Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS

# CORRELAÇÃO ENTRE A PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA REGISTRADA POR ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS E ESTIMADA A PARTIR DE DADOS CHIRPS – ESTUDO DE CASO EM BALNEÁRIO CAMBORIÚ/SC

*Correlation between rainfall recorded by automatic weather stations and estimated from CHIRPS data - case study in Balneário Camboriú/SC*

*Correlación entre las precipitaciones registradas por las estaciones meteorológicas automáticas y las estimadas a partir de los datos CHIRPS - estudio de caso en Balneário Camboriú/SC*

**Otávio de Freitas Baumhardt**
Universidade Federal de Santa Maria
Otaviofreitas7139@gmail.com

**Tarcício Oliveira da Costa**
Universidade Federal de Santa Maria
tarcisiooliveirageo@gmail.com

**Cássio Arthur Wollmann**
Universidade Federal de Santa Maria
cassio@ufsm.br

**João Paulo Assis Gobo**
Universidade Federal de Rondônia
joao.gobo@unir.br

**Resumo:** A climatologia urbana tem se mostrado cada vez mais importante diante do cenário de mudanças climáticas, pois nas cidades vive a maioria da população mundial, exposta aos extremos de chuvas e temperaturas. Compreender a variabilidade desses mecanismos climáticos é essencial para a prevenção de danos e desastres urbanos. Assim, a estimativa de dados de precipitação por satélite é, na atualidade, um instrumento de dimensionada relevância para a compreensão da dinâmica pluviográfica, sobretudo, de ambientes que carecem de estações meteorológicas. A qualificação desses dados estimados é crucial para servir de monitoramento de tempo severo, apoio para medidas

de alerta e prevenção eficazes. Desse modo, este trabalho buscou dimensionar a correlação entre dados de quatro estações meteorológicas instaladas em Balneário Camboriú (SC), em diferentes pontos da área urbana, e estimativas geradas pelo CHIRPS (*Climate Hazards Group InfraRed Precipitation wich Station*) no período de agosto de 2021 a julho de 2022. Com uso de dados em formato Shepefile (SHP), trabalhados em ambiente SIG e exportados para Google Earth Engine (GEE), comparou-se a correlação dos dados com as estações meteorológicas instaladas, os quais exibem para o período em análise que, durante os dias de precipitação bem distribuída, os dados CHIRPS mostraram uma acurácia muito forte e, para períodos com anomalias positivas de precipitação de curta duração, a acurácia mostrou baixa precisão. Diante disso, períodos de longa duração de observações devem ser analisados para efeito de melhor precisão da qualificação da correlação.

**Palavras-chave:** Sensoriamento Remoto. Precipitação. GEE. Estimativa.

**Abstract:** Urban climatology has shown itself to be very important in the face of climate change, as the majority of the world's population lives in cities, exposed to high temperatures and rainfall. Understanding the variability of these climate mechanisms is essential for preventing urban damage and disasters. Thus, the estimation of satellite precipitation data is nowadays an instrument of great relevance for understanding rainfall dynamics, especially in environments that lack meteorological stations. The qualification of these estimated data is crucial to assist in weather monitoring and effective climate prevention. This research concerns in to measure the correlation between data from four meteorological stations installed in Balneário Camboriú (SC), in different points of the urban area, and estimates generated by the CHIRPS satellite (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station) in the period from August 2021 to July 2022. Data in Shapefile (SHP) format was used, processed in a GIS environment, and exported to Google Earth Engine (GEE). The correlation of the data with the installed meteorological stations was compared, and the result showed that during the period of analysis, the well-distributed precipitation correlated strongly with satellite data. However, for periods with short-term positive precipitation anomalies, the accuracy showed low precision. Therefore, long periods of observation must be analyzed to improve the accuracy of the correlation assessment.

**Keywords:** Remote Sensing. Precipitation. GEE. Estimate.

**Resumen:** La climatología urbana ha demostrado ser cada vez más importante frente al cambio climático, ya que la mayoría de la población mundial vive en ciudades, expuesta a precipitaciones y temperaturas extremas. Comprender el comportamiento de estos mecanismos climáticos es esencial para prevenir daños y desastres urbanos. Así, la estimación de datos de precipitación satelitales es, actualmente, un instrumento de gran relevancia para comprender la dinámica de las precipitaciones, especialmente en entornos que carecen de estaciones meteorológicas. La calificación de estos datos estimados es crucial para que sirvan como monitoreo de condiciones climáticas severas y soporte para medidas efectivas de alerta y prevención. Por lo tanto, este trabajo buscó medir la correlación entre los datos de cuatro estaciones meteorológicas instaladas en Balneário Camboriú (SC), en diferentes puntos del área urbana, y las estimaciones generadas por el satélite CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation wich Station) en el período de agosto de 2021 a julio de 2022. Utilizando datos en formato Shepefile (SHP), trabajados en un ambiente GIS y exportados a Google Earth Engine (GEE), se comparó la correlación de los datos con las estaciones meteorológicas instaladas, lo que arrojó para el periodo en análisis que durante los días de precipitación bien distribuida, los datos satelitales mostraron una precisión muy fuerte y para períodos con anomalías positivas de precipitación a corto plazo, la precisión mostró una precisión baja. Por lo tanto, se deben analizar largos períodos de observación para mejorar la precisión de la calificación de la correlación.

**Palabras clave**: detección remota. Precipitación. GEE. estimé.

Submetido em: 19/10/2023

Aceito para publicação em: 25/02/2024

Publicado em: 28/02/2024

## 1. INTRODUÇÃO

De maneira geral, para compreender qualquer processo na contemporaneidade, seja ele de origem natural ou antropogênica, é de extrema importância discernir a sua gênese. Adaptando o famoso pensamento do historiador e geógrafo Grego Heródoto (484 a.C), entender os processos históricos é fundamental para assimilar o presente e estipular o futuro.

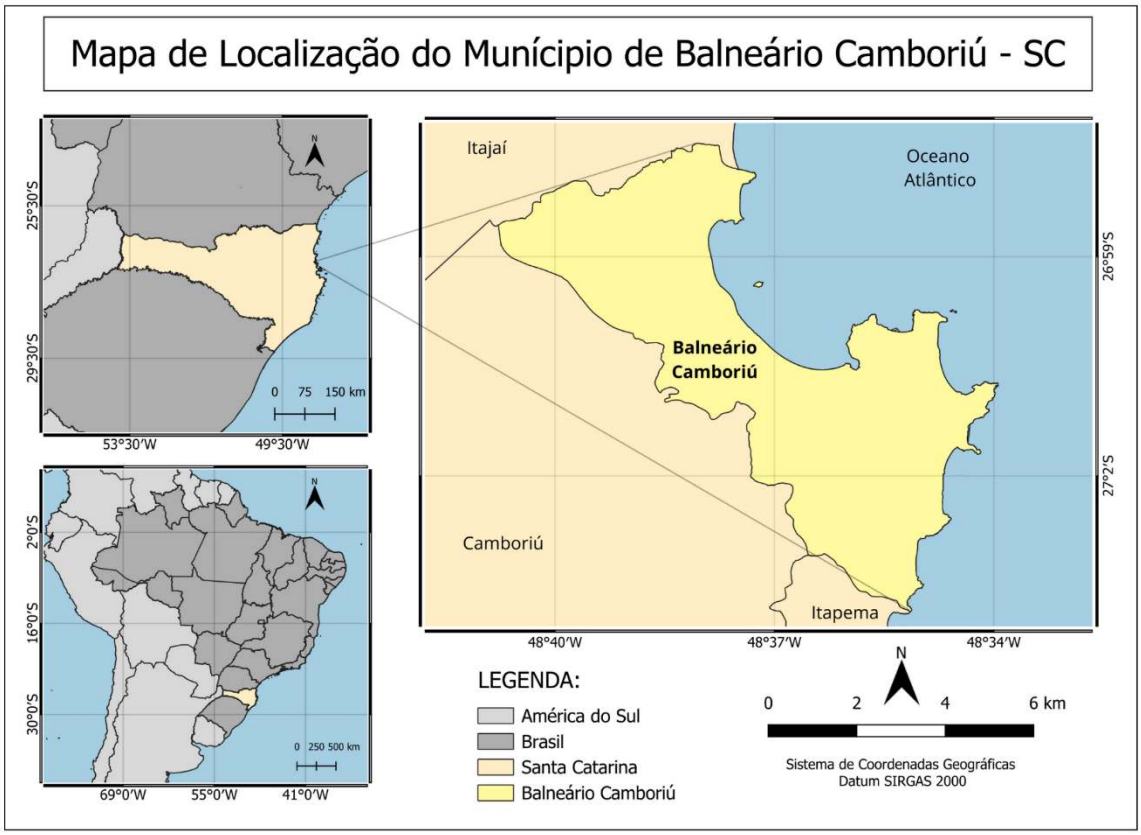
Dada essa breve introdução, este trabalho tem como premissa principal mensurar a correlação entre a precipitação registrada pelas estações meteorológicas em Balneário Camboriú (SC), e a aproximação que é estipulada pelo satélite CHIRPS (*Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station*).

