SEGMENTAÇÃO DOS MUNICÍPIOS CATARINENSES COM BASE EM INDICADORES URBANOS E ANÁLISE DO CONSUMO DE ÁGUA

Segmentation of Santa Catarina Municipalities Based on Urban Indicators and Water Consumption Analysis

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

[1] Universidade do Estado de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Joinville – SC, Brasil, fabiana.wa@edu.udesc.br
[2] Universidade do Estado de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Joinville – SC, Brasil, patricia.becker@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 aplicou a técnica de *formação de cluster K-means* para segmentar os municípios catarinenses com base em densidade urbana e percentual de área urbana, com o objetivo de analisar padrões de consumo de água *per capita*. Após a formação dos *clusters*, analisou-se o consumo de água *per capita* de cada grupo. Foram identificados quatro grupos distintos, os quais apresentaram diferenças estatisticamente significativas em todas as variáveis analisadas. Municípios com maior urbanização concentraram-se nos *clusters* com maior consumo de água *per capita*, apresentando médias de 189,76 litros/hab./dia (*cluster* 3) e 201,11 litros/hab./dia (*cluster* 4). Os municípios menos urbanizados apresentaram padrões de consumo de água *per capita* mais baixos, com médias de 129,26 litros/hab./dia (*cluster* 1) e 123,67 litros/hab./dia (*cluster* 2). Os testes de *Kruskal-Wallis* e *Dunn* confirmaram as diferenças entre os grupos. A abordagem evidencia como indicadores urbanos podem auxiliar no entendimento da demanda por recursos hídricos, contribuindo para o planejamento integrado e gestão territorial.

Palavras-chave: *Cluster*; Consumo de água *per capita*; Urbanização.

ABSTRACT

This study applied the K-means clustering technique to segment the municipalities of Santa Catarina based on urban density and the percentage of urban area, with the aim of analyzing patterns of per capita water consumption. After clustering, the per capita water consumption of each group was analyzed. Four distinct groups were identified, which showed statistically significant differences for all analyzed variables. Municipalities with higher levels of urbanization were concentrated in the clusters with higher per capita water consumption, with averages of 189,76 liters/inhab./day (cluster 3) and 201,11 liters/inhab./day (cluster 4). Less urbanized municipalities showed lower consumption patterns, with averages of 129,26 liters/inhab./day (cluster 1) and 123,67 liters/inhab./day (cluster 2). Kruskal-Wallis and Dunn tests confirmed the differences between the groups. The approach highlights how urban indicators can help understand the demand for water resources, contributing to territorial planning and management.

Keywords: *Cluster; Per capita water consumption; Urbanization.*

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso para a sobrevivência e o desenvolvimento humano, e sua gestão sustentável é essencial para atender às crescentes demandas das populações urbanas (Wang *et al.*, 2024). Nas últimas décadas, a rápida urbanização e o crescimento populacional têm ampliado os problemas relacionados à água, incluindo a escassez hídrica, a degradação da

DOI: https://doi.org/10.46421/sispred.v4.7826

qualidade da água, o aumento da frequência de enchentes e os impactos sobre o fornecimento de energia (Du *et al.*, 2022).

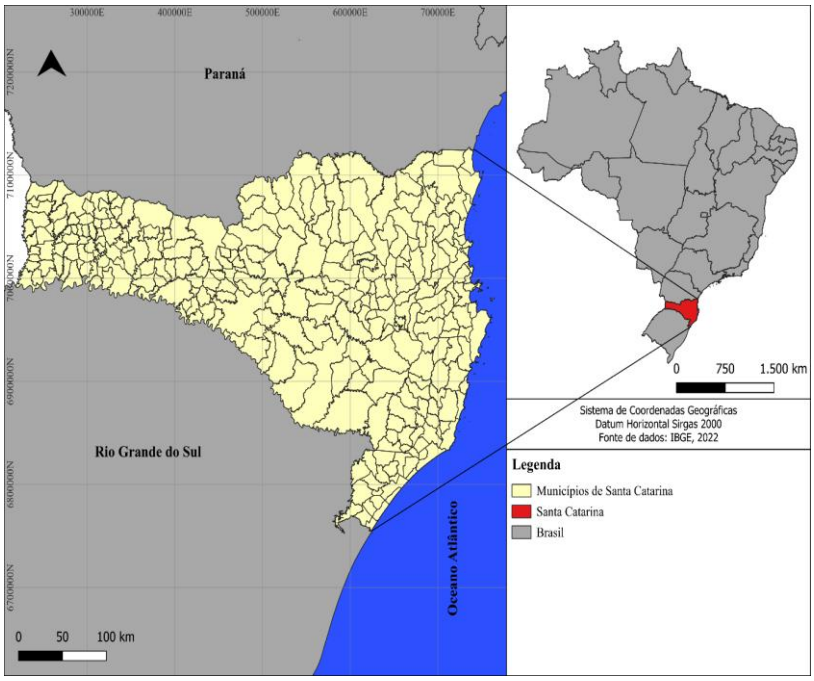
A urbanização resulta em maior demanda por infraestrutura e serviços urbanos, especialmente no que se refere ao consumo de água (Long *et al.*, 2019). Para ter equilíbrio entre desenvolvimento urbano e conservação ambiental, é fundamental limitar o ritmo de expansão das áreas urbanizadas, adotando políticas de crescimento urbano mais controlado e sustentável (Deng *et al.*, 2021).

