

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

Curso de Mestrado em Clima e Ambiente

**INFLUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO NA ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO
RIO CUBATÃO DO SUL EM SANTA CATARINA**

Alexandre Nuernberg

Eduardo Conceição

Gilmar Florêncio

Juliana Portella Bernardes

Nícolas Firmiano Flores

Florianópolis - 2024

1. Introdução

A água, ao longo da história, tem se tornado um recurso cada vez mais indispensável, abastecendo uma gama crescente de atividades humanas e, conseqüentemente, tornando-se crucial para a sobrevivência e bem-estar da humanidade. A análise da vazão dos cursos d'água é uma das principais métricas para a avaliação da disponibilidade hídrica, e tem sido objeto de estudos intensivos, especialmente devido aos impactos sociais e econômicos que até pequenas flutuações podem gerar (Costa e Alves, 2011).

No âmbito hidrológico, a vazão dos rios emerge como uma variável-chave na gestão dos recursos hídricos, desempenhando um papel essencial na formação e desenvolvimento das comunidades humanas, além de ser uma das principais fontes de abastecimento de água para a população (Shiklomanov, 1998).

O entendimento do regime fluvial, que representa as variações no volume de água ao longo de um período hidrológico, é crucial para uma gestão eficiente dos recursos hídricos. Essa compreensão não apenas fornece uma base sólida para estudos de balanço hídrico e estimativas do ciclo sazonal da vazão, mas também possibilita a implementação de medidas adequadas para mitigar os impactos de eventos extremos, como enchentes e secas (SIMON et al., 2013). O regime fluvial de um rio é resultado da interação complexa entre os cursos de água e as características da bacia hidrográfica, bem como das condições climáticas locais e globais, e das atividades humanas que afetam o sistema fluvial (Lima et al., 2015). É importante ressaltar que as chuvas e a qualidade da estação chuvosa desempenham um papel crucial na recarga dos aquíferos, evidenciando uma estreita relação entre precipitação e vazão (Capozzoli et al., 2017).

A obtenção de dados precisos sobre o regime fluviométrico, por meio de séries históricas de vazões, permite uma compreensão mais completa da dinâmica espaço-temporal dos volumes de água nos rios. Essas informações são fundamentais para embasar decisões no planejamento ambiental, visando a conservação dos ecossistemas e a promoção da sustentabilidade dos recursos hídricos (Rocha e Dos Santos, 2018).

Com uma área de drenagem de 738 km², a Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão do Sul, localizada a cerca de 20 km de Florianópolis, no estado de Santa Catarina, desempenha um papel de grande importância estratégica e ambiental no âmbito hidrológico, sendo a principal fonte de abastecimento de água da Região Metropolitana da Grande Florianópolis. O Rio

Cubatão do Sul representa o maior afluente da Baía Sul da Ilha de Santa Catarina, região a qual se destaca uma das principais atividades econômicas do Estado, a produção de moluscos bivalves. A quantidade e a qualidade da água proveniente da Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão do Sul desempenham um papel crucial no desenvolvimento dessa atividade aquícola, visto que esses organismos são filtradores de água (Sergio et al., 2003).

O presente estudo busca analisar como a variação na quantidade e intensidade da precipitação afetam o aumento do nível do Rio Cubatão do Sul. Os resultados obtidos podem subsidiar a adoção de medidas mitigatórias para os impactos ambientais e sociais decorrentes de inundações, ocorrências de falhas em obras civis e imprevistos climáticos que afetam as atividades agrícolas.

1.1 Objetivos

O objetivo geral do estudo é analisar e compreender a influência das condições de precipitação na variação do nível do Rio Cubatão do Sul, a fim de fornecer um melhor esclarecimento sobre como as mudanças no clima e nos padrões de precipitação podem impactar os recursos hídricos e a gestão de riscos relacionados a inundações e secas.

Especificamente o projeto propõe:

- Analisar séries temporais de precipitação e registros de nível do Rio Cubatão do Sul para identificar padrões temporais e correlações entre eventos de precipitação e variações no nível do rio.

1.2 Revisão Bibliográfica

Conforme Tucci (1997), as bacias hidrográficas representam as áreas naturais de captação da água da precipitação. Elas são caracterizadas pela presença de superfícies vertentes e por uma rede de drenagem composta por cursos de água que se unem até formar um único leito no seu exutório.

Segundo a legislação brasileira, uma bacia hidrográfica constitui a unidade territorial para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e a atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997). O recorte territorial das bacias hidrográficas para a gestão da água ganhou relevância com a consolidação do

princípio nº 1 dos Princípios de Dublin, que estabelece que a gestão dos recursos hídricos, para ser efetiva, deve ser integrada e considerar todos os aspectos físicos, sociais e econômicos (Porto e Porto, 2008). Integrar todos os aspectos que afetam e são influenciados por essas áreas tem sido um grande desafio (Schiavetti e Camargo, 2002). Entre esses desafios, destaca-se a análise e compreensão dos componentes hidrológicos, como a precipitação, devido à sua relevância (Balbinot et al., 2008).

