



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL (RECURSOS HÍDRICOS)**

**TEREZA MARGARIDA XAVIER DE MELO LOPES**

**DINÂMICA ESPACIAL DO CONSUMO DE ÁGUA: UMA ANÁLISE DAS  
INFLUÊNCIAS SOCIOECONÔMICAS E DOS IMPACTOS DA PANDEMIA DE  
COVID-19**

**FORTALEZA**

**2024**

TEREZA MARGARIDA XAVIER DE MELO LOPES

DINÂMICA ESPACIAL DO CONSUMO DE ÁGUA: UMA ANÁLISE DAS  
INFLUÊNCIAS SOCIOECONÔMICAS E DOS IMPACTOS DA PANDEMIA DE COVID-

19

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Recursos Hídricos) da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Recursos Hídricos.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Samiria Maria Oliveira da Silva

FORTALEZA

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

L856d    Lopes, Tereza Margarida Xavier de Melo.  
Dinâmica espacial do consumo de água : Uma análise das influências socioeconômicas e dos impactos da pandemia de COVID-19 / Tereza Margarida Xavier de Melo Lopes. – 2024.  
65 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Recursos Hídricos, Fortaleza, 2024.  
Orientação: Prof. Dr. Samiria Maria Oliveira da Silva.

1. Consumo de Água. 2. Índice de Moran. 3. Desigualdades Socioeconômicas. 4. COVID-19. I. Título.  
CDD 627

---

TEREZA MARGARIDA XAVIER DE MELO LOPES

DINÂMICA ESPACIAL DO CONSUMO DE ÁGUA: UMA ANÁLISE DAS  
INFLUÊNCIAS SOCIOECONÔMICAS E DOS IMPACTOS DA PANDEMIA DE COVID-  
19

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Recursos Hídricos) da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Recursos Hídricos.

Aprovada em: 16/02/2024.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Samiria Maria Oliveira da Silva (Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Cleiton da Silva Silveira  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Dr<sup>a</sup>. Tais Maria Nunes Carvalho  
Universität Leipzig

A Deus, pelo dom da vida e a virtude da perseverança.

À minha avó, Luiza, pelas lições de ousadia e de coragem.

## AGRADECIMENTOS

Ao meu querido esposo, Leonardo, que sempre acreditou no meu potencial e me apoia, diariamente, na minha trajetória acadêmica. Obrigada por compartilhar meus sonhos e por sonhar lado a lado comigo, transformando cada desafio em uma jornada prazível e de crescimento conjunto. Agradeço por todo amor, carinho, compreensão e apoio nos momentos difíceis.

À minha mãe, Veraluce, e à minha irmã, Bárbara, verdadeiras guerreiras que se dedicaram, arduamente, para que eu pudesse ter acesso à educação. Agradeço profundamente por todo amor, carinho, cuidado e atenção que me ajudaram a crescer com ternura e leveza.

À minha avó, Luiza (em memória), cujos ensinamentos continuam a iluminar minha jornada. Obrigada por guiar-me com sua sabedoria e por enfatizar que a educação seria a chave para melhorar minha vida. Espero que, de onde esteja, possa sentir a alegria ao ver que sua neta não apenas seguiu o conselho de “se formar”, mas também decidiu ser mestre, doutora e, posteriormente, professora. Uma escolha impulsionada pelo poder transformador da educação que a senhora sempre destacou.

À minha grande orientadora, professora Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Samiria Oliveira, expresso minha gratidão pelas orientações que fluíram como as águas de um rio perene, moldando e enriquecendo minha jornada acadêmica. Suas palavras são como gotas de sabedoria que escoam suavemente, formando afluentes de compreensão em meu caminho. Obrigada por ser um exemplo notável de professora, orientadora e ser humano, inspirando-me a percorrer caminhos semelhantes.

A todos os meus professores da pós-graduação, em especial, Prof. Dr. Francisco de Assis, Prof. Dr. Cleiton Silveira, Prof. Dr. Iran Lima e Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ticiania Studart. Agradeço por compartilharem seus ensinamentos de maneira majestosa, transmitindo não apenas conhecimento, mas também amor pela educação

A todos os meus professores orientadores do Ensino Médio (Marcos Antônio, Fábio Sampaio, Cleyciane Pereira, Nathália Duarte e Giovanni Nogueira) e do Ensino Superior (Samiria Oliveira, Cely Alencar e Alex Araújo) que nortearam minha caminhada e sempre acreditaram no meu potencial. Que em nome deles, todos os outros professores que contribuíram e contribuem positivamente para o meu crescimento pessoal e profissional, sintam-se homenageados.

