Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology

OPEN ACCESS

ANÁLISE DA VARIABILIDADE TEMPORAL DE PRECIPITAÇÃO NO ESTADO DE SANTA CATARINA – BRASIL

Analysis of temporal precipitation variability in the State of Santa Catarina - Brazil

Análisis de la variabilidad temporal de la precipitación en el Estado de Santa Catarina - Brasil

André Francisco Pugas
Federal Institute of Santa Catarina
squallafp@hotmail.com

Ariana Pereira Barboza da Silva
Federal Institute of Santa Catarina
arianaveida@gmail.com

Eliseo Breda da Silva
Federal Institute of Santa Catarina
eliseo.breda.silva@gmail.com

Helena Pures Roldão
Federal Institute of Santa Catarina
helena.pures@gmail.com

Mario Francisco Leal de Quadro
Federal Institute of Santa Catarina
mquadro@ifsc.edu.br

Adriano Vitor
Federal Institute of Santa Catarina
adriano.vitor@ifsc.edu.br

Michel Nobre Muza
Federal Institute of Santa Catarina
michel.muza@ifsc.edu.br

Resumo: Os estudos de precipitação são comumente relacionados à geomorfologia e a circulação atmosférica de uma determinada região, principalmente pela instabilidade desses sistemas que são influenciados diretamente pela elevação e/ou inclinação das montanhas e pela sua proximidade com o ambiente litorâneo. Por isso, o objetivo deste trabalho é analisar as anomalias de precipitação que ocorreram no estado de Santa Catarina e encontrar tendências no padrão de chuvas do Estado. Deste modo, foram utilizadas séries históricas que totalizam 15 anos de dados pluviométricos em 24 municípios do Estado. A partir desses dados, foram analisadas as médias móveis para períodos de 50 dias e selecionadas as precipitações relativas ao percentil 95, chegando-se aos 5% dos dias mais chuvosos para cada estação do ano. Após esta análise, obteve-se um resultado de 70% dos casos com tendência descendente, 19% dos casos com tendência ascendente e 11% dos casos sem tendência nos padrões de precipitação nas quatro estações do ano. Os resultados, em geral, demonstraram que há variabilidade espacial e temporal da precipitação no Estado, sendo que na maior parte dos casos, evidenciou-se que, nos dias com maior intensidade de chuvas, o volume de precipitação tem diminuído com o passar dos anos. Todavia, em algumas regiões litorâneas e de altitudes elevadas verificou-se aumento histórico nos índices pluviométricos.

Palavras-chave: Precipitação. Santa Catarina. Anomalias. Tendências.

Abstract: Precipitation studies are commonly related to the geomorphology and atmospheric circulation of a specific region, primarily due to the instability of these systems that are directly influenced by the elevation and/or slope of mountains and their proximity to the coastal environment. Therefore, the objective of this study is to analyze precipitation anomalies that occurred in the state of Santa Catarina and identify trends in the State's rainfall pattern. Thus, historical series totaling 15 years of pluviometric data in 24 municipalities of the State were used. Based on these data, moving averages for 50-day periods were analyzed, and precipitation corresponding to the 95th percentile was selected, representing the 5% rainiest days for each season of the year. After this analysis, a result of 70% of cases with a downward trend, 19% of cases with an upward trend, and 11% of cases without trend in precipitation patterns in the four seasons of the year was obtained. The results, in general, demonstrated spatial and temporal variability in precipitation in the State, with most cases showing that, on days with higher rainfall intensity, precipitation volume has decreased over the years. However, in some coastal and high-altitude regions, a historical increase in pluviometric indices was observed.

Keywords: Precipitation. Santa Catarina. Anomalies. Trends.

Resumen: Los estudios de precipitación suelen estar relacionados con la geomorfología y la circulación atmosférica de una región específica, principalmente debido a la inestabilidad de estos sistemas que son influenciados directamente por la elevación y/o inclinación de las montañas y su proximidad al entorno costero. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es analizar las anomalías de precipitación que ocurrieron en el estado de Santa Catarina y encontrar tendencias en el patrón de lluvias del estado. De este modo, se utilizaron series históricas que totalizan 15 años de datos pluviométricos en 24 municipios del estado. A partir de estos datos, se analizaron las medias móviles para períodos de 50 días y se seleccionaron las precipitaciones correspondientes al percentil 95, llegando al 5% de los días más lluviosos para cada estación del año. Después de este análisis, se obtuvo un resultado del 70% de los casos con tendencia descendente, 19% de los casos con tendencia ascendente y 11% de los casos sin tendencia en los patrones de precipitación en las cuatro estaciones del año. Los resultados, en general, demostraron que hay variabilidad espacial y temporal en la precipitación en el estado, y en la mayoría de los casos se evidenció que, en los días con mayor intensidad de lluvias, el volumen de precipitación ha disminuido con el paso de los años. Sin embargo, en algunas regiones costeras y de altitudes elevadas, se observó un aumento histórico en los índices pluviométricos.

Palabras clave: Precipitación. Santa Catarina. Anomalías. Tendencias.

Submetido em: 01/06/2023
Aceito para publicação em: 14/01/2024
Publicado em: 25/01/2024

1. INTRODUÇÃO

A variabilidade climática é um assunto que vem ganhando destaque no mundo, uma vez que seus efeitos influenciam toda atividade mundial. O impacto do clima é percebido através da variação anômala de elementos climatológicos como radiação, temperatura, pressão atmosférica e evapotranspiração (GOTARDO *et al.*, 2018).

Com as recentes análises da Organização Meteorológica Mundial (OMM) e do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), os resultados atingiram dados alarmantes em relação às mudanças climáticas globais. O último relatório do IPCC, com dados atualizados até o ano de 2021, retrata que o cenário climático do planeta está piorando rapidamente e que medidas para atenuação desses agravantes são de extrema urgência. A Organização Meteorológica Mundial relata que o aquecimento global está progredindo a uma taxa de 2,5°C a 3°C, superando a meta de limitar o aumento a 1,5°C, conforme estabelecido pelo Acordo de Paris, em que foi observado um aumento de 1,1°C na temperatura média global na última década (IPCC, 2021; OMM, 2022).

Com a acentuada mudança na temperatura do planeta, padrões de pressão, vento e sistemas atmosféricos também se alteram, o que pode ocasionar anomalias climáticas em todas as regiões do mundo. Como exemplo, a precipitação que é uma das variáveis climáticas mais importantes e, por isso, os estudos sobre esse contexto é de fundamental importância para que se tenha um planejamento adequado sobre as estruturas urbanas e demais necessidades da população. Nos últimos anos, a frequência de eventos extremos de precipitação vem crescendo, com maior intensidade e duração, favorecendo desastres naturais como as inundações e secas severas em diversas regiões do Brasil (IPCC, 2021; MARENGO *et al*., 2011; OMM, 2022).

Neste contexto, a precipitação influencia o ambiente e seus componentes de diversas maneiras, conforme destacado por Barcellos *et al*. (2020), a exemplo, a falta de chuva por um longo período de tempo, em determinada região, pode causar desequilíbrio de um ecossistema e gerar grandes prejuízos econômicos de uma região. Do mesmo modo, o excesso dela, quer seja pela recorrência reiteradamente, quer seja pelo volume anormal para determinada região, pode ocasionar deterioração do solo, dificuldade de capacidade de drenagem dos meios pluviais e fluviais e, como resultado, gera inundações nos centros

urbanos, e como consequência diversos impactos ambientais e na comunidade urbana, assim como, danos aos patrimônios públicos e privados (PBMC, 2016).

As chuvas em excesso, associado a falta de permeabilidade do solo nos centros urbanos, são as principais causadoras de enchentes, pois os centros urbanos não conseguem suportar o volume e os canais de drenagens transbordam ocasionando diversos problemas. Assim como, quando associado a rios ou regiões de volumosas bacias hidrográficas e próximas aos centros urbanos, podem ocasionar maiores impactos, tendo em vista que, as inundações podem tomar proporções maiores (CEPED, 2016).

Da mesma forma, o estado de Santa Catarina e a região Sul do Brasil, que têm grande parte de sua economia atrelada ao agronegócio, são profundamente influenciados por essas variações climáticas. As características meteorológicas, como a distribuição e intensidade das chuvas, são determinantes para períodos favoráveis ou desfavoráveis na produção agrícola e pecuária. Este cenário enfatiza a relevância do estudo de Cera e Feraz (2015), que aborda a influência do clima nas atividades econômicas primárias da região, destacando a necessidade de estratégias adaptativas para enfrentar tais desafios climáticos.

