RELAÇÕES ENTRE CLIMA E CONSUMO DE ÁGUA *PER CAPITA*: UMA ABORDAGEM GEOESTATÍSTICA PARA O ESTADO DE SANTA CATARINA

Relationships between climate and per capita water consumption: a geostatistical approach for the state of Santa Catarina

Becker, Patricia[1*]; Araujo, Fabiana Weimann[2*]; Kalbusch, Andreza[3]; Henning, Elisa[4]

[1.] Universidade do Estado de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Joinville – SC, Brasil, patricia.becker@udesc.br

[2] Universidade do Estado de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Joinville – SC, Brasil, fabiana.wa@edu.udesc.br

[3] Universidade do Estado de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Joinville – SC, Brasil, andreza.kalbusch@udesc.br

[4] Universidade do Estado de Santa Catarina, Departamento de Matemática, Joinville – SC, Brasil, elisa.henning@udesc.br

* Beneficiário de auxílio financeiro da CAPES – Brasil

RESUMO

Este estudo investiga a relação espacial entre variáveis climáticas, temperatura média anual e precipitação média diária, e o consumo de água per capita nos municípios do estado de Santa Catarina, Brasil, no ano de 2021. Foram empregadas técnicas estatísticas e geoestatísticas no software GeoDa, com aplicação de estatística descritiva e mapas coropléticos condicionados. A categorização por quantis permitiu identificar padrões espaciais considerando simultaneamente temperatura e precipitação. Os resultados indicaram maior variabilidade no consumo de água em relação às variáveis climáticas e uma tendência de maior consumo em áreas com temperaturas mais elevadas. Não foi observada uma tendência espacial clara entre consumo de água e precipitação. A abordagem geoestatística permitiu evidenciar a distribuição espacial do fenômeno em uma análise transversal, reforçando a importância de estudos longitudinais para aprofundamento. Os achados fornecem subsídios técnicos para a gestão eficiente dos recursos hídricos frente à variabilidade climática.

Palavras-chave: Consumo de água *per capita*; Análise espacial; Variáveis climáticas; Análise transversal.

ABSTRACT

This study investigates the spatial relationship between climatic variables, annual mean temperature and daily mean precipitation, and per capita water consumption in municipalities of Santa Catarina, Brazil, in 2021. Statistical and geostatistical tools were employed using the GeoDa software, with the application of descriptive statistics and conditional choropleth maps. Quantile-based categorization enabled the identification of spatial patterns considering temperature and precipitation simultaneously. The results indicated greater variability in water consumption regarding climatic variables, with higher water consumption in areas with higher temperature. No clear spatial trend was observed between water consumption and precipitation. The geostatistical approach allowed for the characterization of the spatial distribution of the phenomenon within a cross-sectional analysis, highlighting the relevance of longitudinal studies for a deeper understanding of the phenomenon. The findings provide technical support for the efficient management of water resources in the context of climate variability.

***Keywords**: Water consumption per capita; spatial analysis; climate variables; cross-sectional analysis.*

1 INTRODUÇÃO

A água desempenha um papel crucial no contexto urbano, sendo essencial para a qualidade de vida, desenvolvimento econômico e saúde ambiental (Ghadami *et al*., 2018). Estudos regionais são essenciais para compreender os impactos das mudanças climáticas na disponibilidade hídrica regional, fornecendo informações sobre a variabilidade espacial e

DOI: https://doi.org/10.46421/sispred.v4.8020

temporal da temperatura e precipitação, parâmetros necessários para a gestão eficaz dos recursos hídricos e o desenvolvimento de estratégias de adaptação e mitigação em nível regional (Brussolo *et al*., 2022).

