disponível em: <http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes.formulario.logic>. Acesso em 09 abr. 2022.

INUNDACIONES y cambio climático. **Estudios y experiencias a nivel europeo en el primer ciclo de la Directiva de Inundaciones**. Ministerio para la Transición Ecológica, Madrid, 2018, 105 p.

KIM, Jongsung; et al. Determining the Risk Level of Heavy Rain Damage by Region in South Korea. **Water**. Volume 14, Issue 2, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/14/2/219/htm>. Acesso em 18 out. 2021.

LAI, Chun-Hsien. et al. Risk Perception and Adaptation of Climate Change: An Assessment of Community Resilience in Rural Taiwan. **Sustainability**, vol. 13, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/7/3651>. Acesso em: 04 nov. 2021.

LIMA, K. C.; SATYAMURTY, P.; FERNÁNDEZ, J. P. R. Large-scale atmosphere conditions associated with heavy rainfall episodes in southeast Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v.101, p.121-135, 2010.

LUCAS, Taíza P. B.; PLEC, Denis; ABREU, Magda. L.; PARIZZI, Maria Giovanna. Identificação de Interpoladores adequados a dados de chuva a partir de parâmetros estatísticos. **Revista Brasileira de Climatologia**, Ano 9 – Vol. 13 – jul./dez. 2013.

MAPAS Municipais Risco. Disponível em <http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Prevencao-de-Desastres-Naturais/Produtos-por-Estado---Setorizacao-de-Risco-Geologico-5390.html>. Acesso em: 05 ago. 2019.

MAPAS Nacionais de Risco. **Serviço Geológico do Brasil – CPRM**. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Prevencao-de-Desastres-Naturais/Produtos-por-Estado---Setorizacao-de-Risco-Geologico-5390.html>. Acesso em 09 abr. 2022.

MARCELINO, E.V.; NUNES, L.H.; KOBIYAMA, M. Mapeamento de risco de desastres naturais do estado de Santa Catarina. **Caminhos da Geografia (UFU)**, Uberlândia, v.7, n.17, p 72-84, 2006.

MARCO De Sendai Para A Redução Do Risco De Desastres 2015- 2030. Aprovado em 31/05/2015, Disponível em: https://www.unisdr.org/files/43291_63575sendaiframeworkportunofficialf.pdf. Acesso em 20/08/2019.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; VALVERDE, M. C.; ROCHA, R. P.; LABORBE, R. **Eventos extremos em cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o século XXI**: Projeções de clima futuro usando três modelos regionais. Relatório 5. MMA/SBF/DCBio, Brasília. 2007.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. “O direito à cidade”. Disponível em <http://www.cidades.gov.br/ministerio-das-cidades>. Acesso em: 15 mar. 2018.

MINUZZI, R.B.; LOPEZ, F.Z. Variabilidade de índices de chuva nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 30, n. 3, p. 697-706, 2014.

MO, K. C.; BERBERY, E. H. Drought and Persistent Wet Spells Over South America Based on Observations and the U.S. CLIVAR Drought Experiments, **Journal of Climate**, v. 24, p. 1801-1820, 2011.

MONTEIRO, M; SILVA, P. V. Capítulo II. Clima, Estiagem Climática e Meses Secos. In: FREITAS, C. M. J.; OLIVEIRA, F. H. **Estiagem no Oeste Catarinense. Diagnóstico e Resiliência**. Florianópolis: Relatório Técnico-Científico, Secretaria de Estado da Defesa Civil de Santa Catarina. Editora UDESC, 2018, p. 44-77.

MONTEIRO, M; SILVA, P. V. Capítulo 3. Clima. In: **Atlas Geográfico de Santa Catarina. Diversidade da Natureza/ Fascículo 2**. Governo do Estado de Santa Catarina. Secretaria do Estado do Planejamento. Diretoria de Estatística e Cartografia. Editora UDESC, 2014, p. 44-77.

MOURA, C. R. W.; ESCOBAR, G. C. J.; ANDRADE, K. M. Padrões de circulação em superfície e altitude associados a eventos de chuva intensa na região metropolitana do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v28, n3, p. 267-280, 2013.

MULLER, C. R. **Avaliação de suscetibilidade a inundações utilizando geotecnologias para a bacia hidrográfica do rio Cachoeira- Joinville/SC**. 2012. 117 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Territorial e Desenvolvimento Socioambiental). Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC.

NASCIMENTO, M. M.; VITORINO, M. I. Variabilidade da precipitação em tempo e espaço associada à zona de convergência intertropical. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, n.4, p.475-483, 2012.

NORMAIS Climatológicas. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/servicos/normais-climatol%C3%B3gicas>. Acesso em: 09 abr. 2022.

NUNES, A. B.; DA SILVA, G. C. Climatology of extreme rainfall events in eastern and northern Santa Catarina state: present and future climate. **Revista Brasileira de Geofísica (Impresso)**, v.31, p.1-13, 2013.