Este estudo propõe identificar como os padrões de urbanização influenciam o consumo de água *per capita* por meio da análise de *clusters* utilizando a área e a densidade urbanas como variáveis para a formação de *clusters*. O objetivo de agrupar as observações em *clusters* é que o grau de associação seja forte entre os membros do mesmo *cluster* e fraco entre membros de *clusters* diferentes (Fontdecaba *et al.*, 2012). Esse processo pode revelar associações e estruturas nos dados que, embora não fossem previamente evidentes, tornam-se compreensíveis uma vez descobertas (Fontdecaba *et al*., 2012).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho abrange os municípios de Santa Catarina, conforme Figura 1. O estado possui área de 95.730,69 km² e 295 municípios, com população de 7.610.361 habitantes (IBGE, 2024).

Figura 1 – Área de estudo - Santa Catarina



Fonte: Autores (2025)

Os dados utilizados referem-se ao ano de 2022. Foram analisados 285 municípios, pois dez não possuem dados de consumo de água *per capita* para 2022. A população urbana foi obtida no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2025). A área urbana dos municípios foi extraída a partir de imagem com classificação de uso do solo do MapBiomas (MapBiomas,

2025). Os dados de consumo de água *per capita* foram obtidos junto ao Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2024).

A variável área urbana foi dividida pela área total de cada município transformando-se em proporção (% de área urbana). A densidade urbana foi calculada dividindo-se a população urbana pela área urbana (hab./km²). O consumo de água médio *per capita* refere-se à média diária, por indivíduo, dos volumes utilizados para os consumos domésticos, comercial, público e industrial (Brasil; Ministério do Desenvolvimento Regional; Secretaria Nacional de Saneamento, 2020). O consumo médio *per capita* de água (litros/hab./dia) é calculado conforme a Equação 1 (SNIS, 2024).

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

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).

Para a formação dos *clusters*, utilizou-se o método *K-means*, que divide todas as observações em *k clusters*, nos quais cada observação pertence ao *cluster* cuja média é a mais próxima (Fontdecaba *et al*., 2012). O primeiro passo na análise de *cluster* é a criação da matriz de similaridade ou distância, sendo a mais comum a distância euclidiana (Fontdecaba *et al.*, 2012). Assim, a métrica de distância utilizada foi a distância euclidiana, e os dados foram previamente padronizados. A análise foi realizada por meio do software GeoDa versão 1.22.0.14.

O número ideal de *clusters* foi determinado pelos métodos do cotovelo e do coeficiente de silhueta. O método do cotovelo tem como objetivo encontrar uma inflexão na progressão da função da soma dos quadrados intra-*clusters* (WSS) ou da razão entre a soma dos quadrados entre *clusters* e o total em relação ao número de *clusters* (Anselin, 2024). O coeficiente de silhueta mede a compacidade e a separação dos *clusters*, com valores que variam de −1 a 1, sendo que valores mais próximos de 1 indicam um melhor desempenho da formação de *clusters* (Wang *et al.*, 2024). Após a definição dos *clusters*, analisou-se o consumo médio *per capita* de água para cada grupo. Para verificar a existência de diferenças estatísticas significativas entre os *clusters*, foi aplicado o teste de Kruskal-Wallis, em seguida, utilizou-se o teste de Dunn para identificar quais grupos apresentaram essas diferenças (Borge *et al.*, 2022).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta o sumário estatístico das variáveis utilizadas para a formação de *clusters*, proporção de área urbana e densidade urbana, e a variável de posterior análise, consumo de água *per capita*.

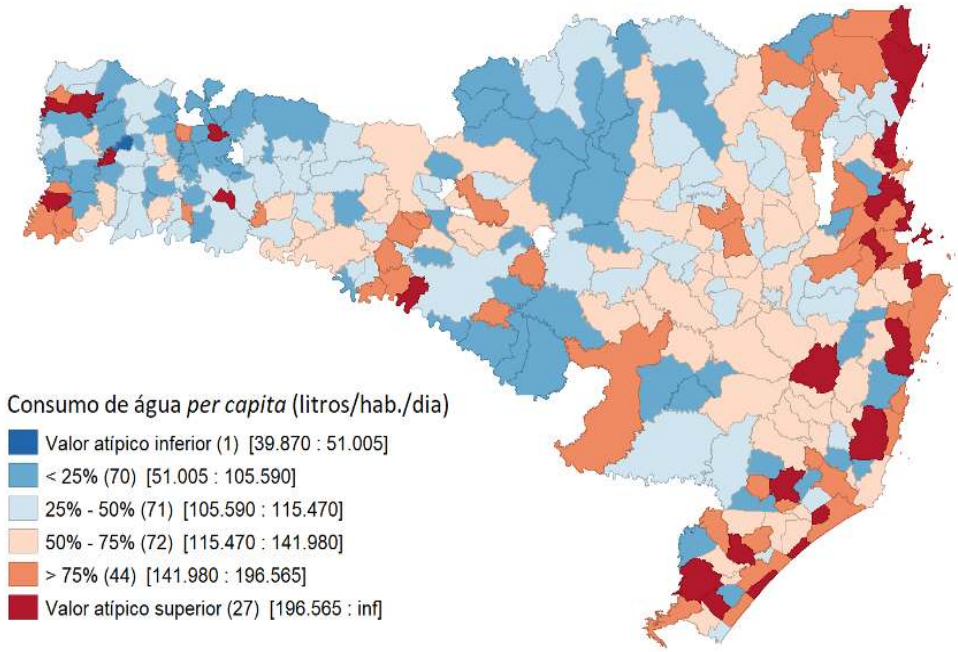
Tabela 1 - Sumário estatístico

Variável	Mínimo	1°Q	Mediana	Média	3°Q	Máximo	Desvio padrão
Consumo de água *per capita* médio (litros/hab./dia)	39,87	105,59	115,47	133,23	141,98	543,09	55,82
Proporção de área urbana (%)	0,033	0,39	0,81	2,70	2,19	33,51	4,80
Densidade urbana (hab./km²)	760,3	2152,8	2633,3	2776,5	3187,9	9182,1	983,84

Fonte: Autor

A Figura 2 apresenta o mapa boxplot (*box map*) (Anselin, 1999; Anselin; Syabri; Kho, 2006) do consumo de água *per capita*. Observa-se que os municípios do litoral, em geral, apresentam consumo de água *per capita* mais elevado.