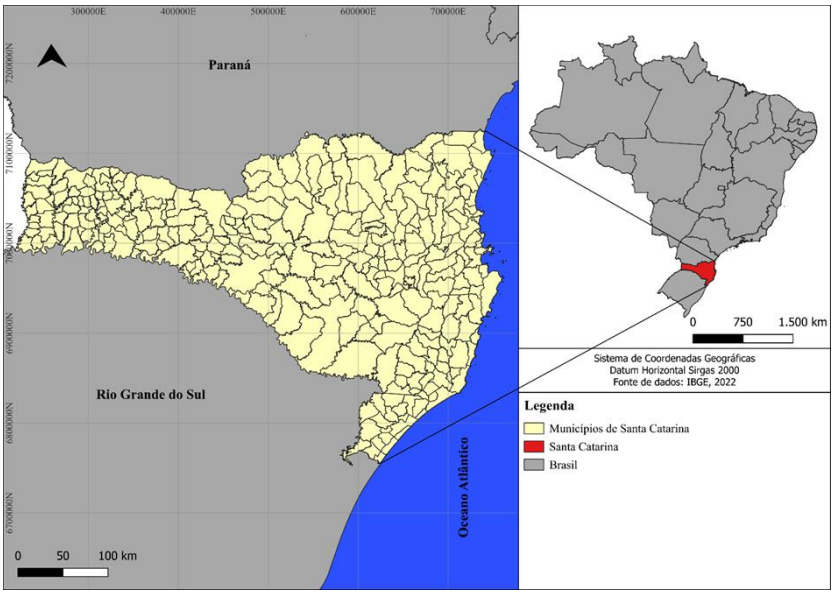
Segundo Jia, Zhuang e Wang (2017) a escassez hídrica representa um desafio crescente em regiões urbanizadas e densamente povoadas. Os autores analisaram as variações espaço-temporais e os impactos das variáveis climáticas, especialmente da temperatura. Segundo os autores, o aumento da temperatura e a redução da precipitação intensificam a pressão sobre os recursos hídricos, especialmente diante do crescimento urbano. Por fim, os resultados obtidos por Jia, Zhuang e Wang (2017) reforçam a necessidade de integrar análises espaciais e climáticas como subsídio à formulação de políticas públicas voltadas à gestão sustentável da água.

A associação espacial entre o consumo de água e as variáveis climáticas foi estudada por Chaiyasen (2021) e Makpiboon (2020). Os autores identificaram uma relação fraca entre a precipitação e a demanda hídrica, especialmente em análises de curta duração, enquanto a temperatura apresentou efeitos maiores em escalas de temporais maiores. A integração da análise exploratória e da geoestatística, com a aplicação de mapas *boxplot*, mapas de correlação e mapas condicionais, proporciona uma abordagem para a análise e visualização de dados espaciais (Varouchakis, 2019). Este estudo tem como objetivo investigar a relação espacial entre o consumo de água *per capita* e variáveis climáticas (temperatura média anual e precipitação média diária), por meio de análises exploratórias e técnicas geoestatísticas, considerando um recorte geográfico transversal composto pelos municípios do estado de Santa Catarina, Brasil, no ano de 2021.

2 MÉTODO

Este trabalho avalia o consumo de água *per capita* e variáveis climáticas do estado de Santa Catarina, Sul do Brasil, abrangendo 295 municípios (IBGE, 2024), conforme Figura 1. Este estado apresenta índice de 84,36% dos domicílios ligados à rede de abastecimento de água (IBGE, 2024).

Figura 1 - Localização geográfica da área de estudo



Fonte: Autores (2025).

Neste trabalho, as variáveis analisadas são o consumo de água per capita, a temperatura média anual e a precipitação média diária, todas referentes aos dados municipais do ano de 2021. O indicador de consumo *per capita* (L/hab./dia) analisado neste trabalho foi obtido a partir de informações disponibilizadas no banco de dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2022). Este indicador é calculado conforme a Equação 1 (SNIS, 2022).

$$Consumo\ médio\ per\ capita\ de\ água = \frac{AG10 - AG019}{AG001} x \frac{1.000.000}{365} \quad \text{(Eq. 1)}$$

sendo:

$AG10$, volume anual de água consumido por todos os usuários (1.000 m³/ano);

$AG019$, volume anual de água potável transferido para outros distribuidores (1.000 m³/ano);

$AG001$, população total atendida com abastecimento de água (habitantes).