Por isso, o conhecimento e o monitoramento sobre o padrão de chuvas são de grande relevância para o gerenciamento e desenvolvimento de medidas de contenção, e/ou possíveis soluções para mitigar os possíveis impactos. Neste contexto, o presente estudo objetiva analisar a variabilidade climática e identificar as possíveis tendências temporais de precipitação do Estado de Santa Catarina, a partir da análise dos dados das estações meteorológicas disponíveis na área de estudo, assim como identificar quaisquer anomalias climáticas que ocorreram neste mesmo período.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Sistemas Meteorológicos que afetam o Estado de Santa Catarina

O clima catarinense é influenciado principalmente pela proximidade do anticiclone do Atlântico Sul, conciliado com fatores geomorfológicos que determinam os balanços de calor e de umidade e também fatores locais (VICTORIA *et al.*, 2007). O relevo catarinense é bem diverso, e muito importante na determinação nos padrões de precipitação do Estado mudam de região para região.

Os principais sistemas meteorológicos presentes e que influenciam os eventos meteorológicos extremos, como temporais, vendavais, granizos e enchentes na região sul do Brasil são: **(i) os sistemas de ordem geral de escala sinótica**, como os Sistemas Frontais, os Ciclones Extratropicais (CE), os Jatos de Baixos Níveis (JBN), a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e os Anticiclones Subtropicais do Atlântico Sul (ASAS) e do Pacífico Sul (ASPS); (**ii) seguidos dos sistemas marítimos que afetam a costa**, como as correntes do Brasil e Malvinas; Oscilação do Pacífico Sul (ENOS) e a Oscilação Decadal do Pacífico (Pacific Decadal Oscillation - PDO); **(iii) e os sistemas convectivos de mesoescala**, como a Linha de Instabilidades (LI), Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) e tempestades convectivas (REBOITA *et al.*, 2010; Orlanski (1975).

2.1.1 Sistemas gerais de escala sinótica

Os Sistemas Frontais são compostos por um centro de baixa pressão atmosférica, uma frente fria e uma frente quente. Assim, o sistema se forma a partir do avanço de uma das frentes (fria ou quente) sobre a outra, ou seja, a frente também pode ser definida como uma zona de transição entre o ar quente e frio (REBOITA *et al.*, 2010).

De acordo com Back *et al.* (2012), no verão, a atuação das frentes frias é maior sobre o Oceano Atlântico; no outono adentram mais pelo continente e, no inverno, com o continente mais frio, as massas de ar provenientes de grandes latitudes se tornam mais importantes na distribuição de precipitação na Região Sul. Embora o número médio de incursões mensais seja igual, no inverno, as frentes frias possuem atuação mais continental.

Esse aumento na ocorrência em dias com precipitação intensa pode causar perdas socioeconômicas associadas à ocorrência de enchentes, inundações e deslizamentos de terra. Outra forte influência na precipitação no litoral catarinense são as chamadas “lestadas” que são formadas a partir de sistemas de baixa pressão que permanecem por um período entre horas e dias, a leste do litoral sobre o oceano ocasionando altos índices de pluviosidade (BACK et al., 2012; MONTEIRO, FURTADO, 1995; MONTEIRO, 2001).

Já os Ciclones, segundo Hakin (2003) são sistemas de baixa pressão atmosférica que atuam na regulação de temperatura entre os pólos e o equador, no hemisfério sul, ele se movimenta em sentido horário. No sul do Brasil, os ciclones extratropicais são mais comuns,

pois acontecem em latitudes médias e estão relacionados com massas de origem polar (BJERKNES; SOLBERG, 1922).

Os Jatos de Altos Níveis, são chamados de jato, pois são definidos por uma corrente forte e estreita em um eixo horizontal, o qual é ocasionado pelo cisalhamento do vento na região da troposfera superior com máximas de ventos entre 140 a 300 km/h. Os JAN ainda podem ser caracterizados por subtropicais e polares (Organização Mundial Meteorológica – OMM). E os Jatos de Baixos Níveis, caracterizam-se por ventos verticais na baixa troposfera com velocidades máximas médias acima de 10 m/s (CAMPOS; SANTOS, 2007).

Os JBN são atuantes por todo o globo, mas na região sul do Brasil o Jato é chamado de JBNAS (da América do Sul) e é responsável pelo transporte de umidade da Bacia Amazônica e do Atlântico Tropical para o sul (CAMPOS; SANTOS, 2007). Segundo Marengo e Soares (2002) e Doswell (1991) os Jatos são grandes reguladores do regime de precipitação, pois desestabilizam o sistema da atmosfera na interação com outros sistemas e a topografia local.

A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) é definida por uma banda ou massa estacionária de nebulosidade e precipitação orientada no sentido noroeste-sudeste desde a região Amazônica até o Sudoeste do oceano Atlântico Sul, o qual pode resultar na alteração do regime de chuva da região de atuação (KOUSKY, 1988; QUADRO, 1994; CARVALHO et al., 2004).

A união de diversos sistemas meteorológicos, como o aquecimento diferencial no sistema oceano-atmosfera, os JBNs que transportam umidade da Amazônia para região Sudeste e Sul, a umidade transportada do oceano Atlântico Sul pelo Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), entre outros sistemas, também favorecem a formação da ZCAS.

Já os anticiclones ASAS e ASPS são centros de alta pressão atmosférica que se formam de acordo com a latitude e são originados pela circulação geral atmosférica da Terra. Os anticiclones subtropicais, possuem sua formação perto dos 30° de latitude e se formam a partir da célula de Hadley e são responsáveis por diversas condições de tempo na região sul do Brasil (ITO; AMBRIZZI, 1999).

No Brasil o sistema ASAS é responsável por grande parte das condições de tempo. A posição e direção (deslocamento) deste sistema influencia diretamente o regime de precipitação e de eventos meteorológicos nesta região (REBOITA *et al*., 2010).

Segundo Quadro *et al*. (2012), estabelece que o ASAS também contribui para a umidade nos meses de verão, de maneira menos efetiva quanto a umidade vinda do sistema

amazônico. E em Santa Catarina, o ASAS é o principal responsável pelos ventos no quadrante leste, o qual no entendimento do autor Rodrigues (2011) favorece o padrão de precipitação da região.

2.1.2 Sistemas marinhos

Santa Catarina, já registrou muitos desastres naturais, alguns deles ligados à Circulação Marítima (Lestadas). Segundo Haas (2002) a grande enchente de Tubarão em março de 1974, a enchente de dezembro de 1995 na Grande Florianópolis, corroborado pela enchente de 2008 no litoral Norte e Baixo Vale do Itajaí foram causados pelas chuvas com ventos do quadrante leste.

O efeito da circulação marítima favorece o transporte de umidade do mar para o continente e atuação de vento de leste, que resulta na formação de nuvens baixas e médias nas regiões litorâneas, algumas vezes com chuva associada e sem descarga elétrica. Esta condição de tempo persistente pode variar de algumas horas até uma semana, mas dura em média de 2 a 3 dias e é caracterizada como “Lestada”.

Haas (2012), afirmou que as “Lestadas” são geralmente muito fortes, com nuvens quentes e rasas, de longa duração e moduladas pelo relevo e/ou circulação local quando atingem o continente. A intensidade da chuva é variada, dependendo das condições da circulação marítima e de outros sistemas atmosféricos também atuantes. A orografia da região é determinante para intensificar as condições de chuva associada ao fluxo de ventos provenientes da circulação marítima, ao encontrar os paredões da Serra Geral, a barreira orográfica faz o ar úmido elevar-se, favorecendo precipitação estratiforme a volumosa.

As tempestades, que são originadas a partir de diversos fenômenos meteorológicos, estão entre os eventos que mais causam riscos e impactos significativos à sociedade. Isso inclui precipitação intensa, vendavais e quedas de granizo. Segundo a CEPED/UFSC (2013), às Defesas Civis do Brasil registraram que, no período de 1991 a 2012, 77% das tempestades associadas a vendavais ocorreram na região Sul, afetando mais de 4 milhões de pessoas, direta ou indiretamente. Esses eventos extremos de chuva são frequentemente influenciados por fenômenos de larga escala, como o El Niño e La Niña, que são caracterizados, respectivamente, pelo aquecimento e resfriamento anômalo das águas do Oceano Pacífico Equatorial central e leste.

O ENOS, que combina os efeitos do El Niño e La Niña com o Índice de Oscilação Sul (IOS), pode alterar significativamente os padrões climáticos globais, uma vez que esta variação na pressão ao nível do mar entre o Pacífico Central (Taiti) e o Oeste (Darwin/Austrália) tem um papel fundamental no enfraquecimento ou intensificação dos ventos alísios sobre o Oceano Pacífico Equatorial, impactando assim a frequência e intensidade das tempestades em diversas regiões, incluindo a região Sul do Brasil.