Aos meus colegas e amigos do GRC, principalmente, Taís e Alyson, por sempre colaborarem com meus conhecimentos e me apoiarem desde a iniciação científica. Como disse Isaac Newton, "Se eu vi mais longe, foi por estar sobre ombros de gigantes", e a vocês, agradeço por serem meus gigantes, tornando a vida acadêmica mais leve e partilhando aspirações tão genuínas.

Aos meus colegas e amigos de pós-graduação, especialmente, Jorgiane, Ricardo Judivan, Artemisa, Rogério, Everton, Levy e Paulo, pelas horas de estudo compartilhadas e pelo apoio incessante durante todo o mestrado.

Aos meus colegas e amigos de trabalho, Felipe, Matheus, Katherine e Ranielly, que estiveram comigo durante o grande desafio de conciliar o mundo corporativo e acadêmico. Obrigada pelo apoio emocional e por serem minha âncora quando as águas da vida ficaram turbulentas. Por fim, agradeço aos meus grandes amigos, Matheus, Bruna, Mateus, Ariane e Gescilam, por serem fonte de aconchego e por tornarem a caminhada mais leve e alegre.

“Lembre-se do corpo da sua comunidade. Respire o ar do povo que costurou seus pontos. É você quem se tornou você, mas as pessoas do passado são parte do seu tecido. Honre as raízes.”

(Rupi Kaur)



## RESUMO

Para assegurar o acesso equitativo de água é preciso analisar a dinâmica das cidades por meio de estatísticas espaciais. Essa dinâmica revela padrões de consumo heterogêneos que são diretamente influenciados por fatores socioeconômicos. Portanto, este estudo reconhece que as cidades não devem ser abordadas como entidades de estudo homogêneas, mas como sistemas multivariados, evidenciando as disparidades espaciais intra-citadinas. Nesse contexto, o Brasil, um país de escala continental, possui desigualdades expressivas tanto no consumo de água quanto nos fatores socioeconômicos. Diante disso, o presente estudo visa avaliar a configuração dos padrões espaciais inter-municipais do Brasil, bem como analisar a conjuntura intra-municipal de um importante centro urbano: a cidade de Fortaleza-CE. Portanto, foram quantificadas as correlações entre o consumo e a renda per capita, assim como as transformações da demanda hídrica diante de um evento extremo: a pandemia de COVID-19. Dessa forma, este estudo aplicou, primeiramente, dois testes estatísticos de autocorrelação espacial: o Índice de Moran Global (I) e o Indicador Local de Associação Espacial (LISA). Verificou-se que, tanto em âmbito nacional quanto municipal, a distribuição espacial do consumo de água não ocorre de maneira homogênea, evidenciando a formação de aglomerados com índices de consumo mais elevados em regiões de maior renda, e, inversamente, em regiões com rendimentos mais baixos. Assim, o estudo evidencia uma forte autocorrelação espacial entre o consumo de água e a renda per capita, tanto em escala nacional quanto municipal, ressaltando as desigualdades hídricas e socioeconômicas do Brasil e, particularmente, da cidade de Fortaleza. Em seguida, observou-se a influências das diferentes fases da pandemia de COVID-19 diante dos tipos de consumo de Fortaleza (residencial, comercial, industrial, público e misto). Os resultados indicam um forte impacto da pandemia, principalmente, nos consumos residenciais e comerciais de Fortaleza, sugerindo uma alta susceptibilidade dos sistemas de abastecimento frente às mudanças de hábito da população. Assim, este estudo contribui para a compreensão mais profunda das dinâmicas complexas que moldam o consumo de água no Brasil e fornece uma base fundamental para o desenvolvimento de políticas hídricas direcionadas para garantir o acesso equitativo de água.