Neste estudo, foram utilizados dados de temperatura extraídos do conjunto de dados ERA5-Land e dados de precipitação provenientes do conjunto ERA5. O ERA5-Land reproduz o componente terrestre da reanálise climática do ERA5 do Centro Europeu de Previsões Meteorológicas de Médio Prazo (ECMWF) (Muñoz Sabater, 2019). As variáveis climáticas utilizadas no estudo foram a precipitação média diária (mm/dia) e a temperatura média anual (°C), ambos referentes ao ano de 2021. A precipitação média diária foi obtida a partir da divisão do total anual acumulado (em milímetros) pelo número de dias do ano (365). Já a temperatura foi calculada como a média dos valores diários registrados em 2021, refletindo a condição térmica média anual de cada município. O processamento das imagens foi realizado no QGIS (QGIS Development Team, 2025), utilizando o mapa municipal oficial do IBGE (2024) em formato *shapefile*.

Para análise exploratória inicialmente foram calculadas as estatísticas descritivas. A distribuição espacial das variáveis foi representada por meio de mapas *boxplot* espaciais. Nessa abordagem, os municípios foram classificados de acordo com os quartis estatísticos (Q1, Q2 e Q3), o que possibilitou a segmentação dos dados em faixas representativas. Essa categorização permitiu identificar variações espaciais nos valores observados, destacando visualmente regiões com concentrações elevadas, medianas ou extremas (*outliers*), contribuindo para a compreensão dos padrões geográficos das variáveis analisada. Foram excluídos dos mapas os municípios com valores atípicos de consumo, temperatura ou precipitação, identificados pelo critério de 1,5 × IQR, (Intervalo Interquartil) a fim de evitar distorções na análise espacial (Greco *et al*., 2024).

Para analisar as variações espaciais do consumo de água em função das condições climáticas, foi utilizado o recurso de mapa coroplético condicionado disponível no *software* GeoDa (Anselin *et al*., 2006). A abordagem bivariada permite visualizar o comportamento espacial de uma variável principal, o consumo de água *per capita*, condicionado simultaneamente a duas variáveis explicativas, temperatura média anual e precipitação média diária.

As variáveis contínuas de temperatura e precipitação foram transformadas em categorias utilizando o método dos quantis, que permite dividir os dados em faixas com quantidades aproximadamente iguais de municípios. As categorias foram classificadas de modo a garantir que cada grupo contenha um número aproximadamente igual de dados. Entre os quantis, destacam-se os quartis, que correspondem a divisões específicas: o primeiro quartil (Q1) refere-se ao quantil 0,25; o segundo quartil (Q2), ao quantil 0,50 (mediana); e o terceiro quartil

(Q3), ao quantil 0,75. A categorização foi realizada em quartis (0,25; 0,50; 0,75), resultando em três classes para cada variável: baixa, média e alta (Anselin *et al.,* 2006). Essa classificação permitiu a preparação de mapas temáticos organizados em uma matriz de nove painéis (3×3), e cada painel representa o consumo de água sob uma combinação dos níveis de temperatura e precipitação. Segundo Gerac (2016) e Dong Nakayama (2020), quantis são valores que dividem a classificação acumulada de uma variável aleatória em intervalos regulares utilizados para apresentar a distribuição de dados.

Foram elaborados mapas coropléticos condicionados univariados em que no primeiro conjunto o eixo X representou as categorias da variável explicativa precipitação média diária, enquanto no segundo conjunto foram utilizadas as faixas da variável explicativa temperatura média anual. Cada variável foi dividida em três categorias com base nos quantis estatísticos. Essa categorização permitiu representar, em painéis horizontais, a distribuição espacial do consumo de água conforme os diferentes níveis de cada variável climática. Essas metodologias permitem avaliar se há associação entre os valores de uma variável em um município e os valores de outra variável nos municípios vizinhos, considerando a autocorrelação espacial local (Bechini, 2003).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são representadas as medidas descritivas: média, mediana, valores mínimo e máximo, desvio padrão e o coeficiente de variação (CV). A análise estatística descritiva dos dados de consumo de água *per capita*, temperatura média anual e precipitação média diária para os 295 municípios de Santa Catarina analisados são do ano de 2021.

Tabela 1 - Estatística descritiva

Parâmetro	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio padrão	CV (%)
Consumo de água *per capita* (L/hab./dia)	117,42	112,34	60,87	184,79	22,44	19,11
Precipitação média diária (mm/dia)	4,09	3,85	3,12	6,48	0,66	16,14
Temperatura média anual (ºC)	18,10	18,20	14,08	20,69	2,14	11,82.