A precipitação condiciona e regula diretamente a variabilidade de grande parte do volume hídrico dos rios. Além disso, é o elemento meteorológico que melhor representa a diversidade climática brasileira, devido à sua grande variabilidade temporal e espacial (Zavattini e Boin, 2013). As chuvas exercem grande influência sobre as condições ambientais, as atividades produtivas rurais e a produção de energia (Coan et al., 2015). A obtenção de dados pluviométricos é essencial para a realização de estudos hidrológicos que auxiliam no planejamento dessas e de muitas outras atividades, como obras de contenção e construção de pontes (Franceschi e Oliveira, 2017).

Os estudos realizados por Cerqueira (2024), ao analisar a influência da precipitação nos níveis do Rio Mearim/MA, durante um período caracterizado por chuvas acima da média (março, abril e maio de 2009), revelaram que as chuvas intensas ocasionaram um aumento significativo nos níveis do rio, resultando em inundações e consequentes impactos sociais e econômicos na região.

Ao investigar os impactos de eventos climáticos extremos na dinâmica hidrológica dos lagos de várzea amazônicos e do Rio Amazonas, Silva (2020) aponta para uma tendência significativa de aumento dos extremos hidrológicos, especialmente no que diz respeito às cheias severas, na região do baixo Amazonas. O estudo baseou-se em séries temporais de 28 anos de dados de cotas de níveis de água provenientes de diversas estações hidrológicas da região, concentrando-se na análise das cotas em relação ao nível do mar para cada ano hidrológico, identificando os períodos de maiores e menores cotas.

Dessa forma, estudos em bacias hidrográficas são de extrema importância para a gestão dos recursos hídricos. O conhecimento da oferta quantitativa e qualitativa dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica pode ajudar a priorizar demandas e a definir diretrizes para o uso prioritário e sustentável deste recurso (Pereira e Kobiyama, 2013).

2. Procedimentos Metodológicos

O presente trabalho tem como área de estudo o Rio Cubatão do Sul (entre 27°35'46 " e 27°52'50" S e 48°38'24 "e 49°02'24" W), situado a aproximadamente 20km ao sul de Florianópolis, no estado de Santa Catarina. O Rio Cubatão do Sul possui um curso de 63 Km e origina-se da junção dos rios do Cedro e dos Bugres no município de São Bonifácio, passando pelas sedes urbanas de Águas Mornas e Santo Amaro da Imperatriz.

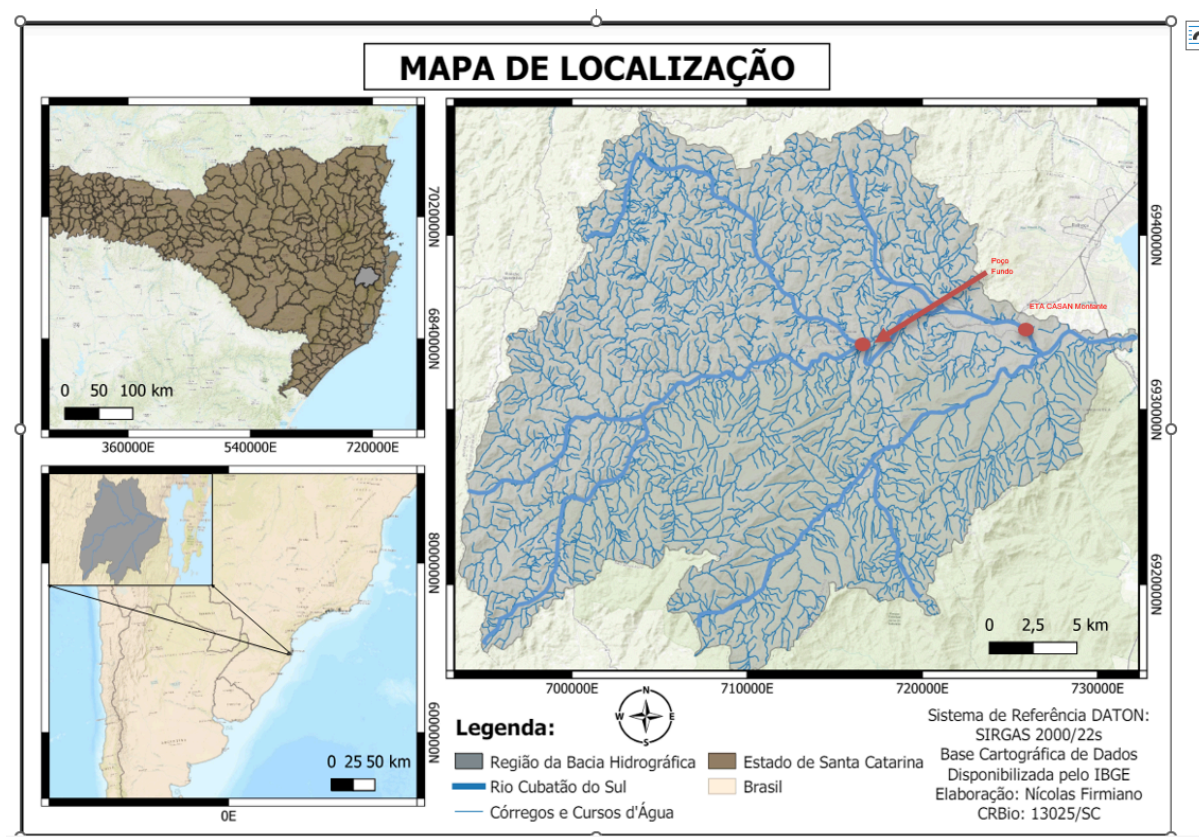


Figura 1 - Localização da área de estudo, Rio Cubatão do Sul, Santa Catarina, Brasil.