A partir dessa equiparação, que se dará em um ambiente exclusivamente urbano, dados de precipitação estimados pelo CHIRPS poderão servir de apoio para centros urbanos que não possuam estações meteorológicas. Além disso, dimensionar, de maneira mais concisa, os padrões de precipitação é algo de extrema relevância na contemporaneidade, principalmente no atual cenário de variabilidade climática (Santos *et al*., 2009 apud Silva *et al*., 2017).

Porém, antes de discutir de maneira mais aprofundada outras variáveis, caracterizar o contexto histórico dos centros urbanos é imprescindível. A partir de Puyol, Estébanez e Mendez (1992), os primeiros centros urbanos surgem na Revolução Agrária do Neolítico, na região conhecida como Crescente Fértil, onde hoje abrange o território do Oriente Médio. Contudo, as cidades, como as conhecemos no presente momento, cresceram de forma mais vigorosa a partir da Primeira Revolução Industrial, que aconteceu no século XVIII na Grã-Bretanha (*ibid).*

A partir dessa sintética contextualização histórica, Balneário Camboriú, localizado na latitude de 26°59’42” Sul e longitude de 48°37’46” Oeste (Figura 1), é um município relativamente recente. Ele surge da fragmentação da cidade vizinha, Camboriú, no ano de 1964. Na atualidade, Balneário Camboriú possui uma morfologia urbana completamente distinta de quando surgiu, na década de 60 (Beuting e Martins, 2016). Essa cidade é uma das mais verticalizadas da América Latina, resultado de um complexo sistema de especulação imobiliária. Tal cenário resulta em uma série de problemas ambientais, tanto no solo, como na água, no ar e na qualidade de vida (Wollmann *et al.*, 2021).

**Figura 1** – Mapa de Localização




Fonte: Os Autores (2023)

Ademais, é importante ressaltar que a cidade de Balneário Camboriú tem uma delimitação exclusivamente urbana, ou seja, não há área rural ao longo da sua municipalidade. Essa informação é de extrema relevância, afinal, a maior parte da população brasileira vive em centros urbanos (IBGE, 2023). Nesse sentido, a quantificação dos impactos causados por tipos de tempo severo nessa cidade pode servir de aprendizado para que políticas públicas mais eficientes sejam concebidas e aplicadas em outras regiões urbanizadas.

Exemplos desse cenário, que é algo relativamente comum em grandes cidades litorâneas, envolvem a inundação e o escoamento superficial. No município em questão, cerca de 98,7 % da cidade possui um eficiente esgotamento sanitário (IBGE, 2010). Outrossim, obras de engordamento artificial foram concebidas para impedir a entrada de água do mar na orla principal da cidade (Baumhardt *et al*., 2023). Entretanto, cabe destacar que ainda há casos recentes de inundações em diversas partes do município, associados a índices de precipitação extrema.

Com isso, fica evidente que compreender os padrões de precipitação anuais é algo de extremo valor, pois pode ser responsável por criar políticas públicas para que, quando

ocorram eventos de chuva extrema, não se apresentem danos severos às estruturas da cidade, assim como a todas as formas de vida desse centro urbano.

Nesse sentido, os dados CHIRPS pode ser uma ferramenta muito interessante para estimar a precipitação anual em uma municipalidade urbanizada que não tenha recurso, como uma estação meteorológica ao seu dispor. A partir disso, entre os meses de agosto de 2021 a julho de 2022, foram comparados os dados de quatro estações no município com os estimados pelo CHIRPS, a fim de mensurar a correlação entre esses dois modos de identificar a quantidade de chuva em uma determinada área e período de tempo. Além disso, quando a estimativa mensal pelo CHIRPS foi muito contrastante com os dados registrados pelas estações meteorológicas, foi realizada uma análise dos dados de precipitação diário das estações para compreender o volume de precipitação em um curto período de tempo e, posteriormente, uma análise sinótica para discernir o porquê da discrepância entre os resultados.

## 1.1 Marco Teórico

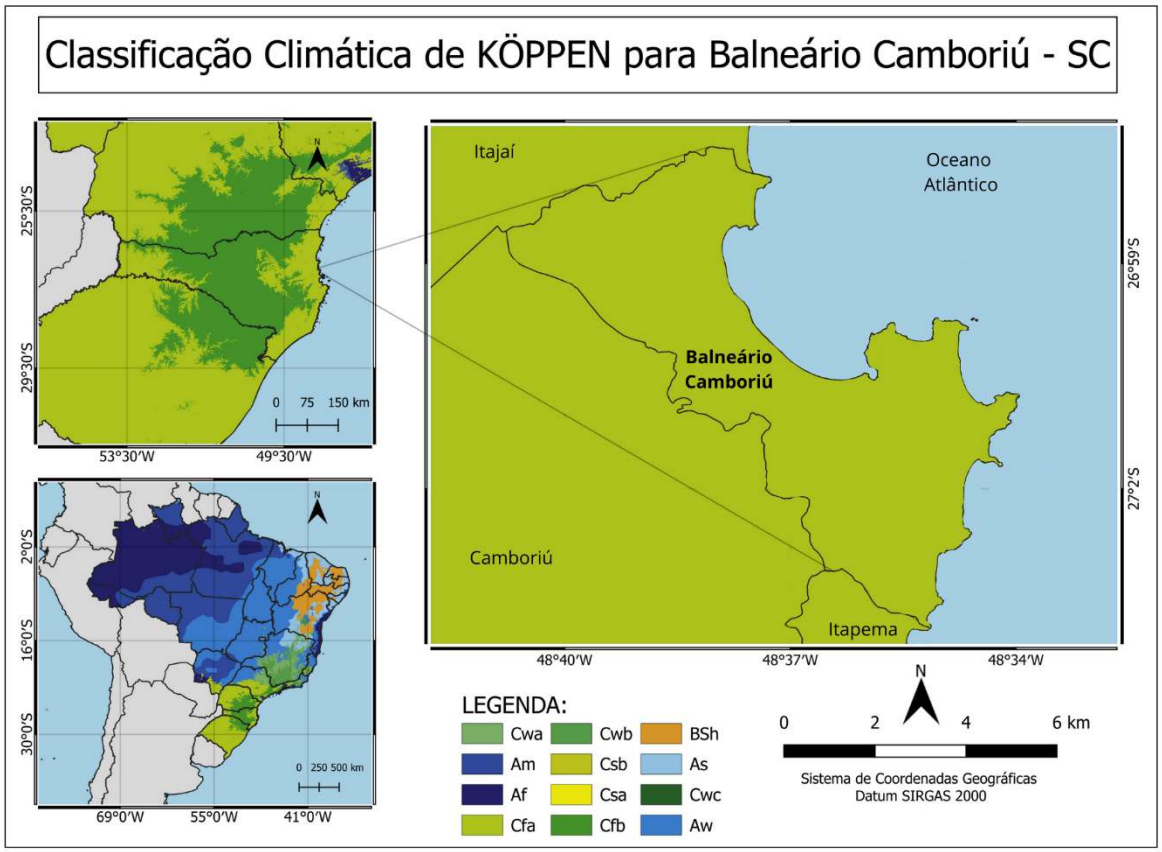
De maneira sintética, não é uma tarefa fácil estabelecer uma fronteira entre a Climatologia Geográfica e a Meteorologia. Na verdade, é mais apropriado discernir que são ciências que se complementam. Porém, a partir de Zavattini (2000), citando o importante Climatólogo Francês Pédelaborde (1970), a Climatologia é um ramo da Geografia Física que busca estudar e compreender as características da atmosfera no seu contato com a superfície terrestre. Com isso, outros ramos da Geografia Física também estão associados à Climatologia Geográfica, como a Geomorfologia, Biogeografia e Hidrografia. Ademais, faz-se mister saber que a Geografia Humana também está diretamente relacionada com a Climatologia, afinal, a espécie humana é responsável por interferir de maneira direta na atmosfera terrestre (*ibid*).

Historicamente, a compreensão dos padrões climáticos estava muito mais associada a misticismos e “achismos” do que a algo com fundamentação científica (Nascimento e Oliveira, 2014). Entretanto, na atualidade, esse cenário felizmente possui uma acurácia maior. Isso se deve a análises estatísticas de uma longa série temporal meteorologicamente diferentes. Desse modo, é possível entender, de maneira completa, os padrões climatológicos que ocorrem mais frequentemente em alguns locais, isto é, o clima de determinada região.