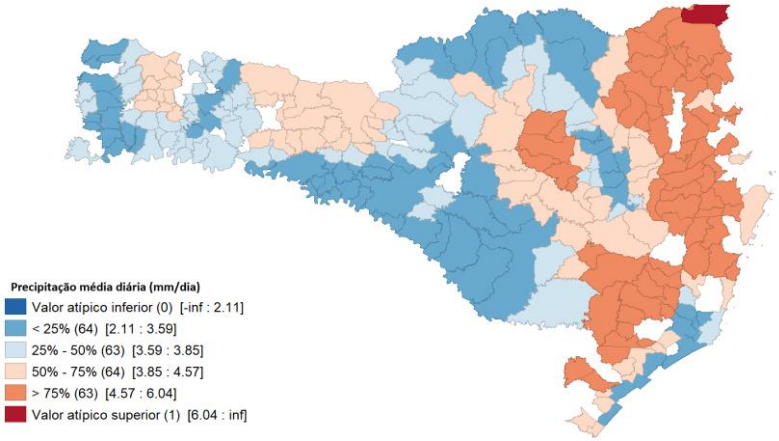
Fonte: autoras (2025).

Na Tabela 1, consumo de *água per capita* variou de 60,87 a 184,79 L/hab./dia, com alta variabilidade entre os municípios. A temperatura média anual teve variação moderada, entre 14,08°C e 20,69°C. A precipitação média diária apresentou baixa variação, de 3,12 a 6,48 mm/dia. Os resultados apontam que o consumo de água *per capita*, apresenta valores médios inferiores ao da média nacional do ano de 2021, que é de 150,7 litros *per capita* (SNIS, 2023).

Nas Figuras 2, 3 e 4, a distribuição espacial das variáveis foi representada por meio de mapas *boxplot* espaciais. Os municípios em branco não entraram na análise por apresentarem dados faltantes ou por terem sido identificados com base no critério de 1,5 × IQR (intervalo

interquartil). Estes municípios foram excluídos da análise a fim de evitar distorções na representação dos padrões espaciais.

Figura 2 - Mapa *Boxplot* da precipitação média diária (mm/dia)

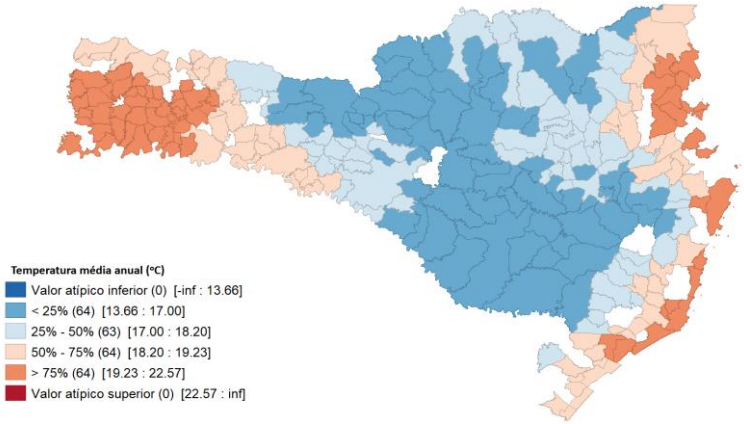


Fonte: autoras (2025).

O mapa *boxplot* da Figura 2, que apresenta a precipitação média diária, demonstrou uma distribuição relativamente homogênea entre os municípios, com a maioria concentrada em torno da mediana de 3,85 mm/dia. Os municípios do oeste catarinense registraram os menores níveis de precipitação diária. Por sua vez, as regiões do litoral norte e da serra apresentaram os maiores índices de precipitação.

Na Figura 3, o mapa *boxplot* da temperatura média anual apresenta uma distribuição espacial relativamente homogênea entre os municípios catarinenses, com a maioria dos dados situados próximos à mediana de 18,20°C. Os valores mais baixos de temperatura foram identificados em áreas de maior altitude, como a região serrana, em que alguns municípios, como Bom Jardim da Serra e Urupema, apresentaram valores próximos ao mínimo observado (14,08°C). Por sua vez, municípios localizados no litoral, como Florianópolis e Joinville, apresentaram temperaturas mais elevadas, refletindo a influência do clima subtropical úmido. No Oeste, são observadas temperaturas altas devido à proximidade da Baixa do Chaco, região de convergência de massa de ar tropical (Monteiro, 2001).