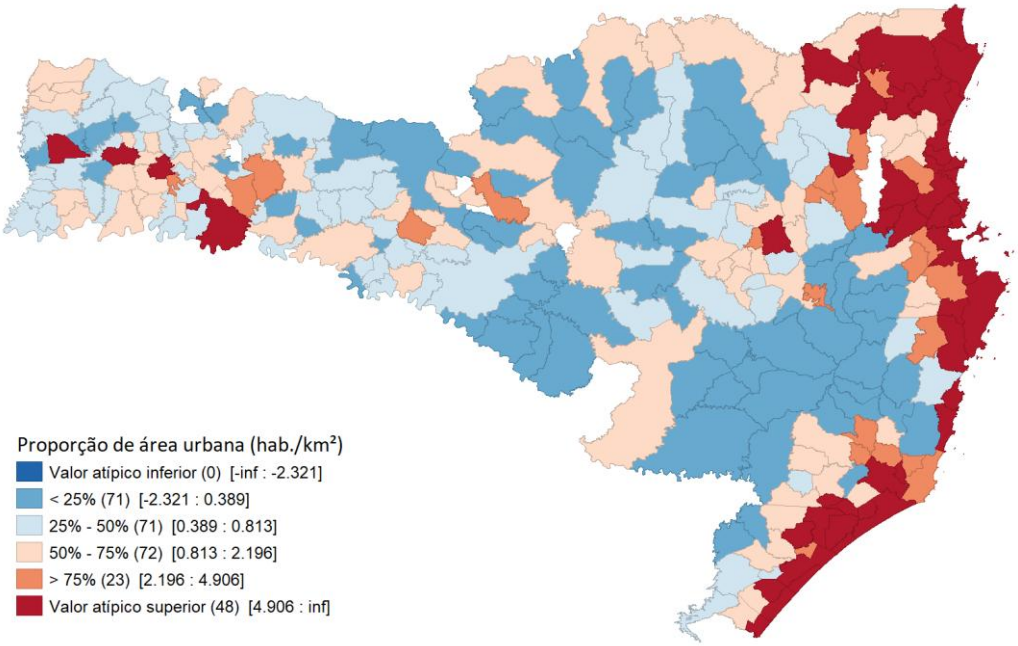
Figura 2- Mapa boxplot do consumo de água *per capita* municipal



Fonte: Autores (2025)

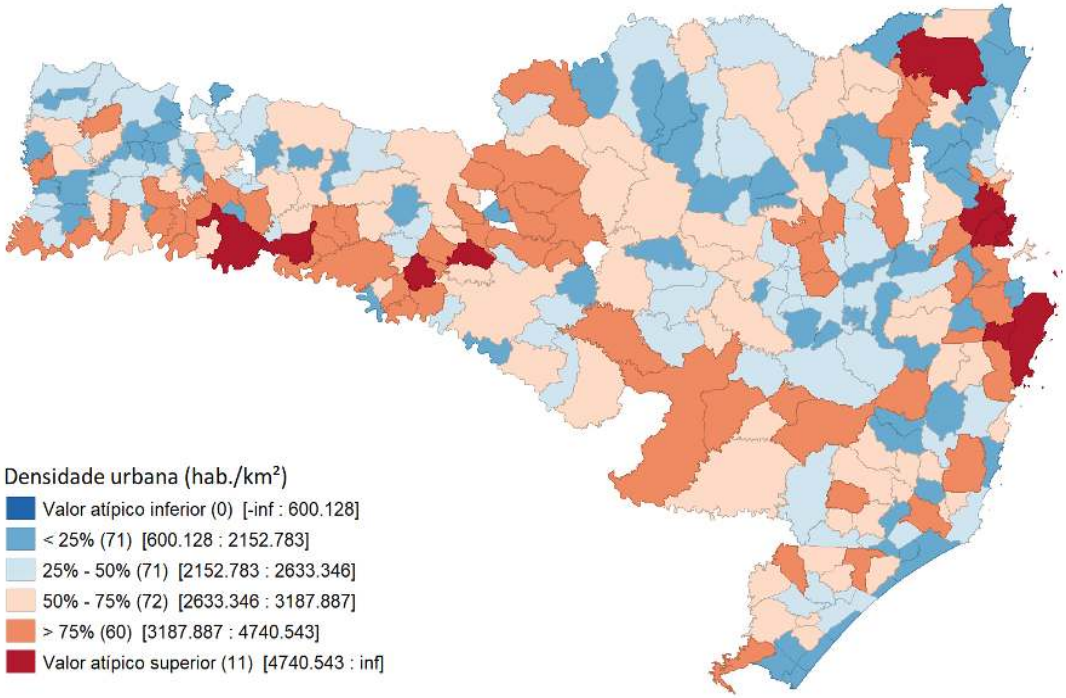
Os mapas boxplot das Figuras 3 e 4 ilustram a distribuição da proporção de área urbana e da densidade urbana, respectivamente. Nota-se que a proporção de área urbana é maior em regiões litorâneas. Em contrapartida, a densidade urbana apresenta uma quantidade menor de valores atípicos e uma distribuição de valores mais uniforme.