Cabe salientar que, no Brasil, pelo seu extenso território, que vai da latitude 5º16'19" N a 33º45'07" S, há classificações climáticas distintas. De maneira sintética, tais classificações são do tipo estatísticas e genéticas. A classificação estatística tem Köppen et al. (1900) como os principais idealizadores, levando em conta primordialmente a vegetação. Posteriormente, Geiger acrescentou mais dados de temperatura e precipitação para obter resultados mais concisos. Já a classificação genética está associada com a sucessão de tipos de tempo habituais em determinada região (Peguy, 1970 apud Dubreuil *et al.*, 2015; Lamb, 1977; Sanderson, 1999).

A partir desta exposição, a classificação de Köppen, para Balneário Camboriú, está representada na figura 2.

**Figura 2** – Classificação Climática




Fonte: Os autores (2023); adaptado de Alvares *et al.*, 2014

A partir dessa classificação, a delimitação territorial de Balneário Camboriú se encaixa em Cfa – Clima Subtropical Úmido. O clima Cfa cobre, aproximadamente, 6,5% do território brasileiro, principalmente nos Estados da Região Sul (Alvares *et al.*, 2014). Ele é caracterizado

por precipitações bem distribuídas ao longo do ano, não tendo uma estação de seca ou de chuvas.

Como o presente trabalho está diretamente associado à precipitação, faz-se necessário discernir, também, os diferentes tipos de chuva. A partir disso, há uma classificação muito bem difundida que estabelece uma fronteira entre os tipos de precipitação, sendo elas: chuvisco, chuva fraca, chuva moderada, chuva moderada a forte, chuva forte, chuva muito forte e chuva extremamente forte (Moreira, 2002). Essas distinções são importantes pois elucidam quais foram os tipos de precipitação que ocorreram na área de interesse no intervalo de tempo analisado. Conforme a tabela abaixo, é possível compreender essas diferentes classes.

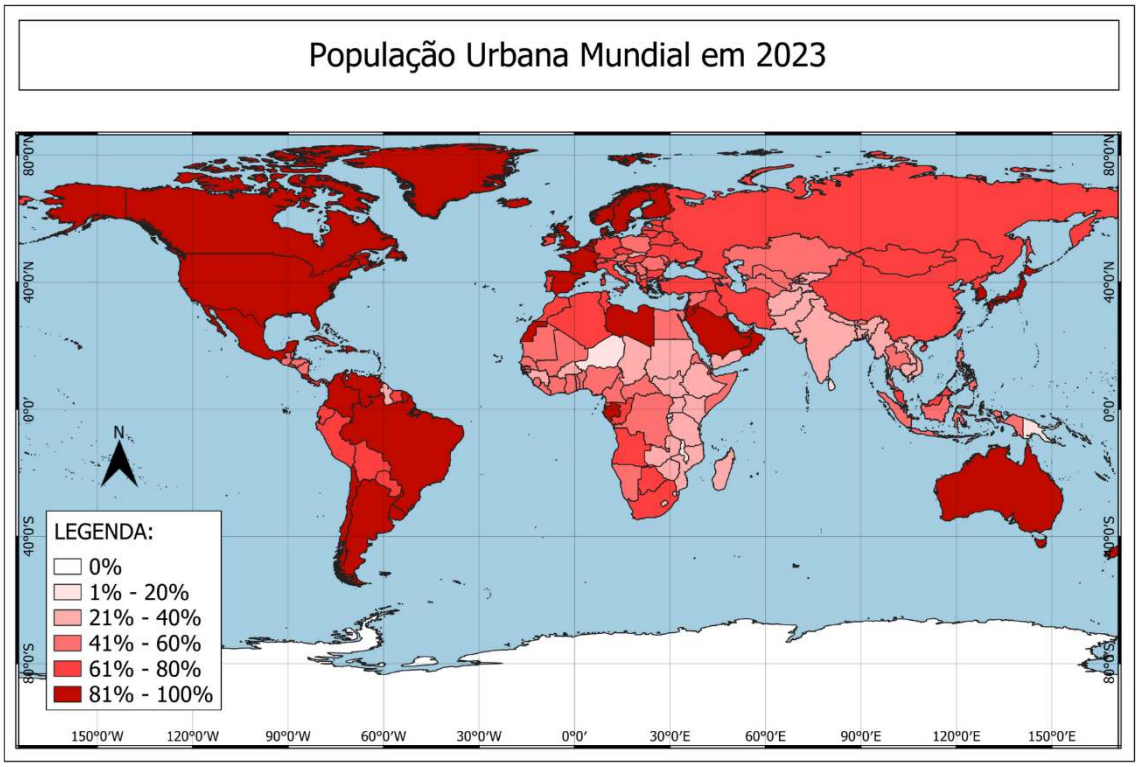
**Tabela 1**– Classificação da intensidade da precipitação pluviométrica registrada em milímetros, conforme Moreira (2002).

| Classe de Precipitação (mm) | Tipo de Precipitação |
|---|---|
| 0-01 mm | Chuvisco |
| 01-10 mm | Chuva Fraca |
| 10-20 mm | Chuva Moderada |
| 20-30 mm | Chuva Moderada a Forte |
| 30-40 mm | Chuva Forte |
| 40-50 mm | Chuva Muito Forte |
| >50 mm | Chuva Extremamente Forte |

**Fonte:** Moreira (2002)

Ademais, é importante compreender que Balneário Camboriú é um ambiente completamente urbanizado. Essa característica é de extrema importância, afinal, mais de 50% da população mundial vive em centros urbanos (figura 3), sendo que até 2050 esse percentual deve aumentar para 70% (Heilig, 2012 apud Alcantara, Krüger, Cunha, 2022). De maneira mais precisa, no Brasil, cerca de 87% da população vive em centros urbanos (World Population data Sheet, 2022).

**Figura 3 –** Porcentagem da População Urbana Mundial.




**Fonte:** Os autores; dados da World Population Data Sheet, 2022

Essa informação é de extrema relevância, pois os centros urbanos são muito suscetíveis a serem danificados em situações de precipitação severas (Campos, Mota e Santos, 2015). Além disso, já existem pesquisas que relacionam, de maneira direta, o crescimento populacional com o agravamento da variabilidade climática (Bryant *et al*., 2009).

Outrossim, danos causados por tempos severos geram prejuízos na casa de bilhões de dólares por ano no mundo, sendo capazes de afetar algo ainda mais valoroso – a vida. Com isso, utilizar dados secundários de precipitação pode ser vital para que políticas mais eficientes sejam tomadas, de modo a evitar que incidentes fatais ocorram.

Nesse sentido, o Sensoriamento Remoto (SR) é uma importante ferramenta para auxiliar pesquisadores a estimar diversas variáveis climatológicas. O SR pode ser compreendido como uma forma de obter informações de um objeto sem que exista um contato físico com ele (Rosa, 2001 apud Nascimento e Oliveira, 2014; Simonetti e Ulabi, 1983 apud Lorenzetti, 2015). Ademais, Schowengerdt (2007) define o sensoriamento remoto como sendo a medida das propriedades de um objeto na superfície terrestre através de aeronaves e satélites.

Vale destacar que as informações que são captadas pelos sensores dos satélites são provenientes da Radiação Eletromagnética (REM). A REM é um conjunto de energias com componentes elétricos que viajam a cerca de 299,792,458 M/S no vácuo, isto é, na velocidade da luz. Cabe salientar que o Espectro Eletromagnético é composto por ondas que variam de acordo com o comprimento de onda (λ) e a frequência (ν), sendo que cada comprimento está associado com uma informação e característica, podendo ir de ondas curtas, como a gama, a ondas longas, como a de rádio (Ferreira e Travassos, 2021).

A partir das Ondas Eletromagnéticas que são refletidas ou emitidas pelos diferentes objetos no Planeta Terra, podemos inferir algumas informações sobre eles. Nesse sentido, o Sensoriamento Remoto é de extrema eficiência em se tratando do monitoramento da atmosfera, compreendendo a troca gasosa, variações termais e de precipitação; monitoramento do oceano, observação de proliferação algais, variações térmicas, congelamento e derretimento de geleiras. Vale ressaltar que o SR é imprescindível para quantificar a variação do uso do solo na superfície terrestre, podendo monitorar se há desmatamento, focos de incêndio, enchentes, etc. (Lorenzetti, 2015; Ferreira e Travassos, 2021).

Com a crescente evolução tecnológica associada ao SR, há diversos sensores capazes de quantificar a precipitação em determinado local em um certo período de tempo. Entre eles, destacam-se o *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), o *Climate Prediction Center Morphing* (CMORPH) e o *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station* (CHIRPS). Cabe salientar que esses sensores possuem metodologias distintas para estimar a precipitação, assim como diferentes resoluções espaciais e temporais (Castelhano, Pinheiro e Roseghini, 2017). Nesse panorama, o satélite CHIRPS foi selecionado, pois ele ainda está ativo, diferente do TRMM, que saiu de atividade no ano de 2015 (NASA, 2023).