Esta variação anômala dos componentes (El Niño/La Niña e IOS) mostra duas fases opostas do ENOS, que em média tem periodicidade de quatro a sete anos e duração média de doze a dezoito meses (CERRA, FERRAZ, 2015). Devido a ocorrência de uma mudança nas temperaturas, o que gerou anomalias negativas para positivas, em meados da década de 1970, os pesquisadores sugeriram que isto pode estar associado a fenômenos de escala planetária, como o El Niño Oscilação Sul (ENOS) e a Oscilação Decadal do Pacífico (Pacific Decadal Oscillation - PDO). Segundo Minuzzi (2017), a ocorrência do El Niño, Oscilação Sul (ENOS) é vista como agente de anomalias climáticas em várias regiões do globo, principalmente na precipitação.

A costa sudeste do Brasil possui influência da Corrente do Brasil (CB), Corrente das Malvinas (CM) e da sua confluência (Confluência Brasil-Malvinas). A temperatura da superfície do mar (TSM) é um componente fundamental para a compreensão da interação entre atmosfera e o oceano, pois suas trocas definem diferentes gradientes de temperatura que irão influenciar diretamente no clima e principalmente no regime hidrogeológico da região (CATALDI *et al*., 2010).

No trabalho de Cataldi *et al.* (2010) foram obtidos resultados que demonstraram que as anomalias da TSM na região da CBM exerceram um papel importante, porque, após a análise sinótica de vários campos médios simulados e observados, foi identificado que, com a observação das anomalias positivas da TSM na região da CBM, os sistemas de baixa pressão transientes que passam por perto dessa região se intensificam. Como consequência, ocorrem as anomalias de ar ascendentes no Atlântico Sul, que resultam em outra anomalia descendente sobre a Região Sul do Brasil, e assim também resulta no aparecimento de mais uma anomalia ascendente sobre a Região Sudeste e de outra descendente sobre a Região Nordeste.

Por fim, essa alteração no padrão ondulatório da circulação vertical da atmosfera leva a uma diminuição da precipitação na região Sul do Brasil, devido à presença dessa anomalia

de ar subsidente, e a um favorecimento das condições para a formação da ZCAS sobre o norte da Região Sudeste. Todo esse processo de anomalia na estrutura vertical da atmosfera pode variar de acordo com a época do ano, com a intensidade e a persistência das anomalias da TSM, e principalmente, com a presença de forçantes de larga escala ou escala global, como por exemplo, da presença de fenômenos do tipo ENOS.

2.1.3 Sistemas de mesoescala

Os Sistemas Convectivos de Mesoescala - SCM são constituídos por um aglomerado de nuvens convectivas e apresentam área com contínua precipitação que pode ser parcialmente estratiforme e parcialmente convectiva, e são sistemas que possuem formas variadas (HOUZE, 1993; MACHADO & ROSSOW, 1993). Ainda, esses sistemas podem ser classificados como: Linhas de Instabilidade (LI), os que possuem forma de linha, (HOUZE, 1993); Complexos Convectivos de Mesoescala (CCMs), os que apresentam um formato circular (MADDOX, 1980) ou SCM, que representam os de formas irregulares (HOUZE, 1993).

Na região Sul do Brasil, os SCMs são responsáveis por grande parte da precipitação observada na superfície e que consequentemente são importantes para o regime climático da região. Em geral estes sistemas possuem um deslocamento para leste no inverno e de sudoeste a nordeste na estação verão e o tempo médio de vida destes sistemas varia de 6 a 36 horas (ANABOR, 2004).

2.1.4 Relevo e sua relação com a precipitação

A precipitação é um dos elementos meteorológicos que podem exercer maior influência sobre as condições ambientais, apresentando grande variação espacial e temporal (COAN *et al*., 2014). Segundo Gotardo *et al.* (2018), a chuva é uma das formas de precipitação de maior importância dentro do ciclo hidrológico. Todavia a ocorrência, ou a falta dela, está relacionada a fenômenos meteorológicos e climáticos de grande relevância.

Segundo Alves e Silveira (2018) as características do relevo são importantes para a definição climática de uma determinada região, pois relevos com grandes altitudes e com maiores declividades formam uma barreira física para os sistemas atmosféricos. Os autores também destacam que, em relação à ação do relevo, podem-se destacar quatro atributos de

atuação: (i) a posição ou disposição geral do relevo; (ii) a orientação e forma de vertentes; (iii) a declividade e (vi) a altitude.

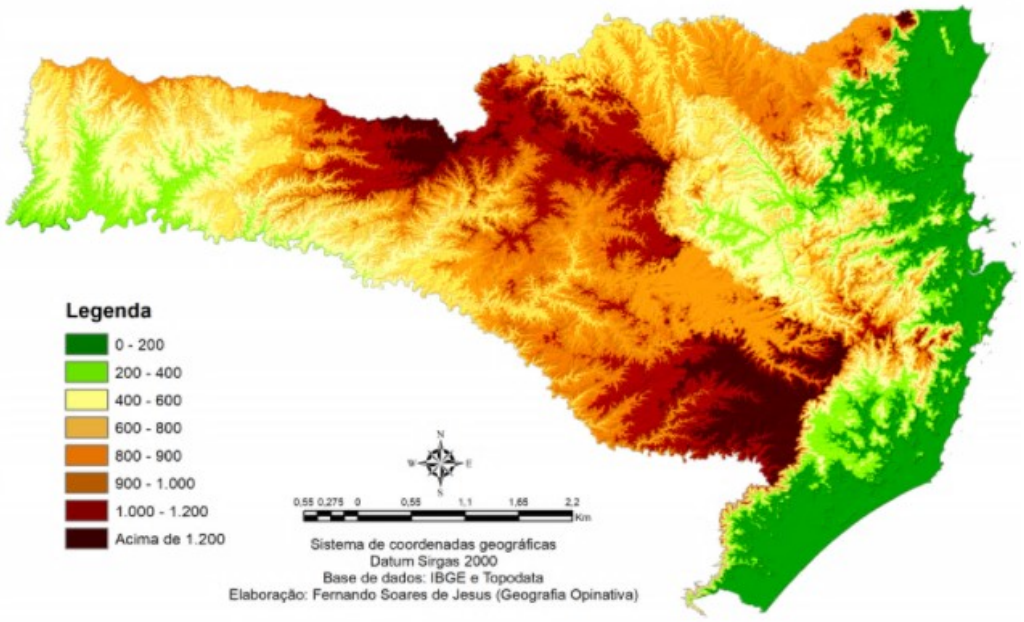
Sobre a região litorânea de Santa Catarina, a intensidade da precipitação está relacionada com a instabilidade do sistema meteorológico gerador das chuvas, além da altura, inclinação das montanhas e intensidade da circulação marítima local (RODRIGUES, 2015). Também segundo Alves e Silveira (2018), a compreensão dos fatores que influem nas precipitações em cidades edificadas sob um relevo acentuado e com grande variação da declividade é um dos aspectos de grande importância, visto que, determinados eventos (como os eventos extremos de chuva) podem, por sua vez, gerar problemas de grande impacto estrutural nas cidades.

Por exemplo, as inundações são um dos principais impactos das chuvas no estado de Santa Catarina. Elas ocorrem nessa região por causa do volume e constância da precipitação, que resulta no aumento nos fluxos dos rios e na incapacidade de absorção pelo solo e pelos sistemas de drenagem urbanos (CEPED, 2016). Quando associadas ao relevo mais acentuado, a água se desloca com mais intensidade, resultando em inundações nos lugares com menores altitudes.

De acordo com Back *et al.* (2012), no Estado de Santa Catarina, a pluviosidade é menor na planície litorânea e os maiores valores de pluviosidade são observados próximos à encosta da Serra Geral. Na estreita área do litoral catarinense o máximo pluviométrico ocorre no verão enquanto o índice mínimo é, na maioria das vezes, registrado no inverno e, secundariamente, no outono. Essas diferenças podem ser devidas à atuação diferenciada das massas de ar na região sul do país, refletindo diretamente na frequência e na intensidade das chuvas.

A Figura 1 mostra o relevo catarinense, que é caracterizado por uma acentuada variação zonal de altitude. No litoral, há predominância de planícies, já na região central do Estado, no planalto, caracteriza-se por elevações acima dos 1.200 metros de altura.

Figura 1 -Caracterização altimétrica a partir do relevo de Santa Catarina.



Fonte: Jesus (2013).

2.1.5 Outras Influências Globais

O aumento do desmatamento na Amazônia nos últimos anos e as alarmantes mudanças na temperatura do planeta e no clima regional e global, podem estar associados aos padrões de declínio nas tendências de precipitação em Santa Catarina, que foram de 70% dos casos estudados.