ONU. **Documento Final de la Cumbre de la Asamblea Mundial de la ONU**. Aprobado em 24/10/2005. Disponível em: <http://www.un.org/spanish/summit2005>. Acesso em 10 mai. 2017.

PERSPECTIVAS do Meio Ambiente no Brasil. **Geo Brasil**. Ministério do Meio Ambiente. Brasília: ed. IBAMA, 2002. Disponível em: <https://www.terrabrasil.org.br/ecotecadigital/pdf/geo-brasil-2002-perspectivas-do-meio-ambiente-no-brasil.pdf>. Acesso em 15 out. 2021.

PRIETO, R.B. **Estudo de Eventos Extremos de Chuva Persistente sobre Rio Grande do Sul entre 2004-2013**. 2016. 76 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Pelotas - UFPEL.

QUADRO, M. L. F. **Estudo de episódios de Zonas de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul**. 1994. 124f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais- INPE. São José dos Campos.

RAO, V. B.; HADA, K. Characteristics of rainfall over Brazil: annual variations and connections with southern oscillation. **Theoretical and Applied Climatology**, v.42, p.81-91, 1990.

RASERA, G.; CAMPOS, R.J. Análise Sazonal das Regiões do Rio Grande do Sul Atingidas por Eventos Severos Gerados por CCM no Período de 2004 a 2008. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, v. 36, n.2, p. 61-69, 2013.

REALIDADE Aumentada - Ciclone Extratropical e danos associados - Santa Catarina, publicado em: 09 jun. 2022. **VIMEO**. Disponível em: <https://vimeo.com/728475726>. Acesso em: 10 jun. 2022.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de Precipitação na América do Sul: Uma Revisão Bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.2, p. 185-204, 2010.

REIS, J.T.; SILVA, J.S.; MICHEL, G.P.; KOBAYAMA, M. Mapeamento da vulnerabilidade a desastres hidrológicos nos municípios de Alto Feliz e São Vendelino/RS como forma de contribuição à engenharia de sedimentos. In: **XI Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos**, João Pessoa, 2014, 17p.

RICHMAN, M. B. Rotation of Principal Components. **Climate and Meteorology Section**, Illinois 61820-7407, U.S.A., 1986.

RIBEIRO, P. V. M., CARDOSO R A. F., CARNEIRO G N. Mapeamento e análise de risco de inundação da bacia do rio Paraíba/AL: Estudo de caso. **Revista Eletrônica Sistemas & Gestão**, v11, n4, pp 431-443. 2016.

RODRIGUES, T. A Estratégia Internacional de Redução de Desastres. **Territorium. Revista da Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança**. V 17, p 223- 227, 2010.

RODRIGUES, M. L. G. **Eventos de Chuva Orográfica em Santa Catarina: Climatologia e Simulações Numéricas**. 2015. 113f. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas Departamento de Ciências Atmosféricas. Universidade de São Paulo, São Paulo.

SAITO, S. M.; DIAS, M. C. A.; ALVALÁ, R. C. S.; STENNER, C.; FRANCO, C. O.; RIBEIRO, J. V. M.; SOUZA, P. A. S., RODRIGO A. S. M. Urban population exposed to risks of landslides, floods and flash floods in Brazil. **Sociedade & Natureza**. Uberlândia, v. 31, 2019.

SANTOS, L. F. M. **SIG e Álgebra de mapas na Elaboração de um Mapa de Potencial de Erosão em Áreas de Silvicultura**. Trabalho de Graduação em Engenharia Civil – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, p. 27. 2011.

SARAIVA, Giselle S.; BONOMO, Robson; Souza, Joabe. Avaliação de interpoladores geoestatísticos e determinísticos da evapotranspiração de referência diária para o estado do Espírito Santo. **Revista Agro@mbiente On-line**, Boa Vista, v. 11, n. 1, p. 21-30, jan./mar. 2017. Disponível em: <https://revista.ufrr.br/agroambiente/article/viewFile/3647/2224>. Acesso em 20 set. 2021.

SATYAMURTY, P.; NOBRE, C. A.; SILVA, P. L. D. South America. In: KAROLY, D. J.; VICENT, D. G. **Meteorology of the Southern Hemisphere**. Ed. American Meteorological Society, 1998. v.27, n. 49, p.119-139.

SERVIÇO METEOROLÓGICO MARINHO DO BRASIL. Disponível em: www.mar.mil.br/dhn/chm/meteo/prev/cartas/cartas.htm. Acesso em: 05 jan. 2016.

SEVERO, D. L. **Estudo de casos de chuvas intensas no estado de Santa Catarina**. 1994. 118f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE, São José dos Campos.