A partir desse pressuposto, desde 1981 o produto CHIRPS, que abrange latitudes de 50°S a 50°N e todas as longitudes, fornece um conjunto de dados de precipitação de escala global (Funk, 2015). Ele possui uma resolução espacial de 0,05° e interpola dados de várias fontes, como satélites e estações meteorológicas terrestres, para criar estimativas de precipitação em uma grade espacial consistente (*ibid*).

Esses dados são valiosos para análises de tendências climáticas ao longo do tempo e para monitorar a ocorrência de secas sazonais. O método utilizado estima dados de

precipitação obtidos pela técnica *Cold Cloud Duration* (CCD), que são coacervados com os de superfície (Castelhano, Pinheiro e Roseghini, 2017).

## 2. METODOLOGIA

A metodologia empregada no presente trabalho utiliza o software *Google Earth Engine* (GEE), que é uma plataforma de geoprocessamento da empresa Google. Diferente do Google Earth (GE), lançado em 2005, que possui uma série de limitações, como qualidade da imagem inferior, capacidade limitada para realizar, de maneira mais assertiva e exata, medições de terreno e falta de funcionalidade analítica, o GEE se mostra mais funcional e completo (Zhao *et al*., 2021).

Lançado cinco anos após o Google Earth, o GEE é uma plataforma computacional cujas informações ficam salvas em nuvem. Logo, não é necessário fazer o download de uma coleção de imagens para conceber um único mapa com alguma informação específica. Outra vantagem do GEE é que conceber séries históricas sobre determinado fenômeno se torna muito mais prático. Nesse sentido, monitoramentos ambientais utilizando o banco de imagens do Google Earth Engine são recorrentemente utilizados (*ibid*).

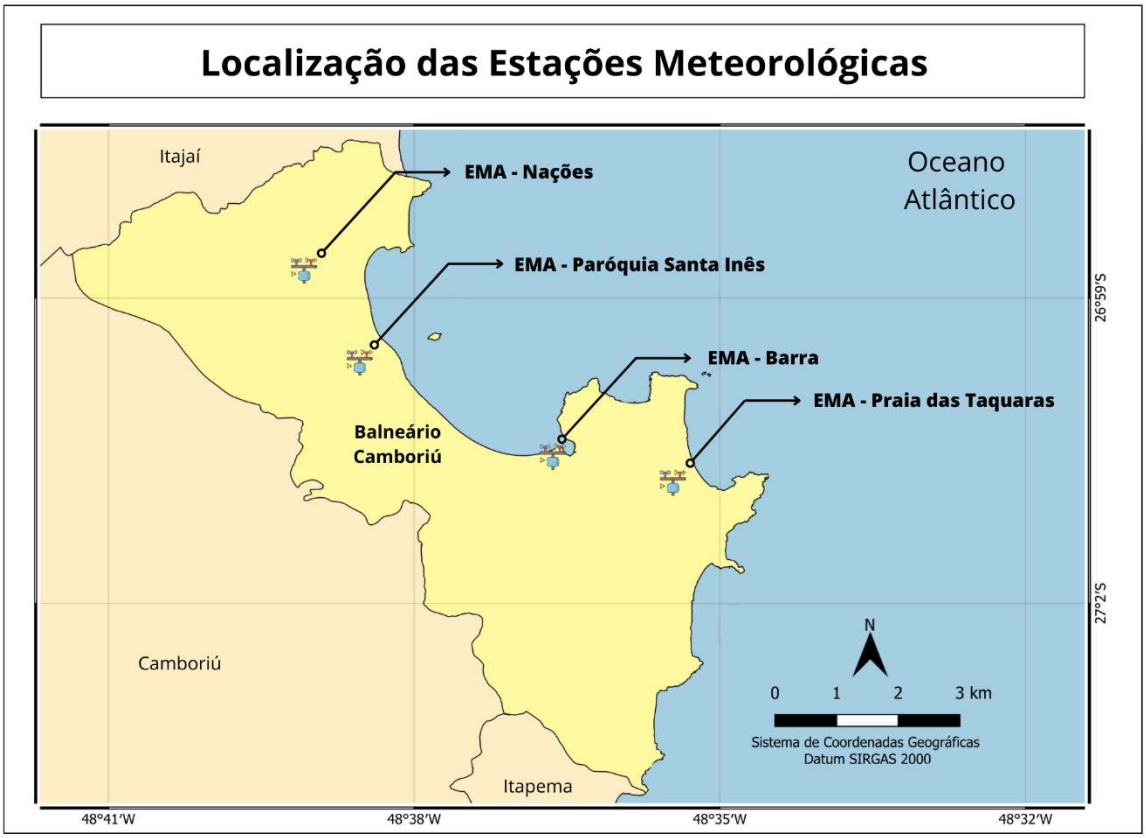
### 2.1. Procedimentos Metodológicos

Inicialmente, cabe salientar que, antes de utilizar a plataforma já referida, foi exportado no formato SHP, em ambiente GIS, a delimitação municipal da cidade de Balneário Camboriú – SC. Os municípios do Estado de Santa Catarina, em formato SHP, podem ser adquiridos, de forma gratuita, no site do Instituto Brasileiro de Geografia e estatística (IBGE).

Após obter o SHP do município, bastou exportar para dentro da plataforma virtual. Em seguida, foi concebido um código, na linguagem de programação JavaScript, inseridas todas as informações necessárias para obter os dados de precipitação registrados pelo CHIRPS. Nesse código, além da delimitação do município, é necessário estabelecer o intervalo de tempo que o usuário deseja. Sendo assim, o intervalo foi de agosto de 2021 até julho de 2022. Essas datas foram selecionadas porque foram momentos nos quais as estações meteorológicas coletaram e armazenaram dados. Cabe salientar que, para ter uma acurácia maior, quatro estações meteorológicas foram comparadas com os dados CHIRPS. Isso foi

realizado para que os resultados sejam mais concisos e confiáveis, afinal, a redundância é sempre mais assertiva. As estações selecionadas encontram-se em locais diferentes da cidade, a fim de que os resultados dessa comparação tenham uma acurácia ainda maior.

**Figura 4** – Localização das estações meteorológicas




**Fonte:** Os autores (2023)

Após caracterizar a área e delimitar o intervalo de tempo desejado, foram inseridas linhas de código para que a plataforma gerasse uma tabela, em formato Excel, dos dados de precipitação CHIRPS. Exposto este panorama, os dados foram trabalhados e tabulados no programa Microsoft Excel.

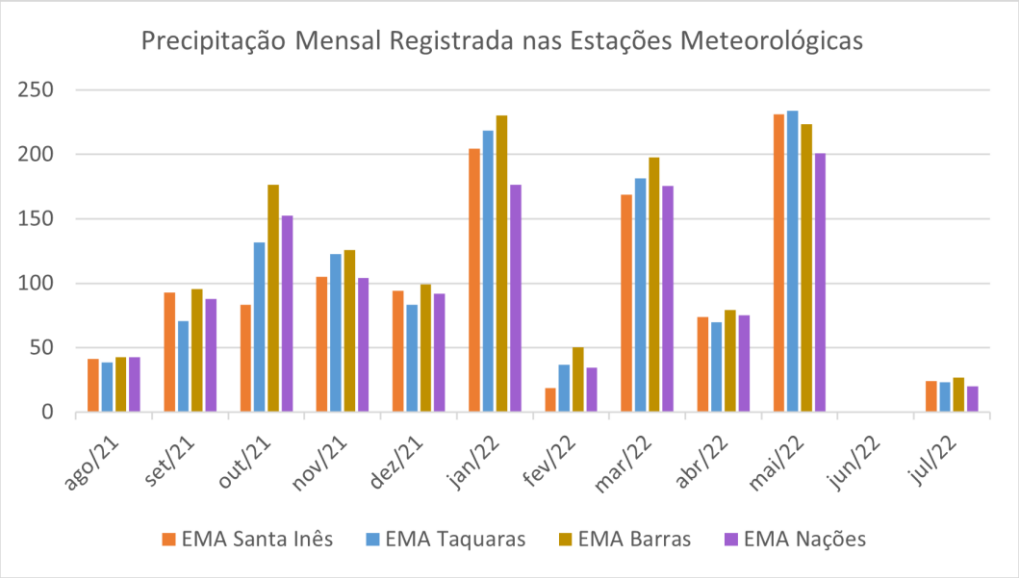
Posteriormente, os dados de precipitação estimados pelo satélite serão comparados e correlacionados com os das estações. Cabe salientar que os registros de cada mês foram equiparados entre si. Nesse sentido, os meses que tiverem mais 50 milímetros de diferença entre os dados das estações e do CHIRPS terão suas imagens de satélites e cartas sinóticas analisadas para compreender o tipo de tempo que foi responsável por gerar essa disparidade.