Diversos estudos mostram que o aumento do desmatamento, tem feito a umidade diminuir na região amazônica, como consequência, a umidade trazida pelos ventos do norte do Brasil até o Sul, é menor. Com base nisso, os padrões de chuva de todo o Brasil são impactados. Todavia, essa tendência não afetará somente o Brasil, o que pode ser confirmado pelos estudos que apontam que essas alterações e consequências climatológicas e ambientais, terão efeitos em escala local e global (DURIEUX *et al*., 2003; D'ALMEIDA *et al*., 2007; DAVIDSON *et al*., 2012; COSTA & PIRES, 2010; IPCC, 2021).

O estudo sobre os efeitos do El Niño e La Niña, em geral, vem sendo frequentemente introduzido como consequência do aumento ou diminuição dos padrões de chuvas do mundo. No sul do Brasil, afeta todo padrão de chuvas e consequentemente o Estado de Santa Catarina, o qual altera a pressão atmosférica e influencia e altera o padrão de ventos, que é responsável por trazer a umidade para região sul do Brasil.

Durante episódios de El Niño, os jatos de altos níveis, como o Jato Subtropical e o Jato Polar, podem ser afetados em sua posição e intensidade. Essas correntes de vento têm um impacto direto na circulação atmosférica regional e podem influenciar o transporte de umidade para o sul do Brasil. Conforme a intensidade desses eventos, os padrões podem alterar drasticamente. Quando o PDO acontece juntamente aos eventos de ENOS, eles intensificam todo esse processo.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A construção da base de dados deste trabalho foi definida a partir dos bancos de dados listados no **item 3.2**, com dados disponíveis que totalizaram até 15 anos de estudo. A partir dos dados pode-se avaliar os padrões de precipitação no estado de Santa Catarina, baseado nos princípios da análise das médias móveis em relação ao percentil 95, para obtenção de possíveis tendências nos padrões de precipitação, utilizando os 5% dos dias com maior volume de precipitação desta série.

Falhas presentes na série foram descartadas sem que houvesse tratamento, de acordo com a abordagem estatística, não é necessário manipular os dados de todo o fenômeno(ou seja, todo o período histórico), basta obter-se uma amostra consistente e as conclusões são projetáveis à população, sem perdas de generalização.

A média móvel é uma das técnicas utilizadas na análise de séries temporais, ou seja, a sequência de dados é observada em intervalo de tempo regular, com o objetivo de suavizar oscilações muito fortes que podem distorcer os resultados. Particularmente no caso de séries históricas de precipitação, onde é comum observar grandes variações, seu uso é benéfico (BACK *et al*, 2017).

Vale ressaltar que o principal objetivo deste estudo é analisar a variabilidade e as tendências da precipitação no estado de Santa Catarina, utilizando dados observacionais que totalizam até 15 anos. Reforçamos veementemente que o foco está na identificação de padrões variáveis e tendências emergentes na precipitação, e não na caracterização climática extensiva da região.

A caracterização climatológica, que geralmente requer um período de análise mais longo, não é o foco principal deste trabalho. Em vez disso, a ênfase é dada à compreensão de

como a precipitação tem variado ao longo do período disponível, com o objetivo de identificar tendências recentes e significativas.

Embora algumas regiões abordadas neste estudo apresentam séries históricas mais curtas, a validade da análise é reforçada pelo uso de técnicas estatísticas consolidadas. A amostragem dos dados de diversas instituições e locais diversos contribui para uma análise mais abrangente e representativa. Apesar das variações na duração das séries históricas, a aplicação de métodos estatísticos consolidados como médias móveis e análise do percentil 95 permite uma avaliação eficaz da variabilidade e das tendências de precipitação. Tais técnicas estatísticas são particularmente benéficas para suavizar oscilações acentuadas e destacar padrões subjacentes, o que é fundamental em séries temporais de precipitação.

Da mesma forma, este estudo se distingue pelo uso exclusivo de dados observacionais, evitando o uso de reanálises ou modelagens climáticas. A escolha de dados reais e observáveis garante uma base concreta para a análise estatística, fornecendo uma visão direta e não mediada dos padrões climáticos. Ao mesmo tempo, o uso de recursos estatísticos metodologicamente validados e robustos garante a confiabilidade e a relevância das conclusões tiradas do estudo.

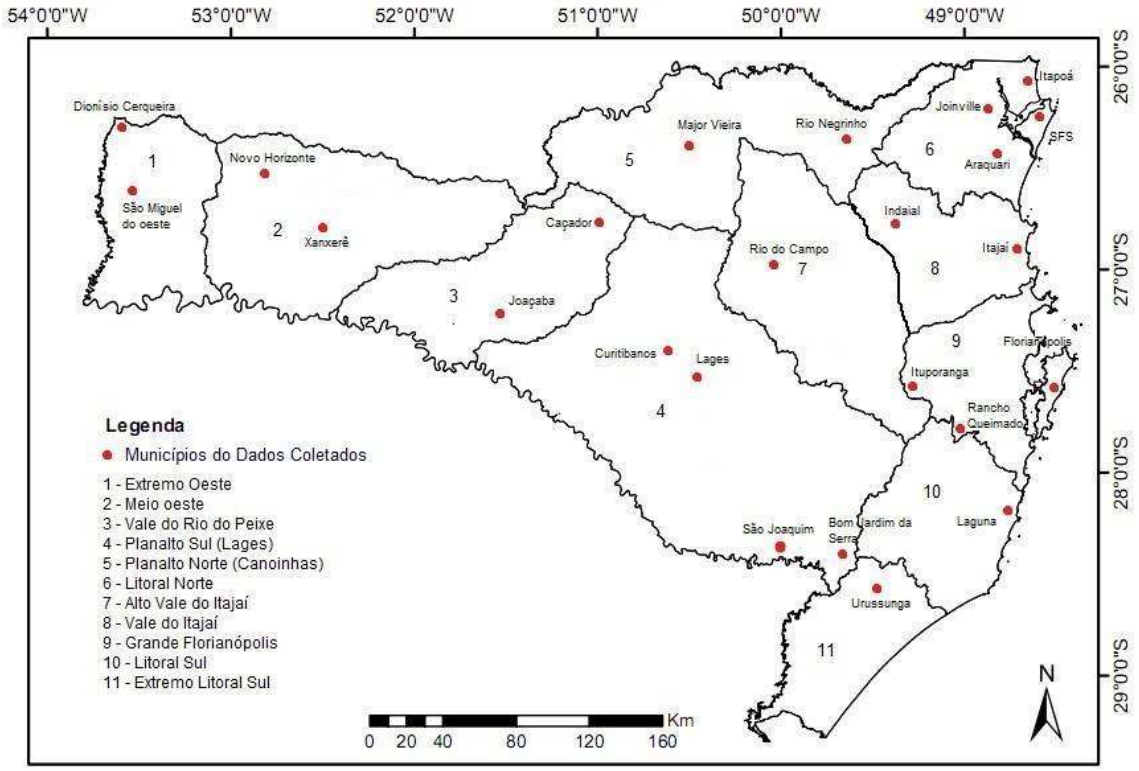
Embora a pesquisa tenha uma forte rigidez estatística-metodológica, é importante indicar as limitações inerentes a este estudo. Uma delas é a dependência dos dados fornecidos pelas instituições de monitoramento, o que implica que a extensão e a integridade das séries históricas estão fora do controle dos pesquisadores. Esta limitação é reconhecida e aceita como parte da natureza do trabalho com dados observacionais e conjecturas propostas por meio de métodos e testes estatísticos.

3.1. Área de estudo

A área de estudo deste trabalho compreendeu as 11 (onze) mesorregiões do Estado catarinense (Figura 2): Extremo Oeste, Meio Oeste, Vale do Rio do Peixe, Planalto Sul (Lages), Planalto Norte (Canoinhas), Litoral Norte, Alto Vale do Itajaí, Vale do Itajaí, Grande Florianópolis, Litoral Sul, Extremo Litoral Sul, de acordo com a divisão meteorológica da Defesa Civil do Estado (2021) e com a divisão do estudo de Back *et al*. (2017).

A partir das mesorregiões, foram selecionadas 24 estações pluviométricas no total e em diferentes municípios. Deste modo, todo o estado de Santa Catarina foi inserido nesta análise. As localizações dos municípios de acordo com suas coordenadas e o período da série temporal para cada estação pluviométrica analisada é mostrada a seguir (Figura 2).

Figura 2 - Localização das 11 mesorregiões do Estado de Santa Catarina e a localização dos 24 municípios referente a coleta de dados das estações pluviométricas (The municipalities are described in Table 1).



Fonte: Alterado pelos autores apud Back *et al*., 2020.