Figura 3 – Mapa boxplot da proporção de área urbana municipal



Fonte: Autores (2025)

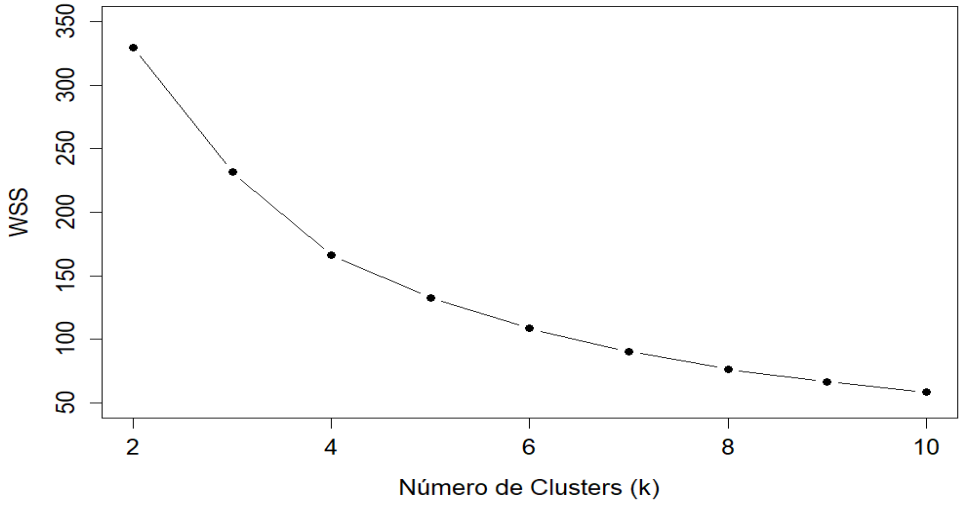
Figura 4 – Mapa boxplot da densidade urbana municipal



Fonte: Autores (2025)

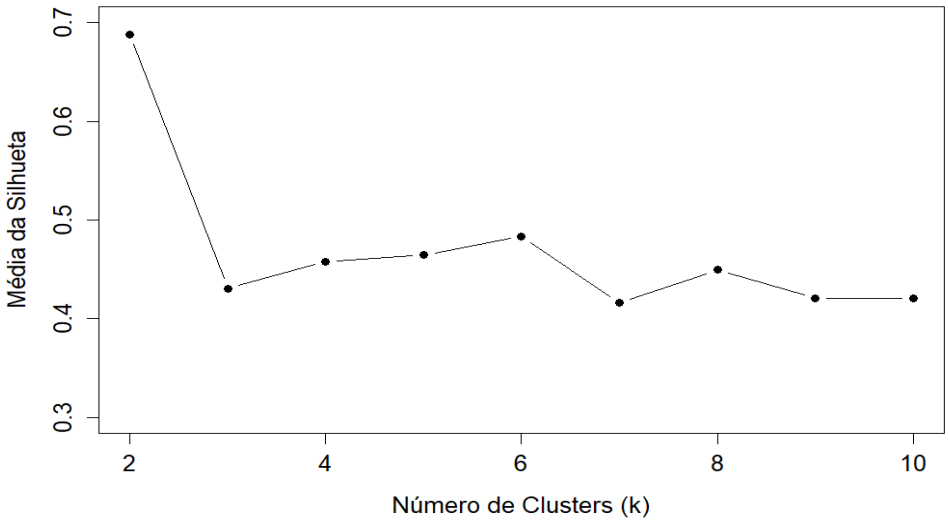
Os resultados da escolha do número ótimo de *clusters* por meio do método do cotovelo e da análise da média da silhueta podem ser visualizados nas Figuras 5 e 6, respectivamente.

Figura 5 – Gráfico resultante do método do cotovelo



Fonte: Autores (2025)

Figura 6 – Gráfico resultante do método da silhueta

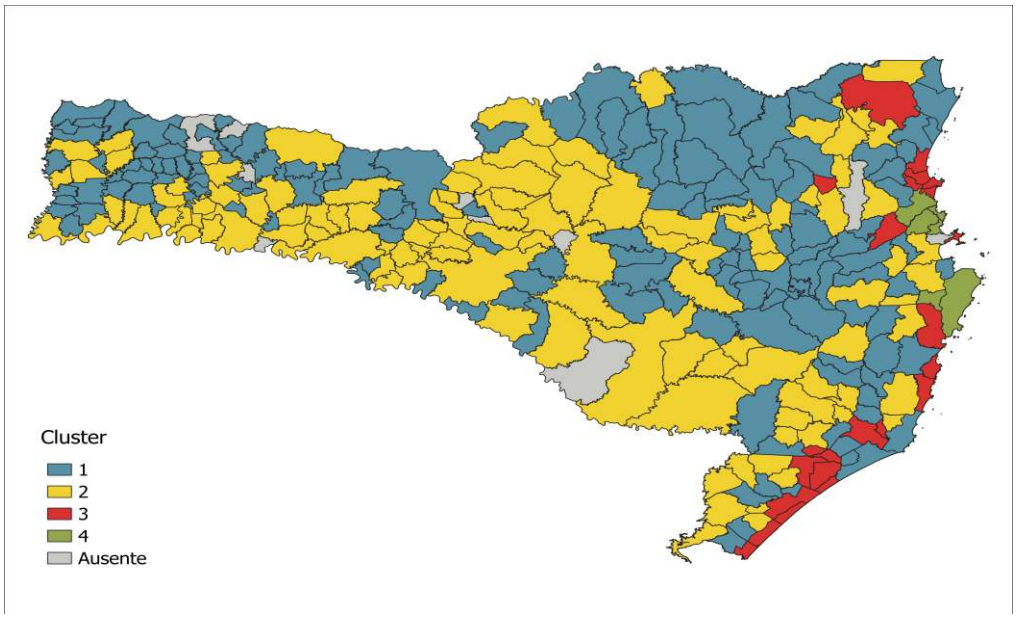


Fonte: Autores (2025)