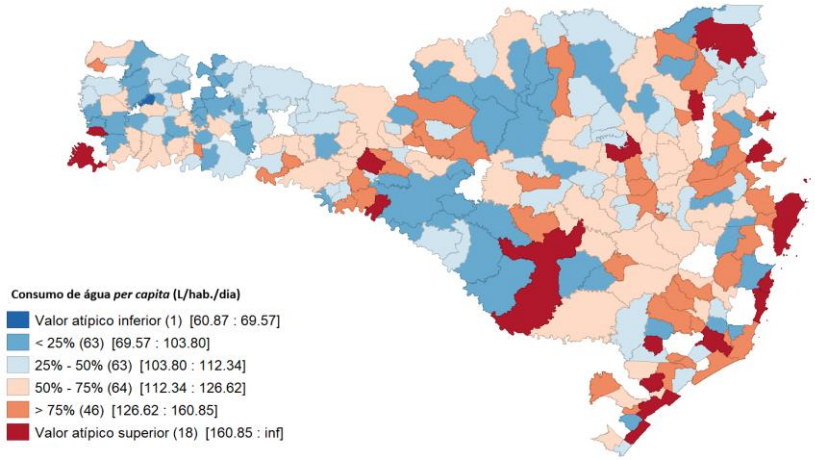
Figura 3 - Mapa *Boxplot* da temperatura média anual (ºC)



Fonte: autoras (2025).

A Figura 4 revela que a maioria dos municípios apresenta consumo de água *per capita* entre 100 e 120 L/hab./dia, próximos à mediana. No entanto, municípios como Joinville, Florianópolis e Itapiranga destacaram-se com valores mais altos, sendo classificados como *outliers* por excederem 160,85 L/hab./dia.

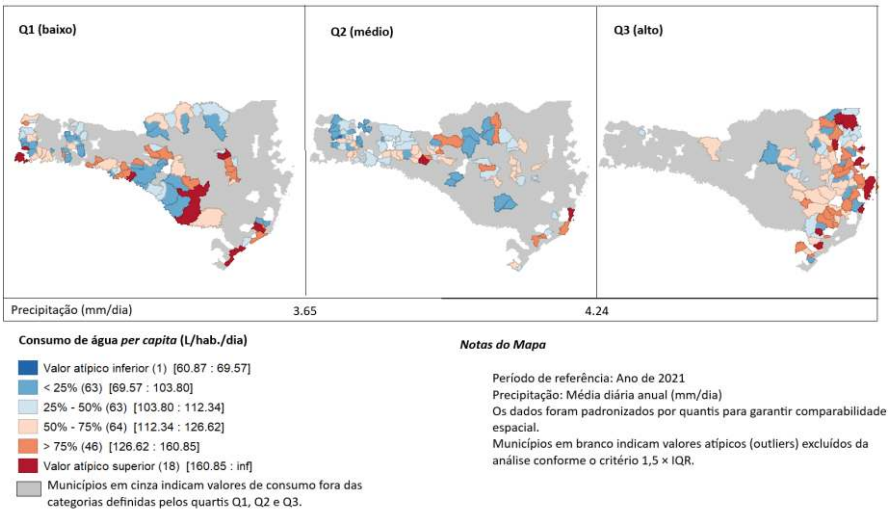
Figura 4 - Mapa *Boxplot* do consumo de água *per capita* (L/hab./dia).



Fonte: autoras (2025).

Na Figura 5, a categorização do consumo de água *per capita* com base na variável explicativa precipitação média diária demonstra uma distribuição heterogênea dos valores entre os municípios de Santa Catarina. A maior concentração de municípios situa-se entre os quartis Q1 e Q3 (de 103,80 a 126,62 L/hab./dia), o que representa uma faixa intermediária de consumo e abrange a maior parte da distribuição. Municípios com baixa precipitação média diária tendem a se concentrar nas faixas inferiores de consumo (abaixo de 103,80 L/hab./dia), especialmente nas categorias <25% e 25%-50%, o que pode indicar uma limitação no uso da água decorrente da menor disponibilidade hídrica.