**Palavras-chave:** consumo de água; LISA; índice de Moran; desigualdades socioeconômicas; COVID-19.

## ABSTRACT

To ensure equitable access to water, it is imperative to analyze the dynamics of cities through spatial statistics. This dynamics reveals heterogeneous consumption patterns that are directly influenced by socioeconomic factors. Therefore, this study recognizes that cities should not be approached as homogeneous study entities but as multivariate systems, highlighting intra-city spatial disparities. In this context, Brazil, a country of continental scale, exhibits significant disparities in both water consumption and socioeconomic factors. Given this, the present study aims to assess the configuration of inter-municipal spatial patterns in Brazil and analyze the intra-municipal scenario of a major urban center: the city of Fortaleza-CE. Thus, correlations between consumption and per capita income will be quantified, as well as the transformations in water demand in the face of an extreme event: the COVID-19 pandemic. Accordingly, this study initially applied two spatial statistical tests: the Global Moran's Index (I) and the Local Indicator of Spatial Association (LISA). It was observed that, both at the national and municipal levels, the spatial distribution of water consumption does not occur uniformly, highlighting the formation of clusters with higher consumption rates in regions with higher income and, conversely, in regions with lower incomes. Thus, the study reveals a strong spatial autocorrelation between water consumption and per capita income, at both national and municipal scales, emphasizing water and socioeconomic inequalities in Brazil and, particularly, in the city of Fortaleza. Subsequently, the influences of different phases of the COVID-19 pandemic on Fortaleza's consumption types (residential, commercial, industrial, public, and mixed) were observed. The results indicate a significant impact of the pandemic, particularly on residential and commercial consumptions in Fortaleza, suggesting a high susceptibility of water supply systems to changes in population habits. Therefore, this study contributes to a deeper understanding of the complex dynamics shaping water consumption in Brazil and provides a fundamental basis for the development of water policies aimed at ensuring equitable access.

**Keywords:** water consumption; LISA; Moran's Index; socioeconomic inequalities; COVID-19.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da capital do Ceará - Fortaleza. ....	21
Figura 2 – Etapas metodológicas.....	23
Figura 3 – Convenção de contiguidade tipo Rook (a) e Queen (b). ....	25
Figura 4 – Diagrama de dispersão de Moran.....	28
Figura 5 – Diagrama de dispersão para o consumo per capita de Fortaleza (a) e do Brasil (b) – 2010. ....	30
Figura 6 – Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA) da análise univariada do consumo per capita de água da cidade de Fortaleza-CE. O número de setores censitários que compõem cada cluster é evidenciado entre parênteses. As regiões em branco representam áreas sem informações disponíveis. ....	31
Figura 7 – Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA) da análise univariada do consumo per capita de água do Brasil. O número de municípios que compõem cada cluster é evidenciado entre parênteses. As regiões em branco representam áreas sem informações disponíveis.....	33
Figura 8 – Diagrama de dispersão bivariado entre o consumo de água e a renda per capita de Fortaleza (a) e do Brasil (b) – 2010.....	34
Figura 9 – Análise Bivariada de Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA) entre o consumo de água e a renda per capita da cidade de Fortaleza-CE. O número de setores censitários que compõem cada cluster é evidenciado entre parênteses. As regiões em branco representam áreas sem informações disponíveis.....	35
Figura 10 – Análise Bivariada de Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA) entre o consumo de água e a renda per capita dos municípios brasileiros. O número de setores censitários que compõem cada cluster é evidenciado entre parênteses. As regiões em branco são referentes a regiões sem informações disponíveis.....	37
Figura 11 – Análise bivariada com mapas de cluster locais condicionais entre o consumo per capita de água e a renda per capita do Brasil.....	39
Figura 12 – Correlogramas de a) consumo per capita de água e b) renda per capita dos municípios brasileiros.....	41
Figura 13 – Localização da capital do Ceará - Fortaleza .....	45
Figura 14 – Evolução sazonal do consumo residencial (2018-2020).....	48
Figura 15 – Evolução sazonal do consumo residencial de inscrições categorizadas como baixa-renda (2018-2020) .....	50
Figura 16 – Evolução sazonal do consumo comercial (2018-2020) .....	51

Figura 17 – Evolução sazonal do consumo industrial (2018-2020) .....	52
Figura 18 – Evolução sazonal do consumo industrial (2020) .....	53
Figura 19 – Evolução sazonal do consumo público (2018-2020) .....	54
Figura 20 – Evolução sazonal do consumo misto (2018-2020) .....	55
Figura 21 – Evolução sazonal do consumo total (2018-2020) .....	56