SILVA, Vanessa Cecília Benavides. **Criando Mapa de Susceptibilidade Erosiva no ArcGIS**. ClickGeo, 2020. Disponível em <https://www.clickgeo.com.br/mapa-suscetibilidade-erosiva-arcgis/>. Acesso em 19 set. 2021.

SILVEIRA R. B.; BITENCOURT V. J. B.; ALVES M. P. A.; FRANKE A. E. Distribuição das Chuvas nos Casos de Eventos Extremos no Município de Itapoá/SC. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE REDUÇÃO DE RISCOS DE DESASTRES: “GESTÃO INTEGRADA EM RRD NO BRASIL E O MARCO DE SENDAI”, 1, 2016, Curitiba, *Anais...* Curitiba, Paraná, Brasil, 2016. P. 10- 21.

SISTEMA Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID). Disponível em: <http://s2id.mi.gov.br>. Acesso em 20 ago. 2019.

SOUZA, J. S.; REIS J. T.; MICHEL, G. P. Mapeamento de Vulnerabilidade, Perigo e Risco. In: KOBIYAMA, M.; MICHEL, G. P.; SOUZA, J. S.; REIS, J.R.; MOTA, A.A.; MONTEIRO, L. R. **Mapeamento de Áreas de Risco para Prevenção de Desastres Hidrológicos com Ênfase em Modelagem Hidrogeomorfológica**, Porto Alegre, Brasil 2014, p. 311-312.

TANG, Y.; GAN, J.; ZHAO, L.; GAO, K. On the climatology of persistent heavy rainfall events in China. **Advances in Atmospheric Sciences**, v. 23, p. 678-692, 2006.

TEDESCHI, R. G.; GRIMM, A. M.; CAVALCANTI, I. F. A. Influence of Central and East ENSO on extreme events of precipitation in South America during austral spring and summer. **International Journal of Climatology**, v.35. p. 2045–2064. 2014.

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

TEIXEIRA, M. S. **Caracterização física e dinâmica de episódios de chuvas intensas nas regiões sul e sudeste do Brasil**. 2010. 219f. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais- INPE, São José dos Campos.

TEIXEIRA, M. S.; PRIETO, R.B. Eventos extremos de chuva no estado do Rio Grande do Sul, Brasil, entre 2004 e 2013. Parte 1: definição dos eventos e estatísticas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 2019. No prelo.

TEIXEIRA, M. S.; PRIETO, R.B. Eventos extremos de chuva no estado do Rio Grande do Sul, Brasil, entre 2004 e 2013. Parte 2: características sinóticas dos eventos persistentes. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 2019. No prelo.

TUCCI, C. E. M. **Gestão das inundações urbanas**. **Global Water Partnership**. Edição em arquivo digital. Brasília, 2005.

TUCCI, C. E. M. **Águas urbanas. Estudos Avançados** (USP. Impresso), v. 22. 2008. 97-112 f.

TUTTLE, J. D.; DAVIS, C. A. Corridors of Warm Season Precipitation in the Central United States. **Monthly Weather Review**, v. 134, p. 2297- 2317, 2006.

UNISDR, A Estratégia Internacional para Redução de Desastres da ONU. Reporte Anual 2018. Disponível em: <https://reliefweb.int/report/world/unisdr-annual-report-2018>. Acesso em 15 jul. 2019.

WANG, Jieh-Jiuh. **Flood risk maps to cultural heritage: Measures and process**. Journal of Cultural Heritage, Vol. 16, Issue 2, mar-abr. 2015, p. 210-220. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1296207414000417>. Acesso em: 18 out. 2022.

WILVERT, S. R. **Análise das áreas de risco relacionadas à dinâmica do meio físico na cidade de Antônio Carlos – SC**. 2010. 146 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina- UFSC.

YOUSSEF, A. M.; PRADHAN, B.; SEFRY, S. A.; ABDULLAH, M. A. Use of geological and geomorphological parameters in potential suitability assessment for urban planning development at Wadi Al-Asla basin, Jeddah, Kingdom of Saudi Arabia, **Arabian Journal of Geosciences**, ISSN 8:5617-5630, V 8, p. 5617–5630, 2015.

ZHANG, J.; LI, L.; ZHOU, T.; XIN, X. Evaluation of spring persistent rainfall over East Asia in CMIP3/CMIP5 AGCM simulations. **Advances in Atmospheric Science**, v.30, p. 1587-1600, 2013.

ZHAO, Y.; WANG, D.; LIANG, Z.; XU, J. On the dynamics of the large-scale circulation during persistent severe rainfall events in Southern China. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v. 95, p. 111-125, 2017.

ZHANG, M.; MENG, Z. Impact of synoptic-scale factors on rainfall forecast in different stages of a persistent heavy rainfall in South China. **Journal of Geophysical Research: Atmosphere**, v. 123, p. 3574-3593, 2018.