Pontos em vermelho: Estação Poço Fundo (à esquerda) indicada pela seta. Estação CASAN Montante (à direita).

Fonte: Autor (Nícolas Firmiano)

Os dados foram coletados de estações hidrometeorológicas registradas e verificadas pela ANA (Agência Nacional das Águas - <https://www.snirh.gov.br/hidroweb>), além de estações maregráficas da Capitania dos Portos (solicitados via requerimento), abrangendo uma série histórica de 22 anos (2000 - 2022). Para esse estudo, foram analisadas as cotas que eram iguais ou estavam acima do nível de alerta de inundação definido para cada uma das

estações hidrometeorológicas analisadas, já para as cotas de maré, foram considerados os valores que se encontravam acima da cota de 1 metro.

Para avaliar as cotas, foram utilizadas duas estações fluviométricas. Os dados fluviométricos e pluviométricos foram comparados com os valores de cotas de marés fornecidos pela Marinha para verificar sua influência no nível de cota do rio.

Os dados fluviométricos foram retirados do site Hidroweb, da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). O Rio Cubatão do Sul possui apenas duas estações fluviométricas ao longo de sua extensão: a primeira a montante (próxima à nascente), chamada estação Poço Fundo, e a segunda a jusante (próxima à foz), chamada estação ETA CASAN Montante. Ambas as estações registram os níveis duas vezes ao dia, às 7h e às 17h.

Os dados pluviométricos foram obtidos indiretamente através do *software MERGE/CPTEC* (http://avaliacaodemodelos.cptec.inpe.br/pdf/Metodologia_prec.pdf). O MERGE é uma técnica que combina dados de precipitação de duas fontes: observações de superfície (coletadas em estações meteorológicas terrestres) e estimativas de satélite da *Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)*. As observações de superfície são coletadas em estações meteorológicas e são consideradas como "verdade terrestre". As estimativas de satélite são geradas por um modelo numérico e podem cobrir áreas muito maiores do que as observações de superfície. O MERGE é realizado em duas etapas. Na primeira etapa, os dados de precipitação são interpolados para uma grade regular. Na segunda etapa, os dados interpolados são combinados com as estimativas de satélite. Desta forma, o MERGE se torna útil como uma ferramenta para avaliar modelos numéricos de previsão de tempo e clima, pois permite comparar os resultados do modelo com os dados observados. Ele gera dados horários e diários em formato *GRIB2 (General Regularly-distributed Information in Binary form)*, que podem ser utilizados em diversas aplicações, como monitoramento de eventos climáticos, estudos hidrológicos e planejamento agrícola (Rozante et al., 2010).

Para o mapeamento e cálculo da precipitação exclusivamente dentro da área da Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão do Sul, foi criada uma matriz de pontos, utilizando o *QGIS-3.16.8*. O MERGE/CPTEC foi alimentado com esses pontos e efetuou os cálculos estimados do nível pluviométrico em milímetros por dia.

Inicialmente, a série temporal passou por um tratamento dos dados, excluindo os intervalos que não eram comuns a todos os arquivos, resultando em um intervalo de fevereiro

de 2000 até fevereiro de 2022. Posteriormente, os dados foram equiparados, considerando apenas os dados diários das cotas das estações hidrometeorológicas (tomando a cota mais alta das medições das 7h e 17h). Isso foi feito para que fosse possível comparar com os dados de maré, dos quais foi considerada apenas a cota mais alta do dia.

Na análise quantitativa dos dados, foram calculadas medidas estatísticas básicas (contagem de valores, mínimo, máximo, mediana, média e desvio padrão) e apresentado gráficos de série temporal. Em uma etapa subsequente, procedeu-se à divisão da bacia em grades, e a utilização do conjunto de dados de precipitação do produto *MERGE/CPTEC* para coletar dados em áreas não cobertas por estações meteorológicas. Os dados foram processados utilizando programação em *Python 3.12*. Os registros das cotas foram então relacionados com a precipitação acumulada em diferentes períodos (acumulado diário, semanal (d-7), quinzenal (d-15), 21 dias (d-21), 28 dias (d-28) e 30 dias anteriores (d-30)).

3. Resultados e Discussão

A série histórica de 22 anos (2000-2022) do referido estudo, resultou 7.930 dias de coletas de dados das estações ETA CASAN (CS) e Poço Fundo (PF). A estação CS apresentou 287 leituras acima da cota de alerta (2,14m), que corresponde a 3,6 % do total dos dados coletados no período e a estação PF apresentou 370 leituras acima da cota de alerta (2,34m), que corresponde a 4,6 % (Figura 2). O registro das cotas de maré acima de 1 metro foi de 205 ocorrências que corresponde a 2,6 % do total.