Figura 5 - Mapa coroplético univariado entre precipitação e consumo *per capita* de água

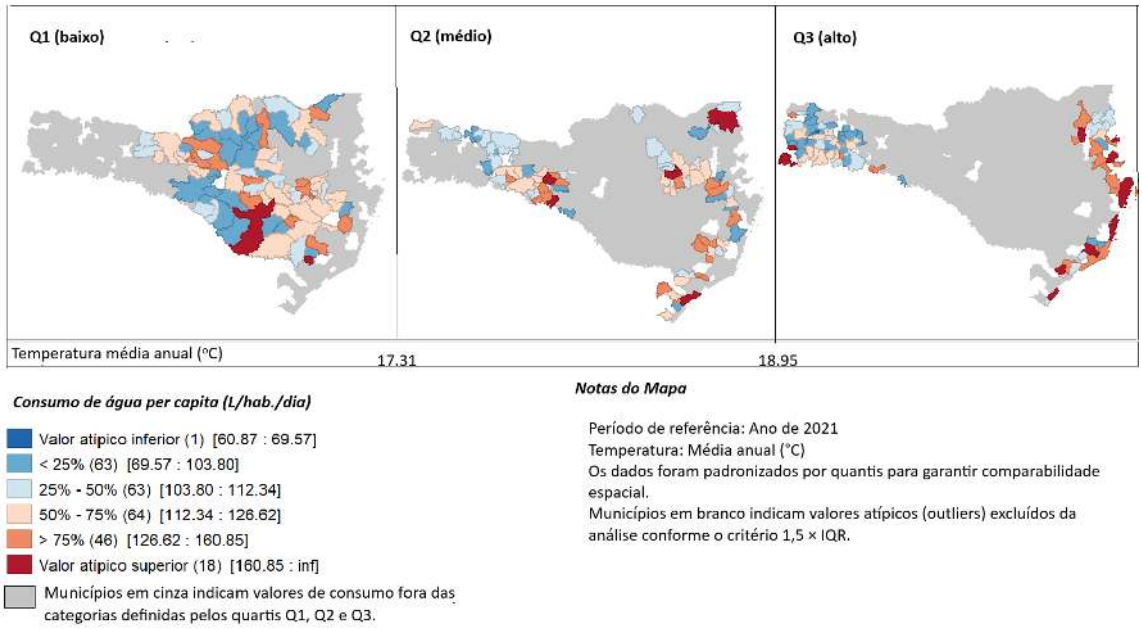


Fonte: autoras (2025)

Na Figura 6, a classificação permite uma representação espacial do consumo e de como os valores se distribuem em relação à variável explicativa temperatura. A presença de municípios

com valores atípicos superiores indica locais com demanda de água consideravelmente maior do que a média da amostra, que é 117,42 L/hab./dia. A maior concentração de municípios nas faixas intermediárias (25% a 75%) sugere uma distribuição relativamente homogênea em boa parte do território. Os painéis horizontais do mapa indicam variação em função da temperatura média anual (baixa, média e alta). É possível verificar tendência de aumento no consumo nas faixas de temperatura mais elevadas, onde se concentram os municípios classificados nos quartis superiores ou como *outliers* positivos. Em contrapartida, faixas com temperaturas mais baixas tendem a concentrar os municípios com menor consumo, embora haja exceções, como o município de Lages.