## 3. DESENVOLVIMENTO

A partir da metodologia empregada, notou-se uma correlação (de Pearson) entre a precipitação registrada pelas estações meteorológicas e a estimada pelo sensor consideravelmente alta, sendo superior a 0.5 (Cohen, 1988 apud Hernandez *et al.,* 2018). Tal correlação alta entre dados de estações e o CHIRPS também foi observada por outros autores. Santos (2022), em uma análise da série histórica de 1986 a 2012 na região de Sealba, descreveu uma correspondência consideravelmente alta entre os dados estimados pelo CHIRPS e os registrados pelas estações, tendo um coeficiente (r = 0,86). Ademais, Castelhano, Pinheiro e Roseghini (2017) relatam uma correlação alta (0.85) ao comparar dados CHIRPS com os coletados pelo SIMEPAR. Por fim, Anagua e Gomez (2018) também descreveram uma correlação positiva entre produto CHIRPS e os dados das estações na Foz do Rio Rurrenabaque, na Bolívia.

A correlação entre as estações meteorológicas utilizadas foi superior a 0.9, sendo extremamente alta. Essa comparação é importante para discernir que ambas as estações realizaram medições precisas. Outrossim, vale destacar que a estação Paróquia Santa Inês não registrou precipitação em todos os dias do mês de março, de modo que, para esse mês, foi feita uma média dos registros das outras 3 estações. Já para o mês de junho de 2022, o CHIRPS não coletou dados de maneira adequada. Portanto, esse mês não foi utilizado para a correlação.

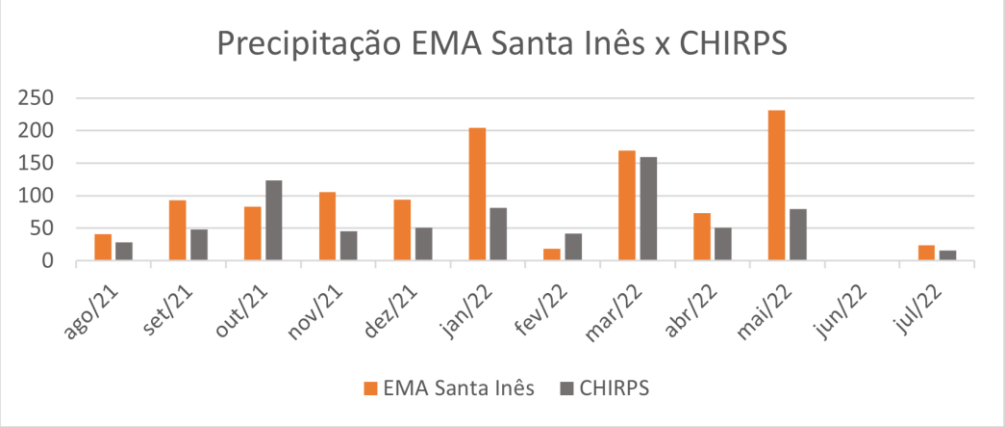
**Figura 5** – Precipitação registrada pelas estações entre agosto de 2021 e julho de 2022




**Fonte:** Os autores (2023)

A partir dessa comparação, percebemos que os meses mais chuvosos nesta série são janeiro, março e maio. Os meses que registraram precipitação menor que 100 mm em ambas as estações foram agosto, setembro, dezembro, fevereiro, abril e julho. Os meses de outubro e novembro registraram precipitação superior a 100 mm, porém menor que 200 mm. A comparação entre cada uma das estações com a estimativa realizada pelo CHIRPS pode ser observada nas figuras a seguir.

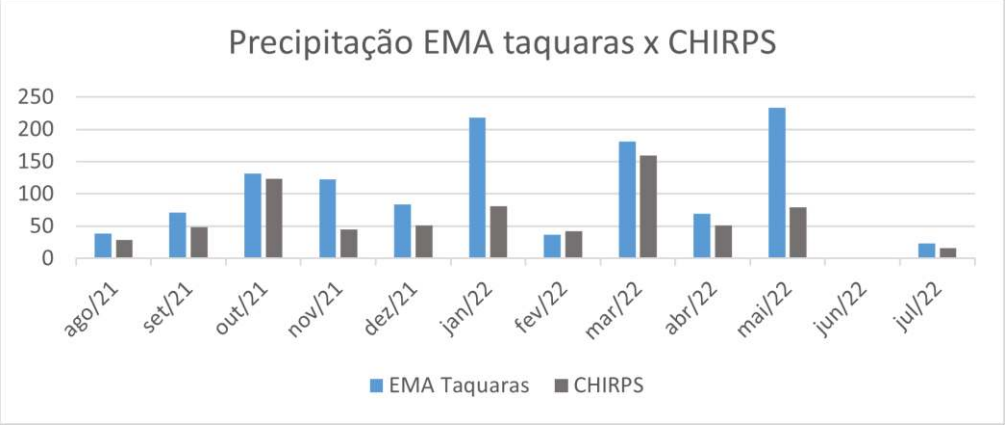
**Figura 6** – Comparação entre EMA Santa Inês e o CHIRPS




**Fonte:** Os autores (2023)

Comparando os dados da estação Santa Inês com o CHIRPS, percebe-se que, nos meses de janeiro de 2022 e maio de 2022, há uma diferença muito grande entre os dados registrados. Porém, em todos os meses analisados, a correlação entre eles se mostrou consideravelmente alta (0,57616747).

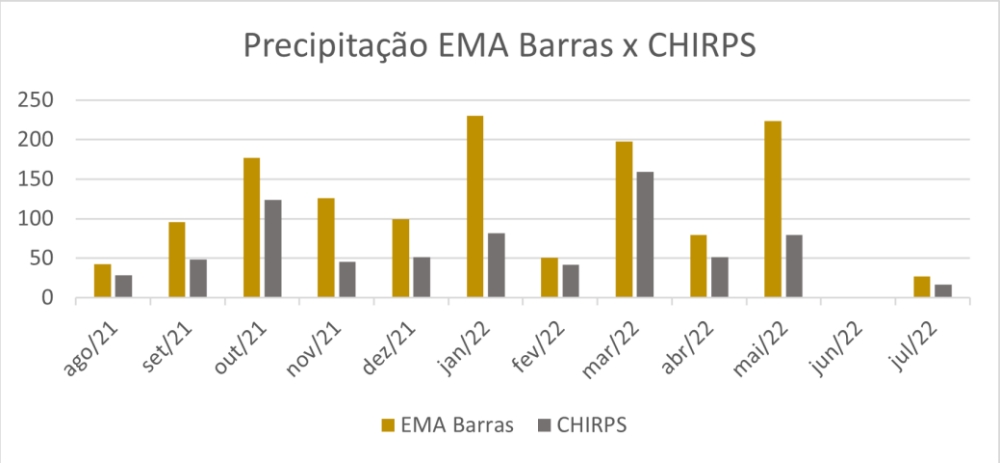
**Figura 7** - Comparação entre EMA Taquaras e o CHIRPS




**Fonte:** Os autores (2023)

A correlação entre os dados da estação Taquaras e do CHIRPS é de 0,6809705, sendo mais alta quando comparada com a estação Santa Inês. Entretanto, a grande distinção entre os meses de janeiro e maio persiste.

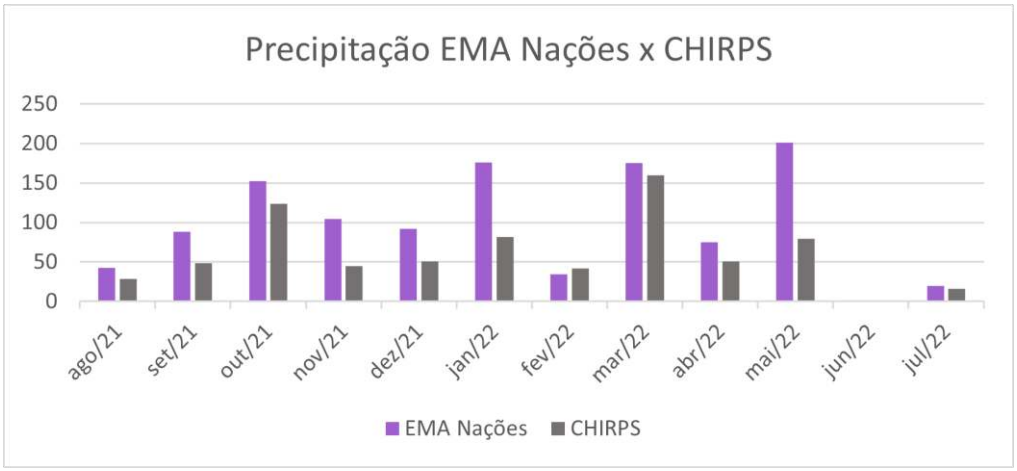
**Figura 8** - Comparação entre EMA Barras e o CHIRPS




**Fonte:** Os autores (2023)

Já a comparação entre a precipitação estimada pelo CHIRPS com os dados registrados pela estação Barras resultou em uma correlação de 0,766495, sendo mais alta em comparação com a estação Taquaras e Santa Inês.