A Tabela 1 estabelece uma correlação entre os níveis das duas estações (ETA CASAN e Poço Fundo) e a quantidade de precipitação em diferentes períodos.

A análise da precipitação diária e acumulada, não se mostrou satisfatória, porque ela não permite a identificação de eventos extremos, visto que não basta o volume de precipitação diária ou acumulada por período, uma vez que depende de outros fatores como o volume de precipitação por hora (dado faltante). Logo com os dados atuais não se pode diferenciar um dia de chuvas contínuas e regulares de outro com chuvas intensas e pontuais que geram enxurradas e afetam o nível de alerta.

Além disso, não foram consideradas outras variáveis que afetam absorção de água pelo solo, consequentemente o nível do rio como vegetação, urbanização antrópica e relevo.

Não foram observadas correlações entre a variação das cotas e a altura da maré, sendo que esta não influencia no valor das cotas, porém é importante ressaltar que havia apenas dois valores de cotas do rio por dia (7hs as 17hs) e foi analisado apenas o valor de cota máxima do dia, já para as cotas de maré haviam de 6 a 8 registros diários e só foi analisado o registro máximo do dia, o que dificulta uma análise pontual.

Comparando-se os dados das duas estações (CS e PF), é possível verificar que a porcentagem de registros de alerta acima da mediana da precipitação acumulada é mais significativa na estação PF, isso provavelmente se deve ao fato desta estação estar mais a montante fazendo com que o escoamento demore mais e contribua para a subida do nível. Mas ainda assim a correlação é fraca, reforçando que somente a análise dos dados de precipitação é insuficiente para a elevação dos níveis das cotas.

Tabela 1 - Comparativo da quantidade de registros representando o acumulado da precipitação acima dos valores da mediana do período com as cotas acima da cota de alerta

		Relações entre o Nível das Estações Fluviométricas acima da cota de alerta e a Precipitação mediana (mm) da Bacia Hidrográfica			
		Estação ETA CASAN montante		Estação Poço Fundo	
Períodos Precipitação	Mediana Precipitação (mm)	Quantidade de Registros de cotas	% registros de alerta acima da precipitação mediana	Quantidade de Registros de cotas	% registros de alerta acima da precipitação mediana
No dia	2.757	122	42,51%	175	47,30%
7 dias antecedentes	64.619	132	45,99%	209	56,49%
14 dias antecedentes	141.109	123	42,86%	206	55,68%
21 dias antecedentes	218.842	124	43,21%	219	59,19%
28 dias antecedentes	295.137	125	43,55%	222	60,00%
30 dias antecedentes	316.314	131	45,64%	221	59,73%

Fonte: Autores, 2014.

A Figura 2 apresenta o histograma dos valores das cotas acima dos níveis de alerta para as estações CS e PF. Nota-se, que para a estação CS, a maioria dos valores se concentra entre 214 cm e 300 cm, alcançando um pico de contagem de 193 ocorrências correspondente a 67,25%. À medida que os valores da CS aumentam, a frequência diminui, indicando uma menor incidência nos valores mais altos. Já para a estação PF, o histograma indica que há uma maior concentração de dados no intervalo entre 234 cm até 310 cm, totalizando 292 registros correspondente a 78,92%. A amplitude da distribuição, representada pela largura total do histograma, indica que os valores de cota variam entre 234 cm e 600 cm.

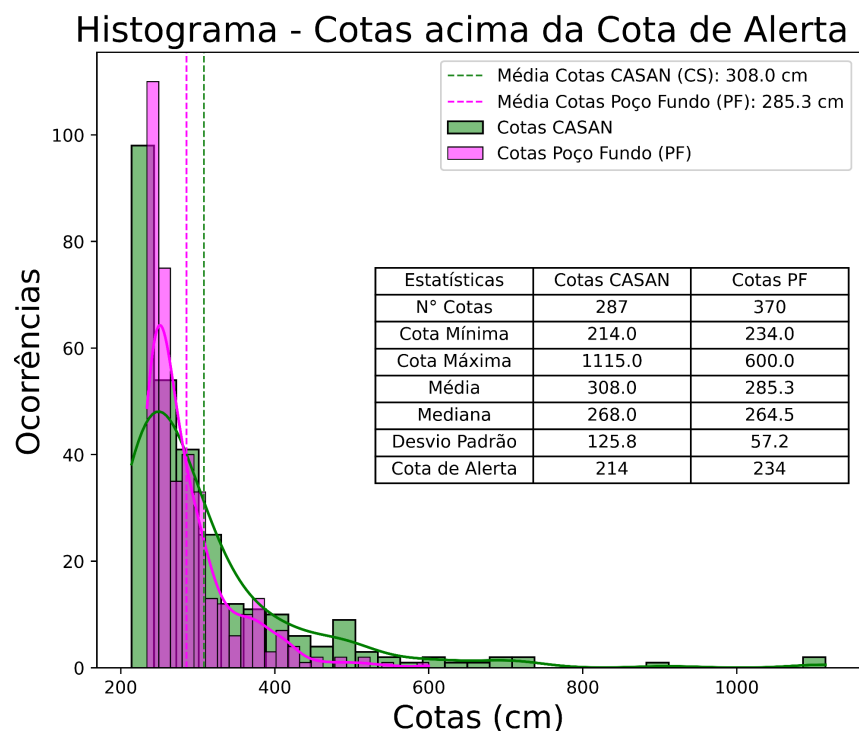


Figura 2 - Histograma da quantidade de cotas das estações acima da cota de alerta de inundação e tabela resumida dos principais dados estatísticos por estação.