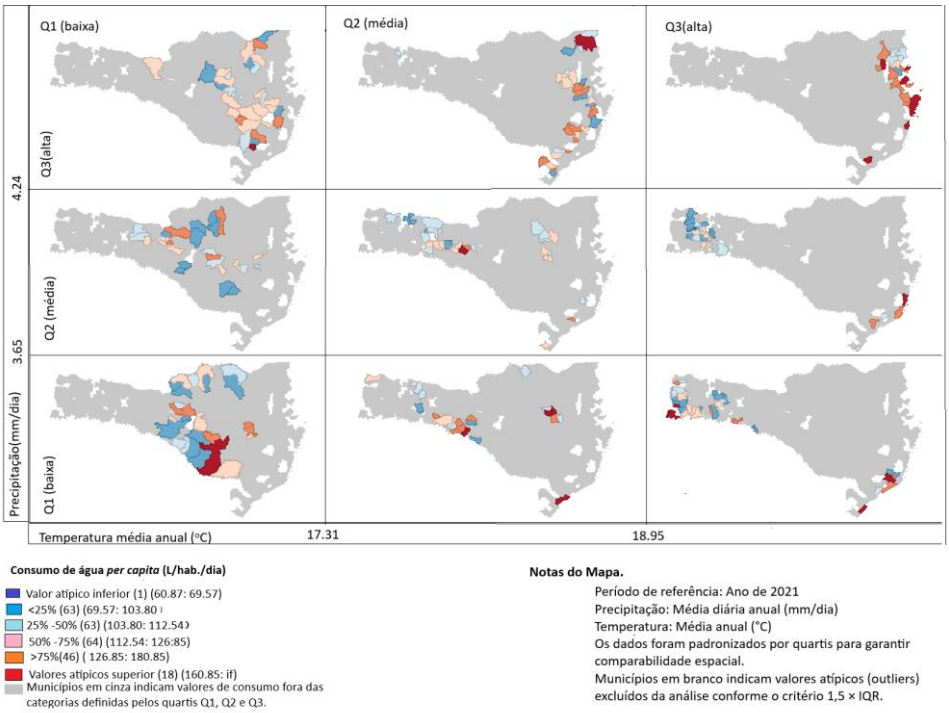
Figura 6 - Mapa coroplético univariado entre temperatura e consumo *per capita* de água.



Fonte: autoras (2025)

Na Figura 7, ao condicionar a análise das três categorias da variável explicativa precipitação (baixo, médio e alto) com três categorias da variável explicativa temperatura (baixa, média e alta), tem-se nove combinações possíveis. Cada painel do mapa representa uma dessas combinações, e a cor dos municípios indica a intensidade do consumo.

Figura 7 - Mapa coroplético condicional bivariado: precipitação e temperatura.



Fonte: autoras (2025)

A análise bivariada das variáveis explicativas precipitação e temperatura em relação à variável resposta consumo de água *per capita* revelou uma distribuição heterogênea entre os municípios de Santa Catarina. No entanto, algumas combinações indicam maior propensão ao consumo mais elevado. Em locais com alta temperatura e alta precipitação, o consumo também pode ser alto, por causa do uso excessivo de água em atividades relacionadas ao calor, por exemplo. Segundo Chaiyasen (2021) e Makpiboon (2020), estudos longitudinais, que acompanham a evolução das variáveis ao longo do tempo em uma mesma localidade, são recomendados para capturar com maior precisão os efeitos da variabilidade climática sobre o consumo de água.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo evidenciou a importância da análise espacial na compreensão das relações entre variáveis climáticas e o consumo de água *per capita* no estado de Santa Catarina. Os mapas coropléticos univariados permitiram identificar padrões regionais de consumo e sua distribuição em faixas baseadas em quartis, destacando áreas com valores atípicos. Os mapas bivariados, que integraram a precipitação e a temperatura, ampliaram a capacidade de análise espacial ao evidenciar padrões conjuntos entre variáveis climáticas e o consumo de água *per capita.*

Destaca-se, como limitação, o recorte transversal da análise, restrita ao ano de 2021, o que limita a inferência de relações causais e a identificação de tendências temporais. Nesse sentido, recomenda-se análise longitudinais. A análise geoestatística e os mapas espaciais permitiram observar padrões regionais e reforçam a importância de integrar variáveis climáticas na gestão do uso de água urbana. Para estudos futuros, recomenda-se a incorporação de dados socioeconômicos e a análise em séries temporais para aprofundar a compreensão dos fatores que influenciam a variabilidade do consumo de água *per capita*.

Recomenda-se, para estudos futuros, o uso de índices de autocorrelação espacial local, como o LISA, a fim de aprofundar a identificação de padrões espaciais.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da CAPES, entidade do Governo Brasileiro voltada para a formação de recursos humano. As autoras agradecem o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina – FAPESC (2023TR000334) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq.