3.2. Coleta de dados

Para a realização deste estudo, foram utilizados dados disponibilizados pelas estações meteorológicas do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), da Agência Nacional de Águas (ANA), do Instituto Nacional de Meteorologia INMET, do Centro Nacional de Monitoramento de Alertas e Desastres Naturais (CEMADEN) e do Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina (EPAGRI/CIRAM). Foram obtidas as séries históricas do ano de 2006 até o ano de 2020, totalizando 15 anos de dados pluviométricos, conforme disponibilidade de dados descritos na tabela 1.

Para obtenção dos resultados deste estudo, foi realizada uma análise que considerou 24 municípios, levando em conta a série temporal de acordo com as estações do ano (primavera, verão, outono e inverno), totalizando assim 96 cenários de tendências. Os períodos de análise correspondem a uma série temporal máxima totalizando 15 anos de dados pluviométricos, dos períodos de 2006 a 2020, conforme disponibilidade dos dados nas respectivas estações, descritos na tabela 1.

Quadro 1- Localização dos 24 municípios das estações meteorológicas e composição do período da série temporal.

MUNICÍPIOS	LONGITUDE	LATITUDE	ALTITUDE (aproximada)	PERÍODO DA SÉRIE HISTÓRICA
Araquari	-48,99°O	-26,35°S	9m	01/07/2007 a 31/12/2020
Caçador	-51,01°O	-26,78°S	920m	01/04/2008 a 30/06/2020
Curitibanos	-50,58°O	-27,27°S	987m	01/03/2008 a 30/06/2020
Dionísio Cerqueira	-53,61°O	-26,19°S	830m	01/06/2008 a 30/06/2008
Florianópolis	-48,82°O	-27,38°S	3m	01/02/2003 a 30/06/2020
Indaial	-49,23°O	-26,34°S	64m	01/08/2006 a 30/06/2020
Itajaí	-48,87°O	-26,33°S	2m	01/07/2010 a 30/06/2020
Itapoá	-48,84°O	-26,30°S	18m	01/07/2007 a 30/06/2020
Ituporanga	-49,61°O	-27,37°S	370m	01/04/2008 a 30/06/2020
Joaçaba	-51,51°O	-27,16°S	522m	01/10/2007 a 30/06/2020
Joinville	-48,79°O	-26,24°S	4m	01/07/2007 a 31/12/2007
Lages	-50,32°O	-27,29°S	916m	01/12/2014 a 30/06/2020
Laguna	-48,60°O	-28,18°S	2m	01/06/2008 a 30/06/2020
Major Vieira	-50,33°O	-26,24°S	786m	01/03/2009 a 30/06/2020
Bom Jardim	-49,63°O	-28,33°S	1245m	01/07/2007 a 30/06/2020
Novo Horizonte	-52,83°O	-26,44°S	710m	01/10/2008 a 30/06/2020
Rio do Campo	-50,13°O	-26,92°S	570m	01/04/2008 a 30/06/2020
Rancho Queimado	-49,01°O	-27,67°S	810m	01/06/2016 a 30/06/2020
Rio Negrinho	-49,52°O	-26,25°S	790m	01/04/2008 a 30/06/2020
São Francisco do Sul	-48,98°O	-26,25°S	1m	01/07/2007 a 31/12/2007
São Joaquim	49,99°O	-28,30°S	1360m	01/05/2008 a 30/06/2020
São Miguel do Oeste	53,51°O	-26,45°S	720m	01/04/2008 a 30/04/2020
Urussanga	49,32°O	-28,51°S	49m	01/06/2008 a 30/04/2020
Xanxerê	52,40°O	-26,86°S	800m	01/04/2008 a 30/04/2020

Fonte: Compilada pelos autores (2023).

3.3. Tratamento e análise dos dados

Os dados coletados foram aplicados com auxílio dos softwares Matlab e Minitab com a funcionalidade que permite o tratamento estatístico adequado. Inicialmente, foram analisadas a partir das séries históricas as médias móveis de precipitação diária, para em seguida, encontrar suas variações e classificá-las em classes de frequência ou recorrência e, por fim, obter a classificação em tendências de precipitação por município/região.

A partir desses resultados, foram identificados os eventos extremos e em seguida os dados foram determinados com base na técnica dos quantis, adotando o percentil 95. Então, foi calculado o percentil 95, para média móvel de 50 dias, chegando-se aos 5% dos dias mais chuvosos para cada estação do ano (verão, inverno, outono e primavera). Para estabelecer as estações do ano foi considerado apenas os meses referentes às tais estações (dezembro a março; junho a setembro; março a junho e setembro a dezembro).

Essas aplicações foram realizadas e desenvolvidas no software MatLab e a estimativa foi baseada apenas nos registros de dias em que a precipitação foi maior que 0.1 mm. Sobre esses dados, foram aplicados o Teste de Mann Kendall (análise de tendências) através do software Minitab, para verificar a tendência das médias móveis dos 5% dos extremos de chuva dentro do período sazonal. Considerou-se para identificação da tendência descendente (p-), o valor menor que 0,05 como hipótese aceitável.

As alterações na precipitação devido às mudanças climáticas têm provocado o crescimento significativo de eventos extremos de secas e de chuvas (COSTA *et al*., 2015), deste modo, é imprescindível a utilização de ferramentas que possibilitem verificar as tendências e/ou variações climatológicas. Segundo Santos e Portela (2007), o teste de Mann-Kendall é um teste não-paramétrico (Mann, 1945; Kendall, 1975), sugerido pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), para avaliação da tendência em séries temporais de dados ambientais.

A estatística do teste se baseia em:

$$S = \sum_{i=2}^{n} \sum_{j=1}^{i-1} sign\,(\times_i - \times_j)$$

Em que: **xj** são os dados estimados da sequência de valores, n e o comprimento da série temporal e o sinal (xi - xj) e igual a -1 para (xi - xj) < 0, 0 para (xi - xj) = 0, e 1 para (xi - xj)

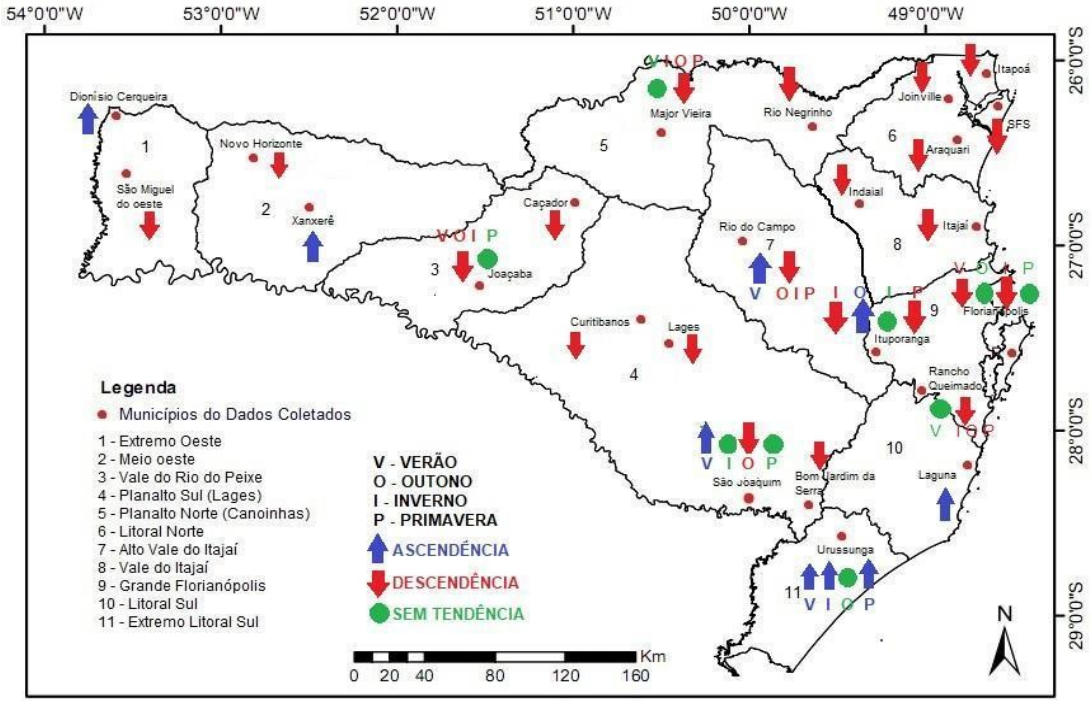
> 0. O teste de Mann-Kendall é um teste normalmente utilizado para avaliar tendência de séries temporais de dados ambientais com bastante eficiência.