**Figura 9** - Comparação entre EMA Nações e o CHIRPS




**Fonte:** Os autores (2023)

Por fim, a correlação entre a EMA Nações com o sensor CHIRPS foi a mais alta entre todas, sendo de 0,787732.

Entretanto, ainda assim há uma diferença muito grande entre as estimativas do CHIRPS com as das estações, principalmente no mês de janeiro e maio. Com isso, foi realizada uma análise da quantidade da chuva registrada de maneira diária nessas estações.

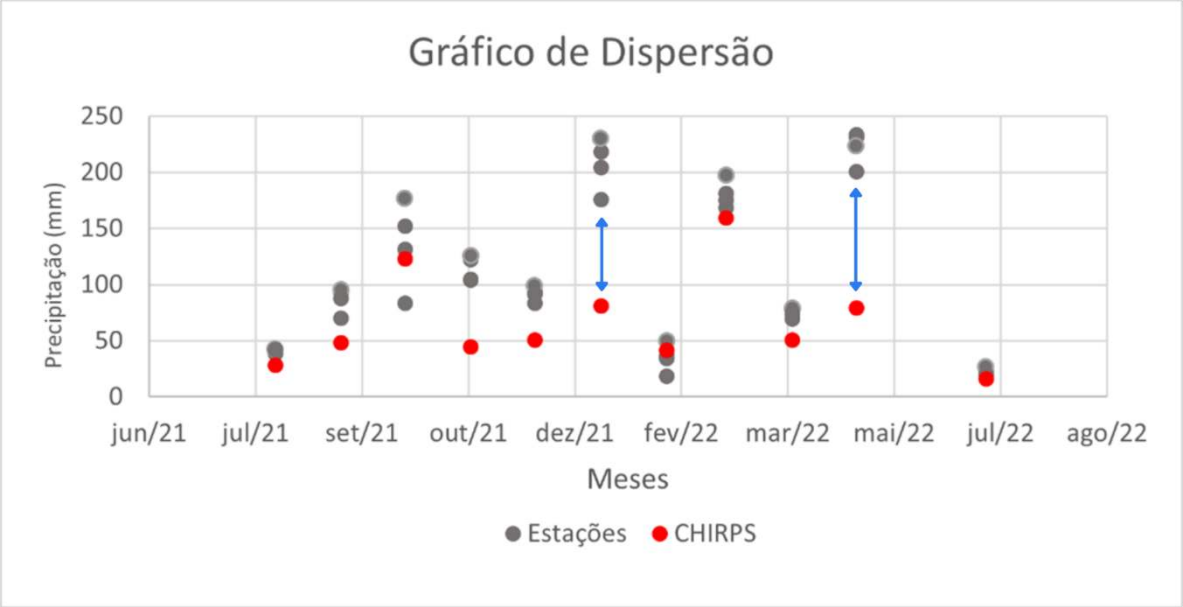
## 3.1 Precipitação máxima para o período

A partir destas análises, notou-se que a estação Barra registrou 76,6 mm no dia 04/05/2022, sendo considerada uma precipitação enquadrada como extremamente forte, de acordo com Moreira (2002). Já no dia 10/01/2022, a estação registrou uma precipitação de 64,2 mm. Ademais, das 16h do dia 09/01/2022 até as 23h45 do mesmo dia, a estação registrou um acumulado de 89 mm. Em compensação, o mês de março também teve uma precipitação elevada, cerca de 198 mm, registrando uma precipitação máxima em 24 horas de 33 mm, sendo consideravelmente menor que a precipitação máxima diária dos meses de janeiro e maio. O mês de outubro também teve uma precipitação máxima em 24 horas de 34,8 mm.

Outrossim, as estações Taquaras e Santa Inês registraram precipitação maior que 50 mm em um único dia. No dia 04/05/2022, a estação Santa Inês registrou um acumulado de chuva de 101,2 mm, também enquadrado como extremamente forte. Por outro lado, a estação Taquaras registrou 79,6 mm. No dia 10/01/2022, as estações Taquaras e Santa Inês registraram 64 mm e 62,4 mm, respectivamente. No dia 09/01/2022, a estação Santa Inês registrou 71 mm e a estação Taquaras, 74,8 mm. No mês de março, a precipitação diária máxima registrada pelas estações Santa Inês e Taquaras foi inferior a 35 mm. No mês de outubro, não ocorreu uma precipitação diária acima de 40 mm em ambas as estações.

Por fim, a estação Nações também registrou precipitação elevada em um pequeno intervalo de tempo. No dia 04/05/2022, foi 82,8 mm. Já nos dias 10/01/2022 e 09/01/2022, a estação Nações registrou, respectivamente, 50 mm e 55,6 mm de precipitação. Mais além, no mês de março, a precipitação máxima diária foi inferior a 30 mm. Para este panorama ficar mais visual, o gráfico de dispersão exemplifica de maneira mais didática a disparidade entre os meses de janeiro e maio com os dados estimados pelo CHIRPS.

**Figura 10** – Gráfico de dispersão entre o CHIRPS e as estações



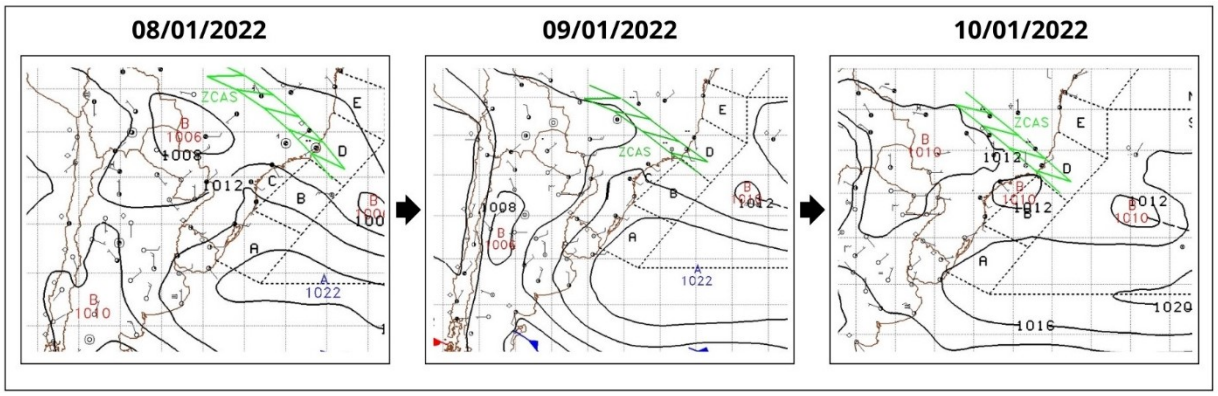

**Fonte:** Os autores (2023)

Além de discernir quais foram os períodos mais chuvosos, compreender os motivos desses fenômenos tem uma grande importância. Com isso, para os dias 04/05/2022, 10/01/2022 e 09/01/2022, nos quais o acumulado de precipitação para um único dia foi alto, houve uma análise sinótica através das cartas disponibilizadas pela marinha e também de imagens de satélite do Centro de Previsão do Tempo e Estudos do Clima (CPTEC), que estão disponíveis no site do Instituto de Pesquisas Espaciais – INPE.

## 3.2 Análise sinótica

Ademais, para caracterizar o tipo de tempo da maneira mais assertiva, as cartas sinóticas da Marinha foram analisadas até dois dias antes do registro do dia em questão, a fim de que a caracterização fosse mais precisa. A cartas sinóticas da Marinha para os dias 08, 09 e 10 de janeiro estão na figura 11.