Foi feita uma matriz de correlação e gráficos de dispersão. A matriz de correlação e os gráficos de dispersão mostram que há uma correlação positiva (0,580) moderada entre as cotas cotas_cs e cotas_pf, ou seja essas duas estações estão respondendo de forma similar, mas não linear a variação do nível do rio, mas a correlação com a altura_mare e as cotas é fraca (próxima de zero). A dispersão dos pontos indica que a maré não é o fator dominante na variação das cotas (Figura 3).

Um dos motivos da correlação entre as duas estações ser moderada está na distância entre elas (aproximadamente 15 km), sendo que a distribuição da precipitação não é igual.

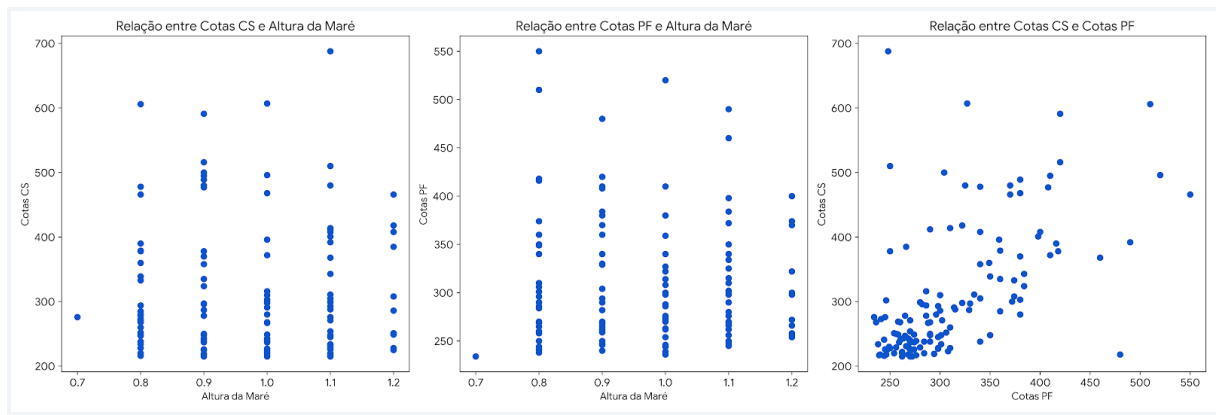


Figura 3 - Gráfico de dispersão da relação entre cotas e altura de maré, comparando-se cada estação hidrometeorológica com a maré bem como entre elas mesmas.

Também foram analisadas a correlação entre as cotas das estações (cotas_cs e cotas_pf) e a precipitação acumulada em diferentes períodos (d-7, d-14, d-21, d-28 e d-30) para verificar se havia alguma influência da precipitação nos níveis dos rios e podem ser vistos nas figuras Figura 4 à 8.

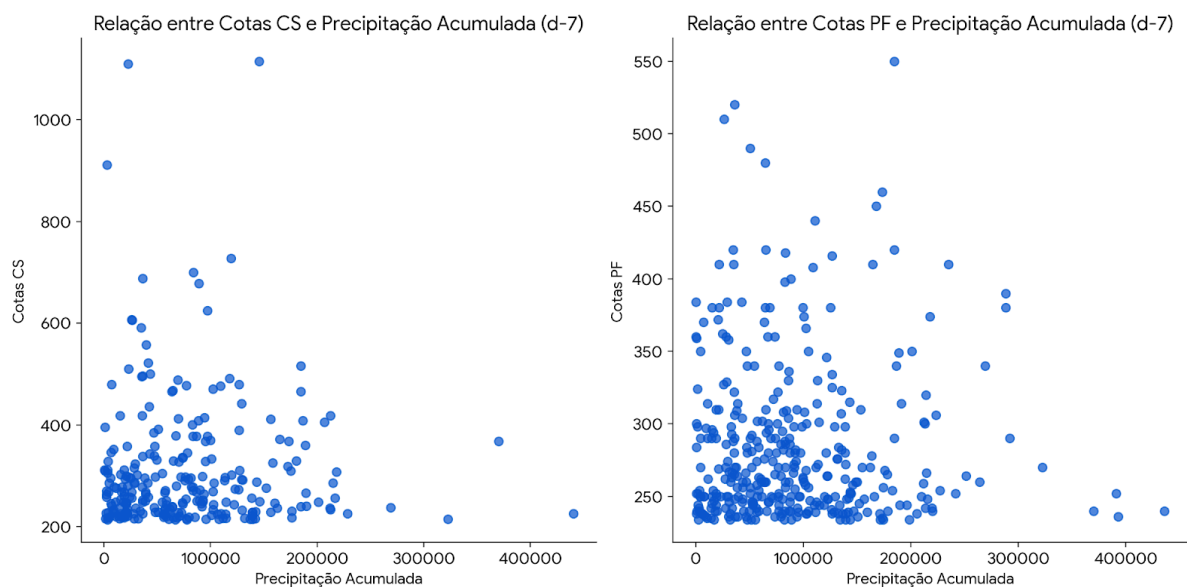


Figura 4 - Gráfico de dispersão da relação entre cotas a precipitação acumulada dos 7 dias anteriores, comparando-se o nível da cota acima da cota de alerta por estação com a intensidade de precipitação acumulada no período.