Segundo Salviano *et al.* (2016), o método baseia-se em rejeitar ou não a hipótese nula (H0), de que não exista tendência na série de dados, adotando-se um nível de significância (α). De acordo com esse teste bilateral, considerou-se um nível de significância (α) de 5%, ou seja, rejeitou-se a hipótese de ausência de tendência quando o valor-p foi inferior ao nível α. Portanto, o nível de significância pode ser interpretado como a probabilidade de cometer-se o erro de rejeitar a H0 quando esta for verdadeira.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir do levantamento, foram obtidos os seguintes resultados nos padrões de precipitação nas quatro estações do ano: em 70% dos casos foi verificada tendência descendente (67 casos), em 19% dos casos foi verificada tendência ascendente (18 casos) e em 11% dos casos não foi verificada nenhuma tendência (11 casos), conforme visualizado na Figura 3.

Figura 3 -Resultado do padrão de tendências das 24 estações meteorológicas das 11 mesorregiões no período da série temporal analisada. *Nas setas que não possuem informação de estação, representa que todas as estações obtiveram o mesmo padrão.



Fonte: Compilado pelos autores (2023).

Através dos resultados obtidos pelo teste de Mann-Kendall a maioria dos municípios analisados apresentam tendências significativas, sendo predominante (70%) a **tendência descendente**, ou seja, nos 5% dos dias em que mais chove, a tendência é chover cada vez menos. No Quadro 2, por exemplo, podemos visualizar os resultados obtidos de tendência de precipitação nos dias mais chuvosos por estações do ano, para cada uma das 11 mesorregiões analisadas, a partir da média móvel de 50 dias de precipitação, com a utilização do percentil de 95%.

Quadro 2- Tendência de extremos de chuva por estação do ano. * Nulo (100%) é quando há tendência de aumento e declínio.

Classificação	Mesorregiões	Verão	Outono	Inverno	Primavera
1	**Extremo Oeste**	Nulo (100%)*	Nulo (100%)*	Nulo (100%)*	Nulo (100%)*
2	**Meio Oeste**	Nulo (100%)*	Nulo (100%)*	Nulo (100%)*	Nulo (100%)*
3	**Vale do Rio do Peixe**	Declínio (100%)	Declínio (100%)	Declínio (100%)	Declínio (66%) Nulo (33%)
4	**Planalto Sul**	Declínio (66%) Aumento (33%)	Nulo (66%) Declínio (33%)	Declínio (66%) Nulo (33%)	Declínio (66%) Nulo (33%)
5	**Planalto Norte**	Declínio (50%) Nulo (50%)	Declínio (100%)	Declínio (100%)	Declínio (100%)
6	**Litoral Norte**	Declínio (100%)	Declínio (100%)	Declínio (100%)	Declínio (100%)
7	**Alto Vale do Itajaí**	Nulo (100%)*	Nulo (100%)*	Declínio (50%) Nulo (50%)	Declínio (100%)
8	**Vale do Itajaí**	Declínio (100%)	Declínio (100%)	Declínio (100%)	Declínio (100%)
9	**Grande Florianópolis**	Declínio (50%) Nulo (50%)	Declínio (50%) Nulo (50%)	Declínio (100%)	Declínio (50%) Nulo (50%)
10	**Litoral Sul**	Aumento (100%)	Aumento (100%)	Aumento (100%)	Aumento (100%)
11	**Extremo Litoral Sul**	Aumento (100%)	Aumento (100%)	Aumento (50%) Nulo (50%)	Aumento (100%)

Fonte: Compilada pelos autores (2023).

A partir das análises dos resultados, apesar da predominância na tendência de descendência dos dados, o qual entende-se que nos dias em que mais ocorre a precipitação a recorrência das chuvas vem diminuindo conforme os períodos em anos, o qual confirma a

diminuição das chuvas para essas regiões no estado de Santa Catarina. No entanto, foi diagnosticado o oposto das tendências de diminuição em determinadas localidades, portanto nesses locais os resultados sugerem a tendência de aumento da precipitação conforme o tempo em anos. Este fenômeno ocorreu na estação de verão na mesorregião 4 (Planalto Sul) e para todas as estações do ano nas mesorregiões 10 (Litoral Sul) e 11 (Extremo Litoral Sul).

Segundo os resultados, ocorreu uma notável variação no padrão pluviométrico dentro do Estado de Santa Catarina. Assim como, no estudo de Back *et al.* (2012), Reboita *et al*. (2010), Antunes e Constante, 2016 que identificaram que a pluviosidade é menor na planície litorânea e os maiores valores de pluviosidade são observados próximos à encosta da Serra Geral e em altas latitudes, como por exemplo, o município de São Joaquim, Dionísio Cerqueira e Xanxerê que demonstraram padrões de ascendência nas tendências das chuvas ao longo dos anos.

Pode ser observado que em regiões litorâneas, como Laguna e Urussanga, registram padrão de tendência ascendente nos seus índices pluviométricos, apenas no inverno para Urussanga o padrão demonstrou a inexistência de tendências. As cidades estão localizadas nos setores litoral sul e extremo litoral sul, os quais se encontram diretamente com a região serrana do Estado, o qual representa uma região montanhosa com elevações perto dos 1000m. Altas altitudes próximas ao ambiente litorâneo (soma da umidade) podem influenciar no padrão de chuvas dessa região, ocasionando chuvas orográficas que podem ser somadas ao padrão de chuvas provindos de outros sistemas, assim como as “lestadas” que ocorrem e influenciam diretamente as regiões litorâneas.

A região litorânea de Santa Catarina, segundo Nimer (1971), demonstra uma altura pluviométrica não tão elevada e tão pouco bem distribuída, o qual apresenta significativa diferença entre os períodos mais e menos chuvosos. O período mais chuvoso ocorre nos meses de verão e mais seco no inverno, sendo este um ritmo estacional característico de regiões com clima tropical, fator que está ligado à proximidade ao oceano. Por isso, pode-se notar nos municípios de Rio do Campo, São Joaquim, Urussanga, Laguna, Xanxerê e Dionísio Cerqueira padrões de ascendência na estação de verão.

Segundo Back *et al.* (2012), na estreita área do litoral catarinense o máximo pluviométrico ocorre no verão enquanto o índice mínimo é, na maioria das vezes, registrado no inverno e, secundariamente, no outono, como pode ser observado nos municípios que são

regiões próximas ao litoral catarinense como Urussanga e principalmente em Ituporanga que demonstrou padrão de ascendência somente no outono. Normalmente, quando ZCAS está influenciando a Região Sul do Brasil, ocorrem acentuados padrões de chuvas da região norte de Santa Catarina, momentos de enchentes que são caracterizadas em muitos períodos nesta região (QUADRO *et al.* 2012; DEFESA CIVIL, 2022).

Em regiões serranas, como os municípios de Rio Campo e São Joaquim o padrão de aumento foi encontrado no verão, e pode ser entendido pela pesquisa de Degola (2013), o qual o autor conseguiu identificar mês-a-mês (no período de 1989-2010) os resultados mostraram que a variação latitudinal e a pressão central do ASAS apresentaram um comportamento sazonal, o qual em latitudes mais ao norte foram obtidos maiores pressões nos meses de inverno e nas latitudes mais ao sul, as pressões maiores foram no verão, ocasionando maiores índices de pluviosidade. Quadro *et al*. (2012) também descreveu o ASAS como responsável por trazer a umidade nos meses de verão juntamente com a umidade proveniente da região amazônica.

Considerando todas as estações do ano, o ASAS pode ter influenciado os padrões ascendentes nos municípios Laguna e Urussanga que obtiveram aumento no padrão de chuvas ao longo dos anos e Ituporanga que apresentou médias em ascendência no outono. Esse resultado corrobora o trabalho de Rodrigues (2011), que descreve que o ASAS é responsável pelos ventos no quadrante leste que trazem a umidade para a região.

Esses cinturões de ventos constantes que ocorrem em latitudes subtropicais possuem muita importância sobre essa região. Ito e Ambrizzi (1999), que analisou o ASAS de 1977 a 1996 na região sul do Brasil, com o uso de dados de reanálises para os meses de junho, julho e agosto (inverno), mostraram que os maiores deslocamentos longitudinais ocorreram durante todo o mês de julho e em alguns dias do início e fim do mês de agosto. Um deslocamento latitudinal levemente maior dentre os três meses foi constatado no mês de agosto. Em geral, os dados de inverno se mostraram nulos ou em declínio, ou seja, no inverno o ASAS pode estar influenciando na diminuição da tendência de chuvas no Estado, em contraste do verão, que tende a ocasionar a ascensão em determinadas regiões.

Pode ser observado, nos municípios de Dionísio Cerqueira, Laguna e Xanxerê um padrão de tendência de ascendência, em todas as estações do ano ao longo dos anos, ou seja, ao longo dos anos nos períodos mais chuvosos está chovendo cada vez mais, as altas altitudes

de Dionísio Cerqueira e Xanxerê e a proximidade com o oceano do município de Laguna podem ser os principais responsáveis pelo aumento da precipitação nessas regiões. Segundo o estudo de Baptista, Severo (2018), entre a região oeste e o Planalto Serrano catarinense onde estão situados Dionísio Cerqueira e Xanxerê, o total anual precipitado em relação ao litoral é maior, entre 1.900 e 2.000 mm (Oeste) e entre 1.600 e 1.700 mm (Planalto Serrano). Mas são regiões com níveis de precipitação significativamente superiores em comparação com outras áreas.