REFERÊNCIAS

ANSELIN, L.; SYABRI, I.; KHO, Y**.** GeoDa: An introduction to spatial data analysis**.** ***Geographical Analysis***, v. 38, n. 1, p. 5–22, 2006.

BECHINI, L.; BOCCHI, S.; MAGGIORE, T. Spatial interpolation of soil physical properties for irrigation planning: A simulation study in northern Italy. **European Journal of Agronomy**, v. 19, n. 1, p. 1-14, 2003.

BRUSSOLO, E., PALAZZI, E., VON HARDENBERG, J., MASETTI, G., VIVALDO, G., PREVIATI, M., CANONE, D., GISOLO, D., BEVILACQUA, I., PROVENZALE, A., AND FERRARIS, S.: Aquifer recharge in the Piedmont Alpine zone: historical trends and future scenarios, **Hydrol. Earth Syst. Sci.,** 26, 407–427, https://doi.org/10.5194/hess-26-407- 2022.

CHAIYASEN, B.; MAKPIBOON, C.; PORNPROMMIN, A.; LIPIWATTANAKARN, S. Temporal scale impacts of weather variables on urban water demand**. Suranaree Journal of Science & Technology**, v. 28, p. 71–77, 2021.

DONG, H., NAKAYAMA, M.K. (2020). **A Tutorial on Quantile Estimation via Monte Carlo**. In: Tuffin, B., L'Ecuyer, P. (eds) Monte Carlo and Quasi-Monte Carlo Methods. MCQMC 2018. Springer Proceedings in Mathematics & Statistics, vol 324. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-43465-6_1

ERSBACH, H.; BELL, B.; BERRISFORD, P.; BIAVATI, G.; HORÁNYI, A.; MUÑOZ SABATER, J. **ERA5 monthly averaged data on single levels from 1940 to present.** Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS), 2023. Disponível em: https://doi.org/10.24381/cds.f17050d7. Acesso em: 01 set. 2024.

GERACI, M. Qtools: A collection of models and tools for quantile inference **The R Journal** v.8, pp.117-138. (2016),

GHADAMI, F., TAKHTFIROOZEH, S., RAJABI, Z., AKBARI, H., & RABBANI, D. Modeling of water consumption per capita in Kashan as an Iranian desert area with a view to Global warming. **Journal of Entomological Research,***42*(1), 143-150. (2018).

GRECO, Luca; LUTA, George; WILCOX, Rand. On testing the equality between interquartile ranges. **Computational statistics**, v. 39, n. 5, p. 2873-2898, 2024.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico de 2022. 2022. Disponível em: http://www.censo2022.ibge.gov.br/. Acesso em: 18 maio 2024.

JIA, Pengpeng; ZHUANG, Dafang; WANG, Yong. Impacts of temperature and precipitation on the spatiotemporal distribution of water resources in Chinese mega cities: the case of Beijing.

Journal of Water and Climate Change, v. 8, n. 4, p. 593-612, 2017.

MAKPIBOON, C.; PORNPROMMIN, A.; LIPIWATTANAKARN, S. Impacts of weather variables on urban water demand at multiple temporal scales**. GEOMATE Journal,** v. 18, n. 67, p. 71–77, 2020.

MONTEIRO, Maurici Amantino. **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.

MUÑOZ Sabater, J. **ERA5-Land monthly averaged data from 1950 to present**. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS), 2019. Disponível em: https://doi.org/10.24381/cds.68d2bb30. Acesso em: 01 set. 2024.

PERVEEN, Shama; ALLAN James, L. Changes in correlation coefficients with spatial scale and implications for water resources and vulnerability data. **The Professional Geographer**, v. 64, n. 3, p. 389-400, 2012.

QGIS Development Team, 2025. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. http://qgis.osgeo.org

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). **Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto. Gestão Técnica de Água ano de referência 2021**. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional, 2023. https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/Snis/AGUA_E_ESGOTO/DIAGNOSTICO_TEMATICO_GESTAO_TECNICA_DE_AGUA_AE_SNIS_MAI_2023.pdf. Acesso em: 25 jun. 2025.

VAROUCHAKIS, E. A. **Geostatistics: mathematical and statistical basis**. In: Spatiotemporal analysis of extreme hydrological events**.** p. 1-38, Elsevier, 2019.