Os gráficos não mostram que haja uma correlação linear clara entre as cotas das duas estações e a precipitação acumulada nos períodos de análise. A dispersão dos pontos no gráfico indica que a variação na precipitação não explica a variação nas cotas. Outros fatores,

como a vazão de afluentes, a capacidade de infiltração do solo e as características da bacia hidrográfica, provavelmente desempenham um papel mais significativo na variação das cotas.

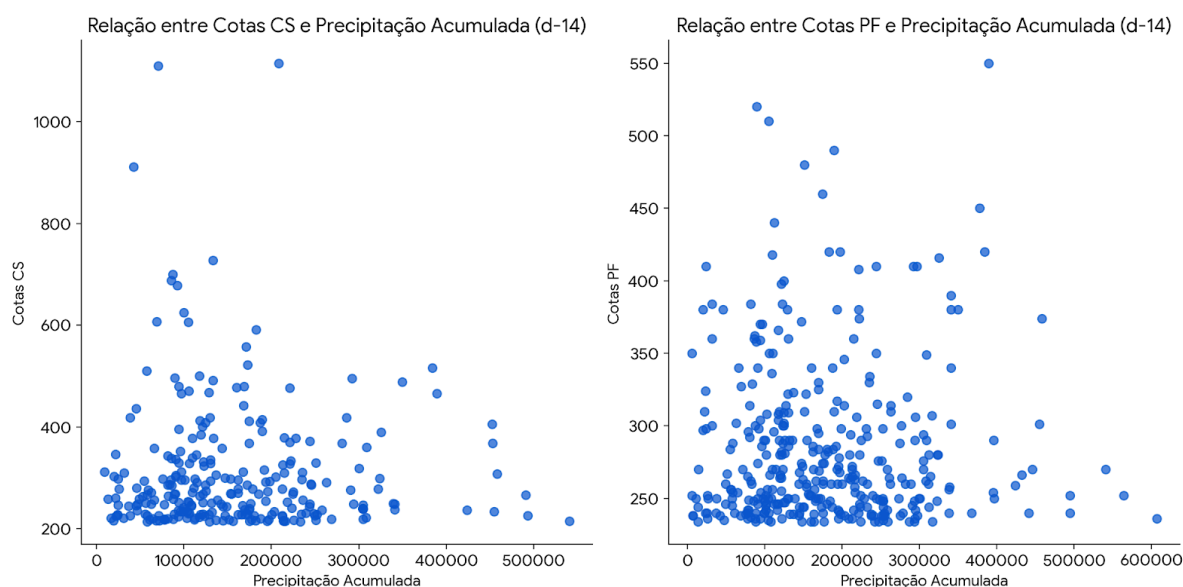


Figura 5 - Gráfico de dispersão da relação entre cotas a precipitação acumulada dos 14 dias anteriores, comparando-se o nível da cota acima da cota de alerta por estação com a intensidade de precipitação acumulada no período.

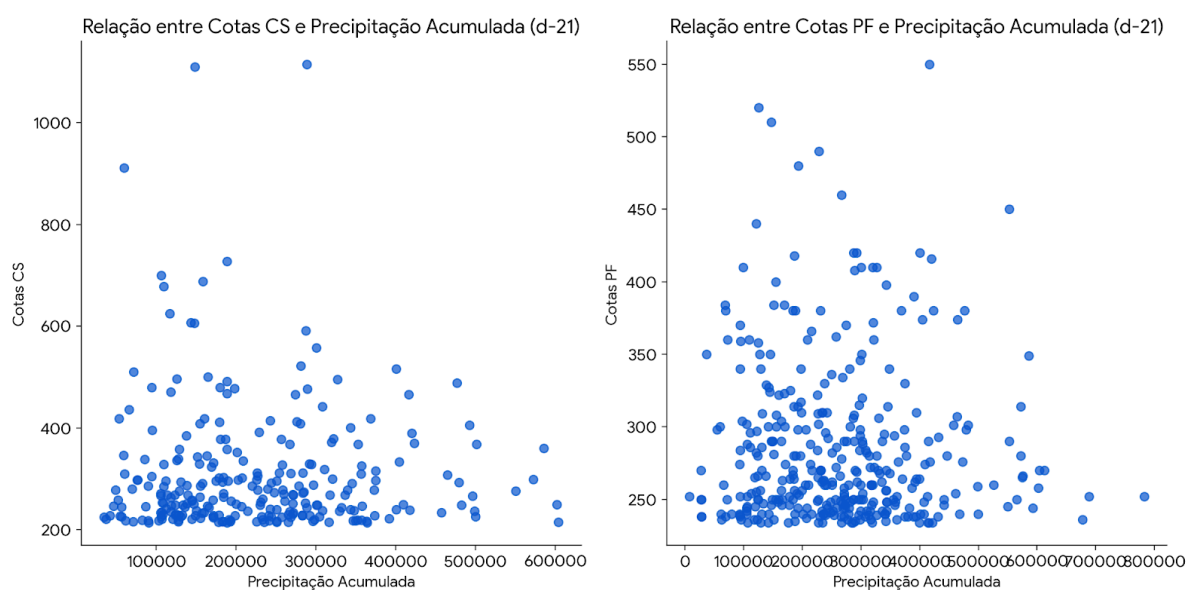


Figura 6 - Gráfico de dispersão da relação entre cotas a precipitação acumulada dos 21 dias anteriores, comparando-se o nível da cota acima da cota de alerta por estação com a intensidade de precipitação acumulada no período.