**Figura 11** – Carta sinótica da Marinha

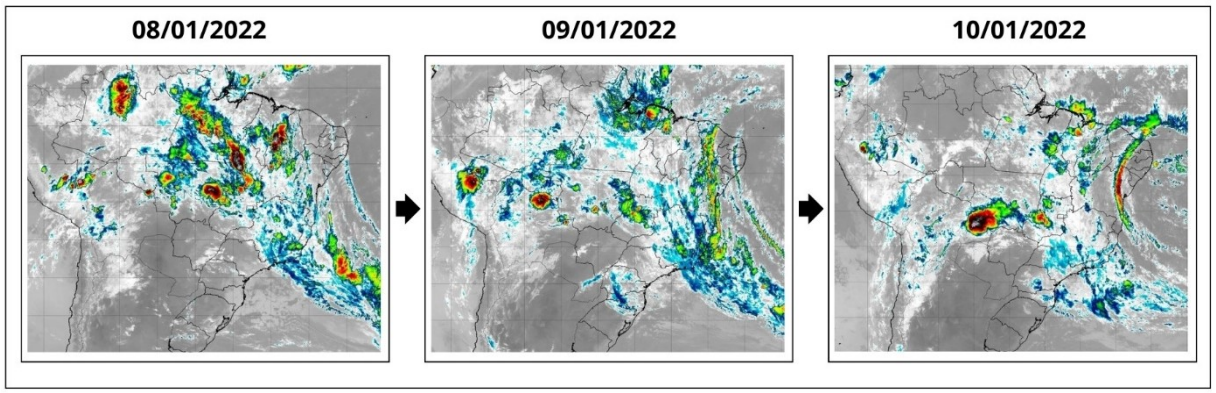



**Fonte:** Marinha do Brasil (2023)

Nas cartas sinóticas acima, percebe-se a presença da ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul. De maneira sintética, ZCAS é um fenômeno atmosférico típico de verão, que ocasiona altos índices de precipitação em grande parte do território brasileiro (Quadro, 1994 apud Santos, 2016). Uma característica dessa Zona de Convergência é a persistente faixa de nebulosidade orientada no sentido noroeste/sudeste, que se estende do sul da Amazônia ao Atlântico Sul Central (ibid).

A presença de uma baixa pressão na costa catarinense também é responsável por parte dessa precipitação excessiva. As imagens do satélite GOES mostram de maneira clara a sucessão do tempo nesses três dias.

**Figura 12** – Imagens do satélite GOES

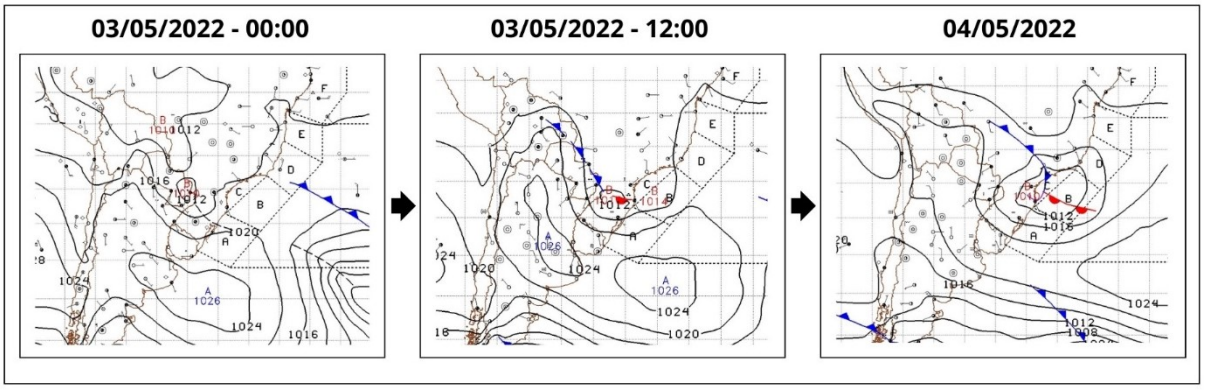



**Fonte:** INPE/CPTEC (2023)

Por meio dessas imagens, observa-se que a formação da nebulosidade na região está conectada ao sistema ZCAS.

Já para o dia 04/05/2022, a origem da precipitação possui uma gênese distinta. A partir da análise da carta sinótica para o dia (figura 13), é possível perceber a presença de uma frente fria.

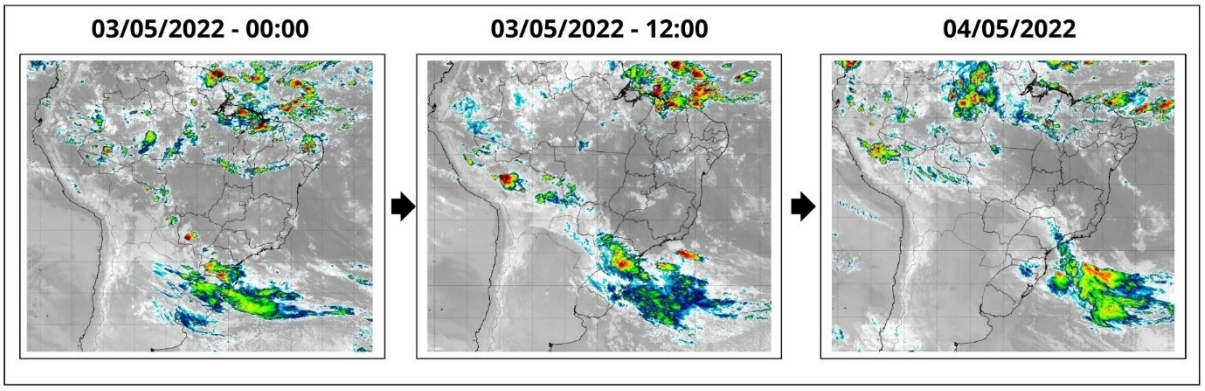
**Figura 13 -** Carta sinótica da marinha




**Fonte:** Marinha do Brasil (2023)

O tipo de tempo em questão é denominado Frontal Ciclonal de Ação Direta, estando associado com a formação de ciclones frontais (ciclogênese). Essa condição climática resulta em um céu encoberto por nuvens com precipitação acima de 50 mm (Sartori, 2016).

**Figura 14 -** Imagem do satélite GOES




**Fonte:** INPE/CPTEC (2023)

A partir da análise desses dados, observou-se que, para os meses de janeiro e maio, a precipitação elevada se deve a padrões atmosféricos relacionados a eventos deste tipo, como uma frente e a presença da ZCAS. Nesses eventos, percebe-se que o sensor CHIRPS perdeu sua precisão. Em outros meses em que as estações meteorológicas registraram precipitação

muito elevada, como março, já não há uma quantidade diária de chuva muito grande. Nesse mês, a precipitação se mostrou mais bem distribuída ao longo dos dias.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A climatologia urbana é uma área de estudo extremamente importante. Isso se deve ao fato de a maioria da população mundial residir em centros urbanos, tornando-os extremamente antropizados. Esse panorama gera inúmeros problemas microclimáticos, como ilhas de calor, áreas de sombreamento constante, cânions urbanos, escoamento superficial, inundação, etc. Logo, concentrar estudos para compreender os padrões atuais (e os novos padrões) de precipitação, ondas de calor e outros fenômenos possui uma importância fundamental.

Entretanto, vale destacar que é difícil estudar de maneira mais aprofundada os diferentes microclimas urbanos no Brasil, dado o seu vasto território, com diferentes altitudes, latitudes, vegetação, continentalidade/maritimidade, por fim, com diferentes climas. Ademais, a ausência de equipamentos, como estações meteorológicas em todos os municípios, gera ainda mais dificuldade para discernir os padrões climatológicos de determinada região.

A partir disso, a utilização de informações oriundas de satélites vem tendo cada vez mais importância, afinal, é possível auferir diversas variáveis, entre elas a temperatura de superfície, o índice de vegetação de uma determinada área e, até mesmo, a precipitação. Entender os novos padrões de precipitação possui uma grande importância. Esses estudos podem ser vitais para o sucesso de um centro urbano ao se deparar com períodos de seca e de chuva, que têm se mostrado cada vez mais alternante, associados principalmente aos fenômenos de interação oceano-atmosfera El Niño e La Niña.

Dada a dimensão da importância de entender os padrões de precipitação, recorrer a dados CHIRPS pode ser algo valoroso. No período estudado, a estimativa mostrou uma correlação ligeiramente boa, podendo ser útil para estudos relacionados a chuvas, principalmente em áreas mais inóspitas. Entretanto, é sábio validar os dados utilizando meios mais tradicionais, como estações meteorológicas.

Concluindo, notou-se que, para o período analisado, o CHIRPS não teve uma boa precisão em meses nos quais a precipitação foi extrema em curtos períodos de tempo. Porém,

quando a chuva foi bem distribuída ao longo dos dias, os dados CHIRPS mostraram uma correlação muito forte. É importante reiterar que esses resultados são para um pequeno intervalo de tempo, não sendo possível afirmar que o satélite CHIRPS possui uma precisão menor quando há casos de precipitação muito elevada.

## AGRADECIMENTOS

Eu gostaria de expressar minha profunda gratidão e apreço pela concessão da bolsa do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) destinada ao meu projeto de pesquisa. Este apoio representa uma oportunidade inestimável para o desenvolvimento do meu trabalho acadêmico e para a minha formação como pesquisador.