Considerando a climatologia anual da precipitação, o estudo de Baptista e Severo (2018), observa-se no extremo nordeste de Santa Catarina, uma altura pluviométrica média entre 2.600 e 2.700 mm. Considerando este regime climatológico, o Litoral Norte catarinense demonstrou padrões de precipitação em declínio ao longo do tempo, ou seja, mesmo com queda abrupta de altitude em relação a planície litorânea, o que propicia chuvas orográficas em função do deslocamento abrupto do vento, ainda assim a intensidade das chuvas ao longo dos anos tem diminuído.

Outros sistemas também podem estar associados a esse padrão de distribuição desigual no estado de Santa Catarina, como os JBNAS que também são responsáveis pelo transporte de umidade, provindos da Bacia Amazônica e do Atlântico tropical para a região sul do Brasil, assim como ASPS, segundo autores como Reboita *et al.* (2010 e 2012) e CAMPOS, SANTOS (2007), esse sistema é o principal sistema atmosférico que influencia o regime de precipitação sobre as regiões sul e sudoeste da América do Sul, porque trazem umidade de outras regiões para sul, atuando como força motriz da precipitação na região de Santa Catarina.

Estes autores também descrevem que a precipitação máxima anual na região sudoeste ocorre no inverno e a mínima no verão, já na parte mais ao sul a precipitação se apresenta homogênea ao longo do ano. Entretanto, a maior parte das regiões demonstraram padrões de diminuição de precipitação ao longo das estações e no verão e outono para algumas regiões. Para a maioria das regiões no inverno o padrão de precipitação foi descendente ou sem padrão.

Os SCMs podem ser responsáveis por grande parte da precipitação observada na superfície no verão em Rio Campo, São Joaquim, Urussanga, Laguna, Dionísio Cerqueira e Xanxerê, ocasionando ascensão nos padrões de precipitação (de sudoeste para nordeste) e

no inverno em São Joaquim e Ituporanga pela neutralidade no padrão (tendência de ventos para leste de SC).

Com uma série de recordes climáticos pelo mundo (IPCC e MMO) o aumento de eventos climáticos intensos como os ciclones extratropicais, estes tem sido a cada ano mais registrado no Estado, no entanto não foi encontrado na maioria das regiões uma relação com o aumento ou diminuição dos padrões de tendência. Já o efeito das mudanças no sentido de estiagem, pode ser preocupante que a tendência de 70% em descendência, principalmente, quando se trata de um Estado que é altamente produtivo em diversos alimentos. A longo prazo pode gerar, esse padrão pode ocasionar um impacto muito significativo na produção.

Estudos realizados por Freitas e Oliveira (2017), indicam que os Estado de Santa Catarina, principalmente no que se refere a região oeste, não conseguiram demonstrar uma relação estatisticamente significativa entre a ocorrência de estiagem e períodos de seca e fenômenos como ENOS, Oscilação Decadal do Pacifico (ODP) ou Oscilação Antártica (OA), contudo os bloqueios atmosféricos se destacaram como um fenômeno relacionado aos episódios de estiagem e tempo seco, considerando a análise climático-meteorológica das dinâmicas das massas de ar e sistemas atmosféricos na região oeste de Santa Catarina.

O Estado de Santa Catarina é caracterizado pela diversidade em seus relevos e nos processos existentes que afetam a região e assim pode-se entender que os sistemas não funcionam isoladamente e sim em conjunto. Por isso, a topografia da região do Estado também é responsável, em conjunto, com os sistemas atmosféricos e meteorológicos e formam o padrão de precipitação de todo o Estado.

Em um exame mais detalhado da precipitação na região, foi possível observar uma variabilidade espacial e temporal significativa, haja vista que, foi notado que nos dias de maior intensidade de chuvas, o volume total de precipitação tem diminuído ao longo do tempo. Este fenômeno pode estar intrinsecamente ligado às mudanças climáticas globais, que afetam os padrões atmosféricos de várias maneiras.

As mudanças climáticas, impulsionadas por fatores como o aumento das emissões de gases de efeito estufa e alterações no uso do solo, podem alterar os padrões de circulação atmosférica e a distribuição de umidade, o que pode resultar em mudanças nos padrões de precipitação, como o aumento da frequência de eventos extremos de chuva intercalados com períodos mais longos de seca. Tais alterações nos padrões climáticos não só afetam a

quantidade de chuva, mas também a sua intensidade e distribuição temporal, o que também pode ter implicações significativas para a agricultura, gestão de recursos hídricos e planejamento urbano em Santa Catarina.

Em estudos como Nimer (1971), Back (2012) e Gonçalves e Back (2018), que estudaram regimes de precipitação na região sudeste (SE) do Brasil, pode ser comparado que os resultados desta pesquisa se assemelham ao da região SE, o qual há um aumento de chuvas no verão, sem tendência na primavera e redução no outono e inverno. Isso ocasiona a redução da regularidade na distribuição da precipitação ao longo do ano.

4. CONCLUSÃO

De forma geral foi observada a predominância da tendência decrescente no volume de precipitação nos dias mais chuvosos em Santa Catarina, o que de fato explica as ocorrências de estiagem cada vez mais frequentes no Estado. Para as poucas regiões onde foram observadas tendência ascendente, cujo fato está relacionado, principalmente, por serem regiões de altas altitudes ou no litoral extremo sul. A ocorrência de fenômenos climáticos como ASAS, SCMs, ZCAS, JBNAS, assim como ENOS, PDO, e outras influências de complexidade marinha que alteram os climas costeiros, são responsáveis pela construção do padrão de chuvas no Estado e outros sistemas podem atuar indiretamente nos processos.

No entanto, este estudo teve a abordagem de entender a variabilidade de tendências de chuvas no Estado, sem estudos mais apurados e significativos de suas potenciais causas, mas pode ser compreendido que SCMs e JBNAs, somados ao sistema marinho em trazer umidade para o estado e os demais sistemas responsáveis pela distribuição e aprisionamento da umidade dentro do estado.

Santa Catarina apresenta diversos relevos, como consequência, os padrões de precipitação possuem variabilidade natural e, com a junção de variados sistemas influenciadores na distribuição do padrão de chuvas do Estado, demonstraram pelo presente estudo a variabilidade espacial e temporal e, principalmente um padrão de diminuição nas tendências em geral no padrão de precipitação que podem estar diretamente relacionados às mudanças climáticas globais.

Mudanças na precipitação, como redução anual, podem ter grande efeito sobre as atividades econômicas em geral, afetando, em particular, o agronegócio e a geração de

energia elétrica, que no Brasil tem grande participação das hidrelétricas em sua matriz energética. Esta realidade tem sido vivenciada nos dias atuais, nos quais a crise hídrica tem exigido a entrada em operação de usinas termelétricas, com grande impacto de aumento nos custos de energia, assim afetando também os demais setores da economia. Vale salientar, a importância do monitoramento e mais estudos que possam determinar a causa-efeito dos padrões de precipitação no Estado.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de expressar aqui nossa mais sincera gratidão ao Instituto Federal de Santa Catarina e aos professores envolvidos na pesquisa, pela orientação e recursos fornecidos, os quais foram fundamentais para o desenvolvimento desta pesquisa. A oportunidade de realizar este trabalho sob a tutela da instituição e de seus profissionais dedicados foi inestimável e profundamente apreciada pelos autores.

REFERÊNCIAS

ANA. Agência Nacional de Águas. Disponível em: < https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em: 01 de março de 2022.

ANABOR, Vagner. **Análise descritiva dos sistemas convectivos de escala meso-α através das imagens de satélite GOES-8**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2004.

ANTUNES, R. B.; CONSTANTE, V. T. Geomorfologia. In: SANTA CATARINA. Secretaria de Estado do Planejamento. Atlas Geográfico de Santa Catarina: Fascículo 2 – Diversidade da Natureza. 2ª ed. I. O. Rocha (Org.). Florianópolis: Ed. da UDESC, 2016.

ALVES, M. P. A.; SILVEIRA, R.B. Análise Espacial das Chuvas em Florianópolis - SC: o caso de janeiro de 2018. **Climatologia Geográfica Brasileira**, Juiz de Fora/MG. UFJF, 2018.

CEPED/ UFSC. ATLAS BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS: 1991 a 2012 / Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. 2ed. rev. ampl. Florianópolis: CEPED UFSC, 168 p. 2013.