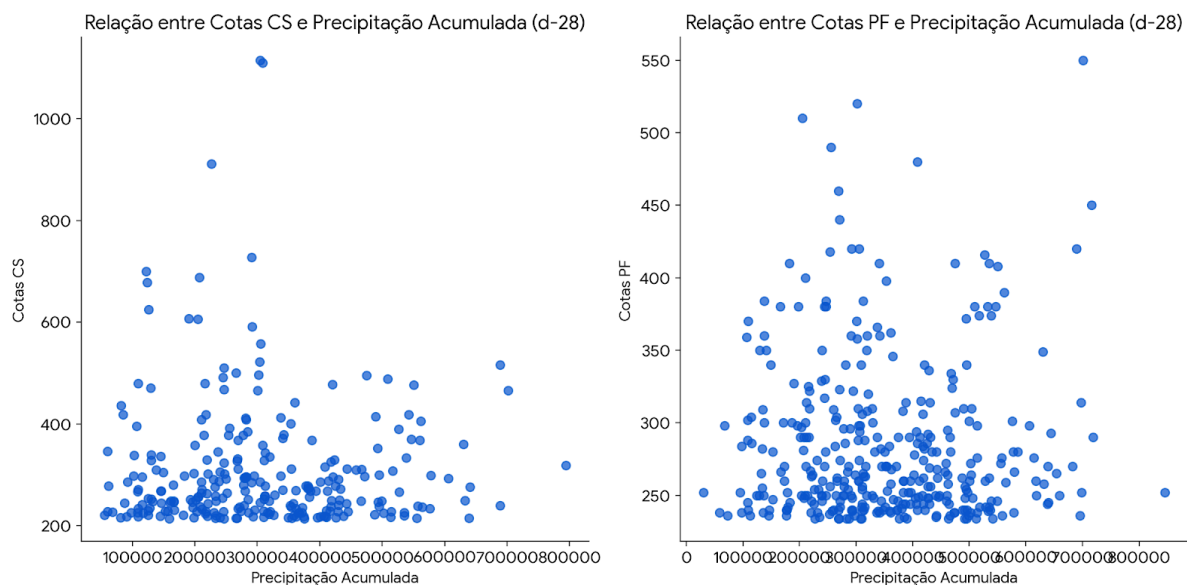


Figura 7 - Gráfico de dispersão da relação entre cotas a precipitação acumulada dos 28 dias anteriores, comparando-se o nível da cota acima da cota de alerta por estação com a intensidade de precipitação acumulada no período.

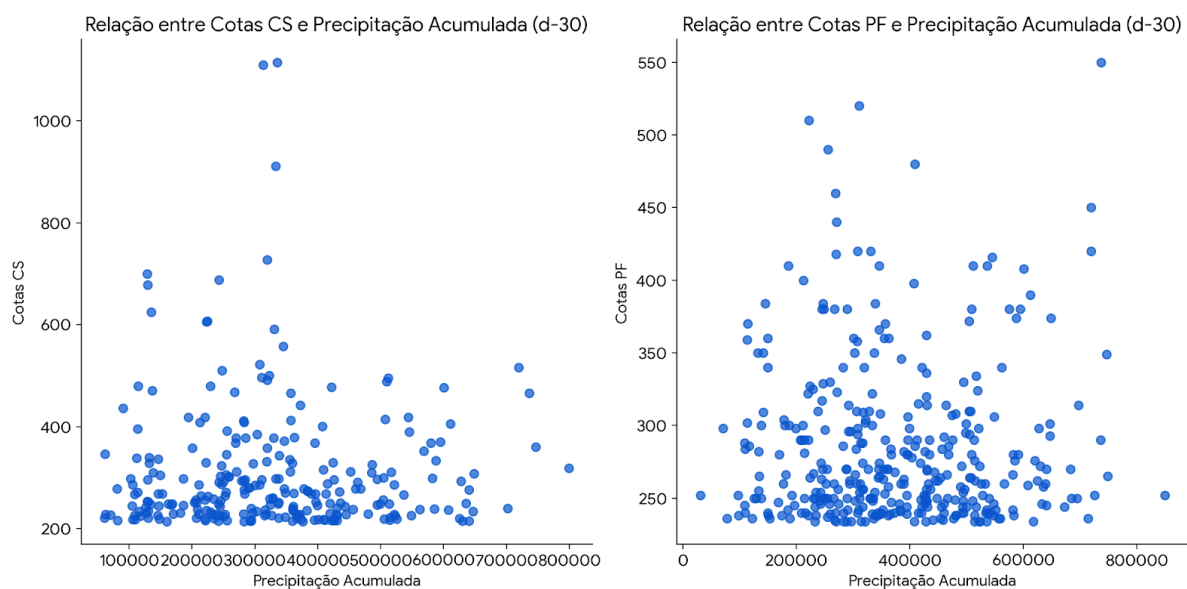


Figura 8 - Gráfico de dispersão da relação entre cotas a precipitação acumulada dos 30 dias anteriores, comparando-se o nível da cota acima da cota de alerta por estação com a intensidade de precipitação acumulada no período.