O gráfico do cotovelo indicou que a partir de k = 4 a redução do WSS se torna menos acentuada, sugerindo que 4 seria um número apropriado de *clusters*. Já a análise da silhueta mostrou que o maior valor médio ocorre em k = 2, indicando uma melhor separação entre os grupos nesse caso. No entanto, a silhueta para k = 4 também apresentou valor satisfatório, compatível com uma segmentação mais detalhada e interpretável dos dados. Assim, considerando a necessidade de discriminação entre diferentes padrões de municípios, adotou-se k = 4 *clusters* para a análise.

A Figura 7 apresenta a distribuição espacial dos 4 *clusters* formados. O *cluster* 1 e 2 concentram a maior parte dos municípios. O *cluster* 3 contém municípios nas regiões leste, norte e sul do estado. O *cluster* 4 aparece com municípios no litoral catarinense.

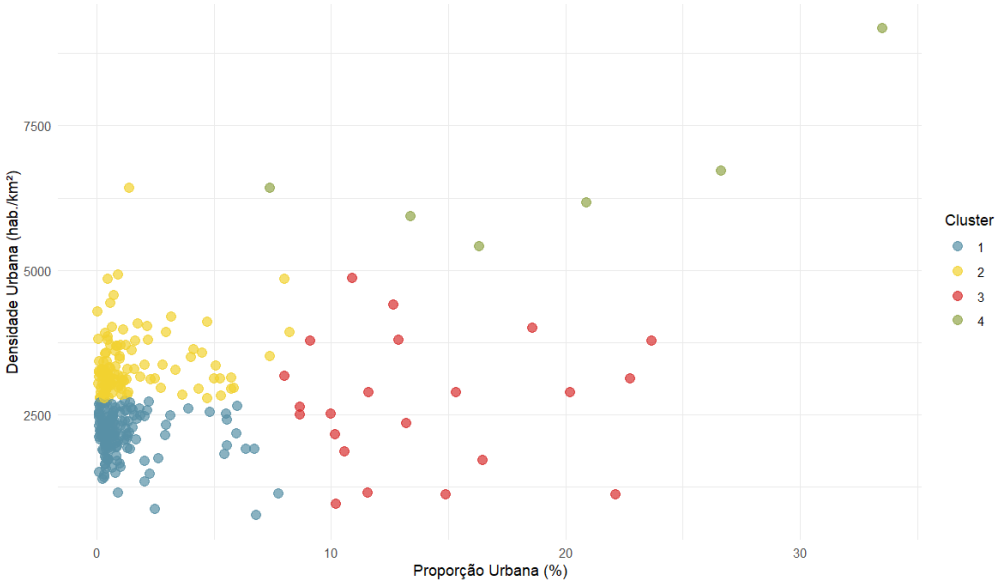
Figura 7 - Espacialização dos *clusters*



Fonte: Autores (2025)

A Figura 8 exibe o gráfico de dispersão das variáveis proporção de área urbana e densidade urbana. O *cluster* 1 contém municípios com menor proporção de área urbana e baixa densidade urbana. O *cluster* 2 é caracterizado por baixa proporção de área urbana e alta densidade urbana. O *cluster* 3 apresenta proporção de área urbana mais elevada, com a densidade urbana variando de baixa a alta. O *cluster* 4 se destaca com os maiores valores em ambas as variáveis.

Figura 8 - Gráfico de dispersão Densidade urbana x Proporção urbana

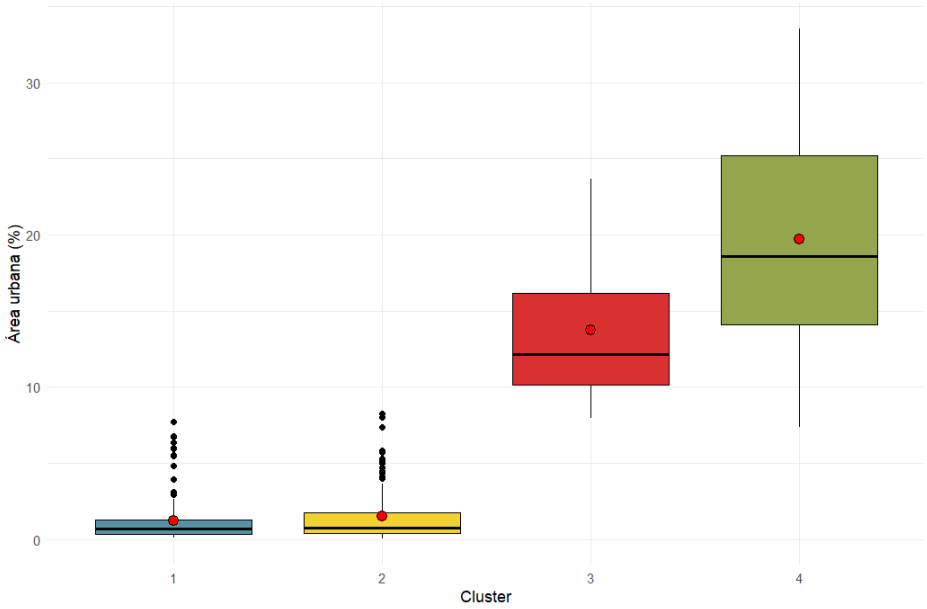


Fonte: Autores (2025)