## REFERÊNCIAS

ALCANTARA, L.; *et al*. **Análise da percepção térmica em locais com diferentes valores de FVC em cidade com clima Cfa.** XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído ENTAC, 2022. DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v19i1.2149

ALVARES, C. A.; *et al*. **Koppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift**, vol. 22, No. 6, 711–728, 2014. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507

ANAGUA, F. C.; GOMEZ, M. F. V. **Validación del Satélite Meteorológico Chirps em la cuenca Rurrenabaque-Bolivia.** Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM); Laboratorio de Hidráulica Universidad Mayor de San Simón (LHUMSS). XXVIII CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA BUENOS AIRES, ARGENTINA, SEPTIEMBRE DE 2018. Disponível em: https://www.ina.gob.ar/congreso_hidraulica/resumenes/LADHI_2018_RE_716.pdf

BAUMHARDT, O. F.; KRAMER, G.; *et al.* **Variação da temperatura de superfície na orla central de Balneário Camboriú – SC: Uma perspectiva pós engordamento artificial**. XV Simpósio de Climatologia geográfica, 2023. Disponível em: https://drive.google.com/file/d/1t_p6Ri-RfYAqUMNNUhVxwefO28Tc0PoE/view

BEUTING, A.; MARTINS, B. C. V. **Evolução histórica da verticalização da Balneário Camboriú – Orla da praia e área central da cidade.** UNIVALI – Universidade do Vale do Itajaí, 2015. DOI: 10.5821/siiu.6258

BRYANT, L.; CARVER, L.; BUTLER, C. D.; ANAGE, A. **Climate change and family planning: least-developed countries define the agenda.** Bulletin of the World Health Organization, v. 87, p. 852-857, 2009. DOI: 10.2471/BLT.08.062562

CAMPOS, T. L. O.; *et al*. **Eventos extremos de precipitação em Belém-PA: uma revisão de notícias históricas de jornais**. Scielo, 2015. Disponível em: https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/n7zrxcJnshLJHyRqV5LZQLP/?lang=pt. DOI: https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1433

CARTA SINÓTICA DA MARINHA. Marinha do Brasil. Disponível em: https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-smm-cartas-sinoticas/cartas-sinoticas

CASTELHANO, F. J.; PINHEIRO, G. M.; ROSEGHINI, W. F. F. **Correlação entre precipitação estimada por satélite e dados de superfície para aplicação em estudos climatológicos**. Geosul, Florianópolis, v. 32, n. 64, p. 179-192, mai./ago. 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Francisco-Castelhano/publication/319828052_CORRELATION_BETWEEN_ESTIMATED_SATELLITE_PRECIPITATION_AND_SURFACE_DATA_FOR_APPLICATION_IN_CLIMATOLOGICAL_STUDIES/links/59bd306d458515e9cfcd4bab/CORRELATION-BETWEEN-ESTIMATED-SATELLITE-PRECIPITATION-AND-SURFACE-DATA-FOR-APPLICATION-IN-CLIMATOLOGICAL-STUDIES.pdf

DUBREUIL, V.; et al. **Os tipos de climas anuais no Brasil: uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015.** Revue franco-brésilienne de géographie, 2015. Disponível em: https://journals.openedition.org/confins/15738

FERREIRA, A. G.; TRAVASSOS, P. **Princípios básicos do sensoriamento remoto na oceanografia e pesca.** Ciências do Mar: dos oceanos do mundo ao mar do nordeste, V. 1. Recife, 2021

FUNK, C.; PETERSON, P.; LANDSFELD, M.; *et al*. **A Quasi-Global Precipitation Time Series for Drought Monitoring.** USGS, 2015. Acesso em: https://pubs.usgs.gov/ds/832/

HERNADEZ, L.; et al**. Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: definición, propiedades y suposiciones. Sociedad Venezolana de Farmacología Clínica y Terapéutica**. Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica, 2018, vol. 37, núm. 5, ISSN: 0798-0264. Disponível em: https://www.redalyc.org/journal/559/55963207025/55963207025.pdf

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRÁFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Catálogo de imagens** – GOES. Disponível em: http://www.dgi.inpe.br/catalogo/

JESUS, E. F. R. **Algumas reflexões teórico-conceituais na climatologia geográfica em mesoescala: uma proposta de investigação**. GeoTextos, Vol. 4, n. 1 e 2, 2 0 0 8. DOI: https://doi.org/10.9771/1984-5537geo.v4i0.3301

LAMB, H. H. **Climate: Present, Past, and Future**. Vol. 2 – Climatic history and the future. London: Methuen & Co Ltd, p. 835, 1977.

LORENZZETTI, J. A. **Princípios Físicos do Sensoriamento Remoto**. Editora Bluncher, 2015. Disponível em: https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=VEniDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA15&dq=.+Prin

c%C3%ADpios+F%C3%ADsicos+do+Sensoriamento+Remoto&ots=TvW0cctGO4&sig=fNIqcm86RdFwEKkKn4yc9S8QDhM#v=onepage&q=.%20Princ%C3%ADpios%20F%C3%ADsicos%20do%20Sensoriamento%20Remoto&f=false

MOREIRA, J. L. B. **Estudo da distribuição espacial das chuvas em Belo Horizonte e seu entorno**. 2002. 107 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Belo Horizonte, 2002.

NASCIMENTO, D. T. F.; OLIVEIRA, I.J.D**. Potencialidades e restrições da utilização de dados de sensoriamento remoto**. ANAIS DO X SIMPÓSIO BRASILEIROS DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA. IBSN: 978-85-7846-278-9 p. 2358 – 2368. Outubro, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Diego-Tarley-Nascimento/publication/336533304_POTENCIALIDADES_E_RESTRICOES_DA_UTILIZACAO_DE_DADOS_DE_SENSORIAMENTO_REMOTO_NA_CLIMATOLOGIA/links/5da4e519a6fdcc8fc3527e1e/POTENCIALIDADES-E-RESTRICOES-DA-UTILIZACAO-DE-DADOS-DE-SENSORIAMENTO-REMOTO-NA-CLIMATOLOGIA.pdf

NATIONAL AERONATICS AND SPACE ADMINISTRATION – NASA. Disponível em: https://www.nasa.gov/

PUYOL, R.; ESTÉBENEZ, J.; MENDEZ, R. **"Geografía Humana"**. Ed. Cátedra, Cap. 4, P.22. Madrid, 1992.

SANDERSON, M. **The classification of climates from Pythagoras to Koeppen**. Bull. Amer. Meteor. Soc., 80, 669–673, 1999.

SANTOS, T. J. **Validação dos dados de precipitação estimada pelo CHIRPS na região da Sealba entre os anos de 1986 e 2012**. São Cristóvão, 2022. Monografia (graduação em Engenharia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Agrícolas Aplicadas, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2022. Disponível em: https://ri.ufs.br/handle/riufs/16306

SANTOS, V. J. D; FIALHO, E. S. **Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e impactos pluviais intensos: o caso da cidade de Ubá – MG**. Revista Brasileira de Climatologia. Ano 12 – Vol. 19 – JUL/DEZ 2016. Disponível em: https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/23834/1/artigo.pdf

SARTORI, M. G. B. **O vento norte**. Editora DR PUBLICIDADE. ISBN: 978-85-66301-69-4. P. 68. Santa Maria, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Joao-Gobo/publication/304261077_O_VENTO_NORTE_E_OS_INDICES_DE_VIOLENCIA_DOMESTICA_EM_SANTA_MARIA-RS/links/576b4c6508aef2a864d210d8/O-VENTO-NORTE-E-OS-INDICES-DE-VIOLENCIA-DOMESTICA-EM-SANTA-MARIA-RS.pdf

SCHOWENGERDT, R. A. **Optical radiation models. In: Schowengerdt, R. A. Remote sensing: models and methods for image processing.** 3. ed. Amsterdam: Elsevier, 45-73, 2007.

SILVA, R. O. B. D.; et al. **Tendências de mudanças climáticas na precipitação pluviométrica nas bacias hidrográficas do estado de Pernambuco**. Scielo, 2017. DOI: https://doi.org/10.1590/S1413-41522017142481

WOLLMANN, C. A.; et al. **Thermo-Hygrometric Variability on Waterfronts in Negative Radiation Balance: A Case Study of Balneário Camboriú/SC**, Brazil, 2021. DOI: https://doi.org/10.3390/atmos12111453

WORLD POPULATION DADA SHEETS, 2022. Disponível em: https://www.prb.org/wp-content/uploads/2022/09/2022-World-Population-Data-Sheet-Booklet.pdf

ZAVATTINI, J. A. **O paradigma da análise rítmica e a climatologia geográfica brasileira**. GEOGRAFIA, Rio Claro, Vol. 25(3): 25-43, dezembro 2000. DOI: https://doi.org/10.5016/geografia.v42i1.12670

ZHAO, Q.; et al. **Progress and Trends in the Application of Google Earth and Google Earth Engine**. MDPI, *Remote Sens*, *13*(18), 3778, 2021. DOI: https://doi.org/10.3390/rs13183778