4. Considerações Finais

A análise dos dados, juntamente com as correlações tabeladas e a literatura relevante, revela uma influência significativa das precipitações no nível do Rio Cubatão do Sul. Com base nos dados analisados, verificou-se que o nível das marés não apresenta correlação com os valores de cotas mais altos identificados no estudo.

Essa constatação serve como base para novos estudos focados na prevenção de desastres. A pesquisa sugere a realização de mais estudos voltados para a prevenção de enchentes e inundações, já que chuvas intensas podem ser monitoradas por meio de sistemas de modelagem, possibilitando a criação de protocolos de alerta. Isso é particularmente importante, considerando que o rio atravessa áreas urbanas densamente povoadas.

Recomenda-se, para futuras investigações, a verificação in loco dos equipamentos da estação para avaliar suas condições de funcionamento e calibração.

5. Projeto e Código

Todo o projeto, com as tabelas, dados utilizados e o código implementado está disponível no GitHub para consulta.

https://github.com/alexandreberg/CPAM2024_Influence_Precipitation_Cubatao_do_Sul

6. Referências Bibliográficas

BALBINOT, R. et al. O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas. **Ambiência**, v. 4, n. 1, p. 131-149, 2008.

BRASIL. Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm. Acesso em: 10 ago. 2024.

CAPOZZOLI, C. R.; CARDOSO, A. O.; FERRAZ, S. E. T. Padrões de variabilidade de vazão de rios nas principais bacias brasileiras e associação com índices climáticos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 2, p. 243-254, 2017.

CERQUEIRA, A. et al. A influência da precipitação pluviométrica nos níveis do Rio Mearim-MA, Brasil, e seus impactos sociais em 2009. **DELOS: Desenvolvimento Local Sustentável**, v. 17, e1420, 2024. DOI: 10.55905/rdelosv17.n55-002.

COAN, B. P.; BACK, Á. J.; BONETTI, A. V. Precipitação mensal e anual provável no estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 15, n. 10, p. 122-142, 15 abr. 2015.

COSTA, B.; ALVES, C. Análise de tendências e padrões de variação das séries históricas de vazões do operador nacional do sistema (ONS). In: **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 19., 2011, Maceió.

FRANCESCHI, B. B.; OLIVEIRA, J. L. R. Distribuição espacial da precipitação na bacia hidrográfica do Rio Cubatão Sul - SC. In: **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2017, Florianópolis. Florianópolis: ABRHidro, 2017.

LIMA, J. E. F. W.; MONTENEGRO, S.; MONTENEGRO, A. A.; KOIDE, S. Comparative hydrology: relationships among physical characteristics, hydrological behavior, and results of the SWAT model in different regions of Brazil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 6, p. 1187-1195, 2015.

PEREIRA, M. A. F.; KOBİYAMA, M. Análise de variâncias pluviométricas na região da bacia hidrográfica do Cubatão do Sul (SC). **Revista Ambiente**, v. 9, n. 1, p. 95-111, 1 abr. 2013.

PORTO, M.; PORTO, R. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 43-60, jun. 2008.

ROCHA, P. C.; SANTOS, A. A. Hydrological analysis in water basins. **Mercator**, v. 17, p. 1-18, 2018.

ROZANTE, J.; MOREIRA, D.; GONÇALVES, L. G.; VILA, D. Combining TRMM and surface observations of precipitation: technique and validation over South America. **Weather Forecasting**, v. 25, 2010. DOI: 10.1175/2010WAF2222325.1.

SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. **Conceito de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus: Editus, 2002. 293 p.

SERGIO, D. Z.; FRANCO, D.; GARBOSS, L. H. P. Modelagem hidrológica da bacia do Rio Cubatão do Sul com o modelo SWAT - Soil and Water Assessment Tool, 2003.

SHIKLOMANOV, I. A. **World water resource: a new appraisal and assessment for the 21st century**. UNESCO, 1998.

SILVA, N. C. da. Eventos extremos na Amazônia e seus efeitos na dinâmica hidrológica do rio e lagos de várzea amazônicos. 2020. 157 f. Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Clima e Ambiente). Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia, Universidade do Estado do Amazonas, 2020.

SIMON, F. W.; PICKBRENNER, K.; MARCUZZO, F. F. N. Estudo do regime hídrico pluvial e fluvial em bacia hidrográfica com precipitação homogênea. In: **XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2013.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade: ABRH, 1997. 943 p.

ZAVATTINI, J. A.; BOIN, M. N. **Climatologia Geográfica: teoria e prática de pesquisa**. Campinas: Alínea, 2013.