As Figuras 9 e 10 apresentam boxplots da proporção de área urbana e da densidade urbana de cada *cluster*, respectivamente. Há *outliers* nos *clusters* 1 e 2, enquanto os *clusters* 3 e 4 têm maior variação na proporção de área urbana. A mediana de densidade urbana é superior no

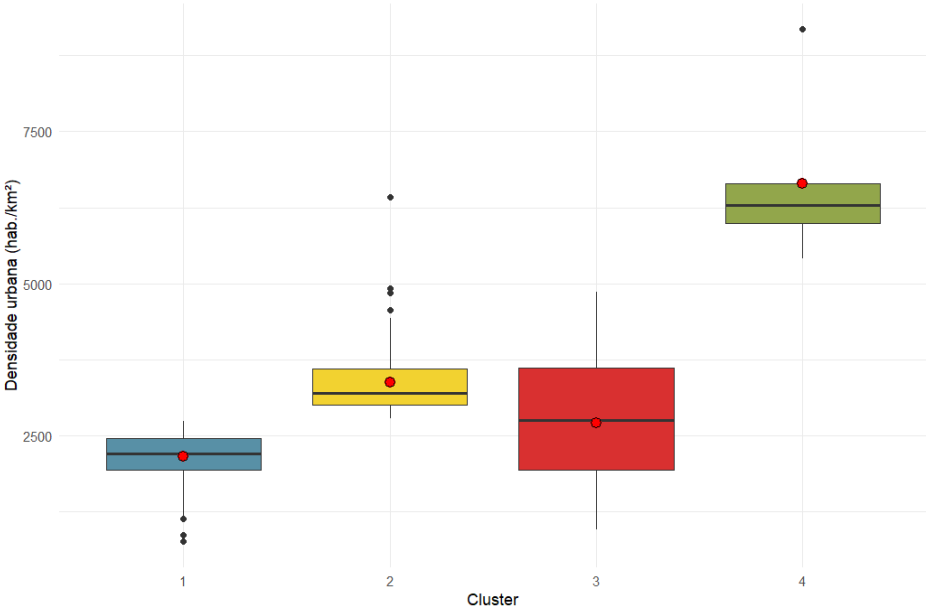
cluster 4, seguida pelos *clusters* 2 e 3. O *outlier* do *cluster* 4 refere-se ao munícipio de Balneário Camboriú.

Figura 9 - Boxplot da proporção de área urbana por *cluster*



Fonte: Autores (2025)

Figura 10 – Boxplot da densidade urbana por *cluster*



Fonte: Autor

A Tabela 2 apresenta o resumo estatístico do consumo de água *per capita* por *cluster*, enquanto a Figura 11 representa a distribuição desses dados por meio de boxplots. Os *clusters* 3 e 4 têm as maiores medianas, com destaque para o *cluster* 4. Já os *clusters* 1 e 2 possuem

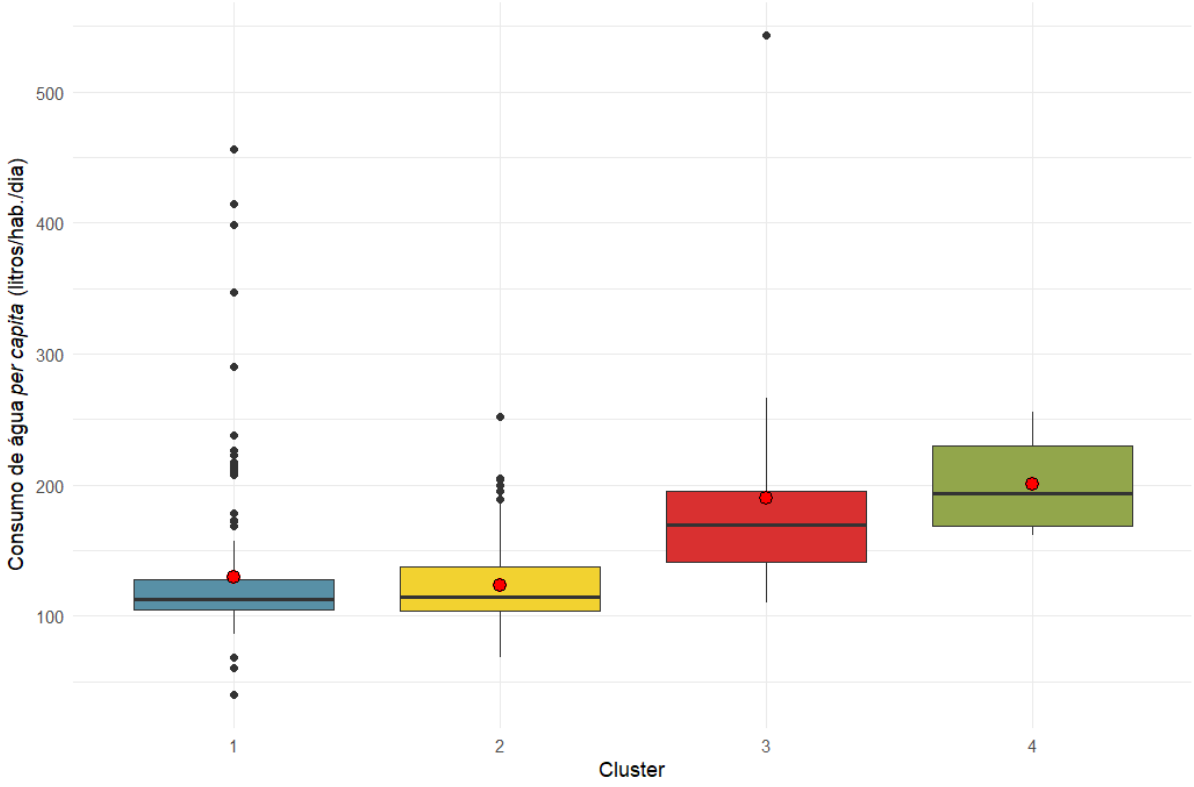
menores medianas, com o *cluster* 1 apresentando alta variabilidade, refletida pela presença de diversos *outliers* — tanto de valores de consumo altos quanto baixos.