BACK, A. J.; OLIVEIRA, J. L. R.; HENN, A. Relações entre precipitações intensas de diferentes durações para desagregação da chuva diária em Santa Catarina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.4, 2012.

BACK, A. J.; CORSEUIL, C. W.; GONÇALVES, F. N.; BACK, L.; LADDWIG, N. I. Análise de Tendências nas séries de Precipitação das Regiões Hidrográficas de Santa Catarina. XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Florianópolis, p. 1-8, 2017.

BARCELLOS, D. R.; WOLF, M. A. D.; SANCHES, S. R.; QUADRO, M. F. L. Analysis of Precipitation Temporal Variability in the Florianópolis/SC City. **Ciência e Natura**, v. 42, p. e 9, 2020.

BAPTISTA, G. C. Z.; SEVERO, D. L. Variabilidade Espacial e Temporal da Precipitação em Santa Catarina. **Geosul**, Florianópolis, v. 33, n. 68, p.184-200, set./dez, 2018.

BJERKNES, J.; SOLBERG H. Life Cycle of Cyclones and the Polar Front Theory of Atmospheric Circulation. **Geof. Publ.,** 3(1), 3-18, 1922.

CATALDI, M.; ASSAD, L. P. F.; JUNIOR, A. R. T.; ALVES, J. L .D. Estudo da influência das anomalias da TSM do Atlântico Sul extratropical na região da Confluência Brasil-Malvinas no regime hidrometeorológico de verão do Sul e Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 25 (4), 2010.

CAMPOS, C. R. J.; SANTOS, J. G. M. Climatologia sazonal dos Jatos de Baixos Níveis na região metropolitana de Porto Alegre, no período de 1989 a 2003, utilizando dados de radiossondagens. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 30, n. 2, p. 82-91, 2007.

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

CEMADEN. **Centro Nacional de Monitoramento de Alertas e Desastres Naturais. Disponível em**: < http://www2.cemaden.gov.br/pluviometros-automatico>. Acesso em: 01 de agosto de 2021.

CEPED. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. **Relatório dos danos materiais e prejuízos decorrentes de desastres naturais em Santa Catarina: 1995 - 2014**. Florianópolis, CEPED UFSC, 2016.

CERA, J. C; FERRAZ, S. E. T. Variações Climáticas Na Precipitação No Sul Do Brasil No Clima Presente E Futuro. **Revista Brasileira de Meteorologia**. Santa Maria, v. 30, n. 1, 81 - 88, 2015.

COAN, B. P.; BACK, Á. J.; BONETTI, A. V. Precipitação mensal e anual provável no estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 15, 2014.

COSTA M.; PIRES G. Effects of Amazon and Central Brazil deforestation scenarios on the Duration of the dry season in the arc of deforestation. **International Journal of Climatology**, v. 30, p. 1970 – 1979. 2010.

COSTA, M. S; LIMA, K. C; ANDRADE, M. M; GONÇALVES, W. A. Tendências observadas em extremos de precipitação sobre a região Semiárida do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.08 n.05, p.1321-1334, 2015.

CPTEC. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. Disponível em: < https://www.cptec.inpe.br>. Acesso em: 01 de março de 2022.

DAVIDSON E.; ARAUJO A.; ARTAXO P.; BALCH J.; BROWN I.; Bustamante M.; Coe M.; DeFries R.; Keller M.; Longo M.; Munger W.; Schroeder W.; Soares-Filho B.; Souza C.; Wofsy S. The Amazon Basin in Transition. **Nature,** v. 481, p. 321 – 328. 2012.

D'ALMEIDA C.; VOROSMARTY C.; HURTT G.; MARENGO J.; DINGMAN S.; KEIM B. The Effects of Deforestation on the Hydrological cycle in Amazonia: A Review on Scale and Resolution**. International Journal of Climatology**, v. 27, p. 633 – 647, 2007.

DEFESA CIVIL DO ESTADO DE SANTA CATARINA. Monitoramento Meteorológico e Desastres Naturais. Disponível em: https://www.defesacivil.sc.gov.br/

DEGOLA, T.S.D. Impactos e Variabilidade do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul sobre o Brasil no Clima Presente e em Cenários Futuros, Dissertação de Mestrado em Meteorologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 92 p., 2013.

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

DURIEUX, L.; MACHADO, L.; LAURENT, H. The Impact of Deforestation on Cloud Cover Over the Amazon Arc of Deforestation. **Remote Sensing of Environment**, v. 86, p. 132 – 140. 2003.

EPAGRI-CIRAM. Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina. Disponível em: < https://ciram.epagri.sc.gov.br>. Acesso em: 01 de março de 2022.

FREITAS, M.J.C.C.; OLIVEIRA, F.H. Estiagem no Oeste Catarinense: Diagnóstico e Resiliência. Relatório Técnico. UFSC, 2017.

GONÇALVES, F.N.; BACK, A.J. Análise da variação espacial e sazonal e de tendências na precipitação da região sul do Brasil Analysis of space and seasonal variation and trends in the precipitation of the southern region of Brazil. Revista de Ciências Agrárias, Portugal, n.41, v.3, p.592-602, 2018.

GOTARDO, R.; PIAZZA, G. A.; TORRES, E.; SEVERO, D. L.; KAUFMAN, V. Distribuição Espacial e Temporal das Chuvas no Estado de Santa Catarina. **Geosul**, Florianópolis, v.33, n.67, p. 253-276, mai./ago. 2018.

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

HASS, R. (2002) – Simulações da chuva orográfica associada a um ciclone extratropical no Litoral sul do Brasil. Tese de Doutorado. São Paulo, Universidade de São Paulo. 169 p.

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

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia**.** Disponível em: < https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>. Acesso em: 01 de agosto de 2021.

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

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. UNEP, EUA, 2021.

JESUS, Fernando Soares de. Geografia de Santa Catarina - Características Gerais, relevo, hidrografia, clima e vegetação. Geografia Opinativa, 17 de Agosto de 2013. Disponível em: https://www.geografiaopinativa.com.br/2013/08/geografia-de-santa-catarina.html. Acesso em 01 de agosto de 2021.

KENDALL, M. Rank correlation measures. Charles Griffin, London, 202, 15, 1975.

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

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

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

MANN, H. B. Nonparametric tests against trend. Econometrica: **Journal of the Econometric Society**, 245–259, 1945.

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

MARENGO, J. A., TOMASELLA, J.; ALVES, L. M.; SOARES, W. R.; RODRIGUEZ, D. A. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. **Geophysical Research Letters** 38, 2011.

MONTEIRO, M. A. Caracterização climática do estado de Santa Catarina: uma abordagem dos principais sistemas atmosféricos que atuam durante o ano. **Geosul**, v.16, n.31, p. 69-78, 2001.

MONTEIRO M. A.; FURTADO S. M. A. O clima no trecho Florianópolis - Porto Alegre: uma abordagem dinâmica. **Geosul**, n. 20, p.116-133, 1995.

NIMER, E. Climatologia da região Sul do Brasil: Introdução à climatologia dinâmica, subsidio à geografia regional do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia,** ano 33-4, p.3-64, 1971.

OMM. Organização Meteorológica Mundial. Nações Unidas. Disponível em: <http:// https://public.wmo.int/en/>. Acesso em: 10 junho 2022.

PBMC, Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras a mudanças climáticas. **Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas**, COPPE - UFRJ. Rio de Janeiro, 2016.

QUADRO M.F.L. Estudo de Episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul ZCAS sobre a América do Sul. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**, INPE - São José dos Campos- SP, 1999.

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

QUADRO, M.F.L.; DIAS, M.A.F.S.; HERDIES, D.L.; GONÇALVES, G.G. Análise climatológica da precipitação e do transporte de umidade na região da ZCAS através da nova geração de reanálises. Rev. bras. meteorol. 27 (2) • Jul 2012. DOI:https://doi.org/10.1590/S0102-77862012000200004

REBOITA, M. S.; GAN, M. S.; 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.

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

RODRIGUES, M.L.G. Eventos de chuva orográfica em Santa Catarina: Climatologia e Simulações Numéricas. São Paulo, 2015.

SALVIANO, M. F; GROPPO, J. D; PELLEGRINO, G. Q. Análise de Tendências em Dados de Precipitação e Temperatura no Brasil. **Revista brasileira de meteorologia**, v. 31 (1), 2016.

SANTOS, J. F; PORTELA, M. M. Tendências em séries de precipitação mensal em Portugal continental: aplicação do teste de Mann-Kendall. **Associação Portuguesa de Recursos Hídricos**, 2007.

VICTORIA, F. R. B.; PEREIRA, L. S.; VICTORIA, R. L. B. Mudanças climáticas: sinais de efeitos locais e falta de lógica global. In: **XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.** 8º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, 2007, São Paulo.