Tabela 2 - Sumário estatístico do consumo de água per capita por *cluster* (litros/hab./dia)

Cluster	Observações	Mínimo	1°Q	Mediana	Média	3°Q	Máximo	Desvio padrão
1	144	39,87	105,16	113,01	129,26	128,17	456,62	58,57
2	113	68,49	103,79	114,19	123,67	137,47	252,45	31,04
3	22	110,59	140,99	169,73	189,76	195,77	543,09	89,52
4	6	161,54	168,41	193,65	201,11	230,31	255,30	39,47

Fonte: Autores (2025)

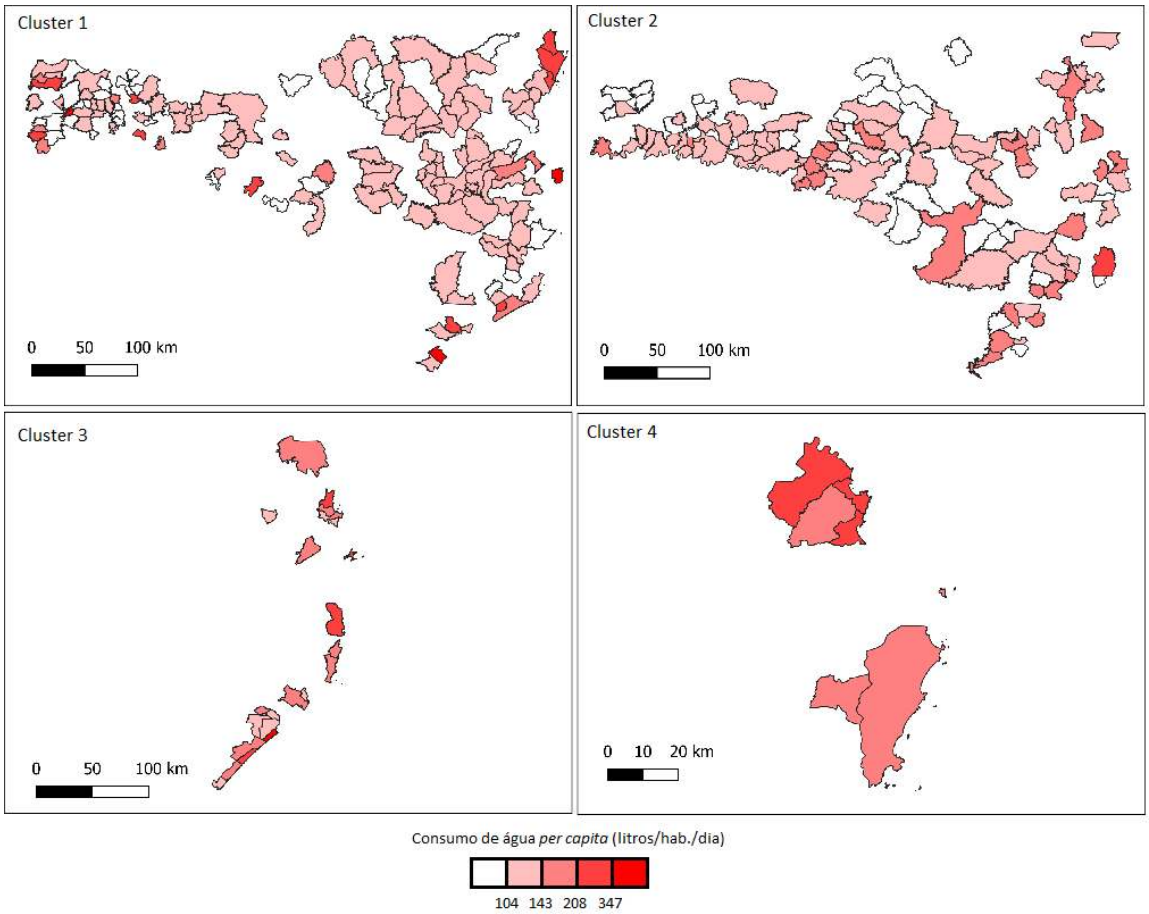
Figura 11 – Boxplot do consumo de água *per capita* por *cluster*



Fonte: Fonte: Autores (2025)

Esse comportamento é reforçado pela análise espacial dos *clusters* (Figura 12). Os *clusters* 3 e 4 concentram-se em regiões litorâneas, locais geralmente associados a níveis de urbanização mais elevados e, possivelmente, maior pressão por consumo, seja por população residente ou sazonal.

Figura 12 – Distribuição do consumo de água *per capita* por *cluster*



Fonte: Autores (2025)

O teste de Kruskal-Wallis indicou diferenças significativas no consumo de água *per capita* entre pelo menos dois *clusters* (p-valor < 0,001). O teste de Dunn revelou que o *cluster* 3 difere significativamente dos *clusters* 1 e 2 (p < 0,001), e que o *cluster* 4 também difere dos *clusters* 1 (p-valor < 0,001) e 2 (p-valor < 0,001). Os *clusters* 3 e 4, com maior proporção de área urbana, apresentam maior consumo de água *per capita*. O *cluster* 4, com alta proporção de área urbana e elevada densidade urbana, registra o maior consumo médio, sugerindo que essa combinação intensifica o consumo de água *per capita* — em conformidade com Sohn (2011), que afirma que o uso da água tende a diminuir à medida que a densidade urbana diminui. O *cluster* 3, embora com densidade urbana mais baixa, também apresenta alto consumo, indicando que não apenas a densidade, mas o grau de urbanização como um todo influencia os padrões de uso da água. Já os *clusters* 1 e 2, com menores valores de proporção e densidade urbana, apresentam, de modo geral, consumo *per capita* mais baixo. No entanto, destaca-se que variáveis como clima local, presença de atividades industriais ou características específicas de infraestrutura urbana não foram consideradas, o que pode explicar *outliers* ou desvios em alguns municípios dos *clusters*.

4. CONCLUSÃO

A análise da área e da densidade urbana permitiu a formação de quatro *clusters* distintos para os municípios de Santa Catarina. Os *clusters* 3 e 4, caracterizados por maior proporção de área urbana, apresentaram os maiores consumos médios de água *per capita,* com 189,76 litros/hab./dia e 201,11 litros/hab./dia, respectivamente. A densidade urbana mostra nuances importantes: o *cluster* 4 apresenta a maior mediana de densidade, indicando áreas mais adensadas, enquanto o *cluster* 3, embora com grande proporção de área urbana, possui densidade mais baixa, indicando cidades menos compactas. Já os *clusters* 1 e 2 reúnem municípios com menor proporção e densidade urbana, têm consumo médio de água *per capita* mais baixo, com 129,26 litros/hab./dia (*cluster* 1) e 123,67 litros/hab./dia (*cluster* 2), sendo o *cluster* 1 o mais heterogêneo.

O teste de Kruskal-Wallis confirmou diferenças significativas entre os grupos, e o teste de Dunn mostrou que os *clusters* 3 e 4 diferem significativamente dos *clusters* 1 e 2 no consumo de água *per capita*. Esses resultados ressaltam a importância da consideração de características urbanas, tanto em extensão quanto em adensamento, ao planejar políticas públicas de gestão hídrica.

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 também 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, Luc. **An Introduction to Spatial Data Science with GeoDa: Volume 2: Clustering Spatial Data**. 1. ed. Boca Raton: Chapman and Hall/CRC, 2024. Disponível em: https://www.taylorfrancis.com/books/9781032713175. Acesso em: 29 abr. 2025.

ANSELIN, Luc. Interactive techniques and exploratory spatial data analysis. **Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications**, [*s. l.*], p. 251–264, 1999.

ANSELIN, Luc; SYABRI, Ibnu; KHO, Youngihn. GeoDa: An Introduction to Spatial Data Analysis. **Geographical Analysis**, [*s. l.*], v. 38, n. 1, p. 5–22, 2006.

BORGE, Rafael *et al.* Assessment of the Madrid region air quality zoning based on mesoscale modelling and k-means clustering. **Atmospheric Environment**, [*s. l.*], v. 287, p. 119258, 2022.

BRASIL; MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL; SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO – SNS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 25º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2019**. Brasília: [*s. n.*], 2020.

DENG, Chuxiong *et al.* Precipitation and urban expansion caused jointly the spatiotemporal dislocation between supply and demand of water provision service. **Journal of Environmental Management**, [*s. l.*], v. 299, p. 113660, 2021.

DU, Yueyue *et al.* Local and non-local drivers of consumption-based water use in China during 2007–2015: Perspective of metacoupling. **Journal of Environmental Management**, [*s. l.*], v. 312, p. 114940, 2022.

FONTDECABA, Sara *et al.* A Methodology to Model Water Demand based on the Identification of Homogenous Client Segments. Application to the City of Barcelona. **Water Resources Management**, [*s. l.*], v. 26, n. 2, p. 499–516, 2012.

IBGE. Censo Demográfico 2022: Universo - População e Domicílios por Situação Urbana ou Rural. *In*: SIDRA. 2025. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-demografico/demografico-2022/universo-populacao-e-domicilios-situacao-urbana-ou-rural. Acesso em: 25 abr. 2025.

IBGE. Santa Catarina. *In*: CIDADES E ESTADOS. 2024. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sc.html. Acesso em: 10 jul. 2024.

LONG, Houyin *et al.* Spatio-temporal analysis of driving factors of water resources consumption in China. **Science of The Total Environment**, [*s. l.*], v. 690, p. 1321–1330, 2019.

MAPBIOMAS. MapBiomas. *In*: 2025. Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/. Acesso em: 5 maio 2025.

SNIS. SNIS - Série Histórica. *In*: 2024. Disponível em: http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/#. Acesso em: 2 fev. 2024.

SOHN, Jungyul. Watering cities: spatial analysis of urban water use in the Southeastern United States. **Journal of Environmental Planning and Management**, [*s. l.*], v. 54, n. 10, p. 1351–1371, 2011.

WANG, Renfang *et al.* Uncovering urban water consumption patterns through time series clustering and entropy analysis. **Water Research**, [*s. l.*], v. 262, p. 122085, 2024.