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Índice de Moran Global para o consumo per capita de água conforme o tipo de matriz de ponderação (2010) .....	29
Tabela 2 - Índice de Moran Global para o consumo de água e a renda per capita conforme o tipo de matriz de ponderação (2010) .....	34
Tabela 3 - Divisão anual do consumo por tipo de economia (2018-2020).....	55
Tabela 4 - Divisão mensal do consumo por tipo de economia (2020) .....	55

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA	Alto-Alto
AB	Alto-Baixo
AEDE	Análise Exploratória de Dados Espaciais
BA	Baixo-Alto
BB	Baixo-Baixo
CAGECE	Companhia de Água e Esgoto do Ceará
CE	Ceará
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBM	Índice Bivariado de Moran
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IN022	Consumo médio per capita de água
IPLANFOR	Instituto de Planejamento de Fortaleza
LISA	Indicador Local de Associação Espacial
MS	Ministério da Saúde
MTL	Malha Territorial Leste
MTN	Malha Territorial Norte
MTO	Malha Territorial Oeste
MTS	Malha Territorial Sul
PIB	Produto Interno Bruto
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
UFC	Universidade Federal do Ceará
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>16</b>
1.1	Objetivos .....	17
1.2	Estruturação .....	18
<b>2</b>	<b>DESIGUALDADES HÍDRICAS E SOCIOECONÔMICAS: ANÁLISE ESPACIAL DO CONSUMO DE ÁGUA NO BRASIL .....</b>	<b>19</b>
2.1	Introdução .....	19
2.1.1	Local de aplicação .....	20
2.2	Metodologia .....	22
2.2.1	Base de dados .....	24
2.2.1.1	Coleta de dados .....	24
2.2.1.2	Estruturação dos dados .....	24
2.2.2	Matrizes de ponderação espacial .....	25
2.2.3	Identificação dos padrões de autocorrelação espacial .....	26
2.2.3.1	Índice de Moran Global (I) .....	26
2.2.3.2	Índice de Moran Local (IL) .....	27
2.2.4	Análise de autocorrelação bivariada entre o consumo e a renda .....	29
2.3	Resultados e discussões .....	29
2.3.1	Análise univariada do consumo per capita .....	29
2.3.2	Análise bivariada do consumo e renda per capita .....	33
2.4	Conclusão .....	41
<b>3</b>	<b>OS IMPACTOS DA PANDEMIA DE COVID-19 NO CONSUMO DE ÁGUA URBANO: O CASO DE FORTALEZA .....</b>	<b>43</b>
3.1	Introdução .....	43
3.2	Local de aplicação .....	44
3.3	Metodologia .....	45
3.3.1	Obtenção e espacialização dos dados .....	45
3.3.2	Identificação das Fases da Pandemia de COVID-19 .....	46
3.4	Resultados e discussões .....	48
3.4.1	Consumo residencial .....	48
3.4.2	Consumo residencial de economias baixa-renda .....	49
3.4.3	Consumo comercial .....	50
3.4.4	Consumo industrial .....	51
3.4.5	Consumo público .....	53
3.4.6	Consumo misto .....	54
3.4.7	Consumo total .....	55

<b>3.5</b>	<b>Conclusão.....</b>	<b>56</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO GERAL.....</b>	<b>58</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>60</b>



## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A crescente demanda por água, associada aos processos de urbanização, tem intensificado o estresse hídrico e o risco de escassez em diversas esferas globais (McDonald *et al.*, 2014). Esta escassez é agravada por consequência: i) do crescimento populacional que não apenas impulsiona a demanda, mas também causa perturbações no ciclo hidrológico devido às mudanças no uso e ocupação do solo; ii) das alterações no padrão de vida das comunidades e da urbanização; e iii) das mudanças climáticas que agravam a escassez hídrica e intensificam a disputa por água entre usuários industriais, comerciais, agrícolas e urbanos (Alemayehu *et al.*, 2009; Sahrawat *et al.*, 2010; Carvalho, 2023)

Apesar do avanço contínuo da literatura científica sobre como superar essa problemática, notadamente em função da quantidade, qualidade e acesso à água (Loucks *et al.*, 2017), transformações sem precedentes no clima e nas paisagens exigirão uma compreensão aprimorada das interações entre a água e a sociedade. Nesse contexto, a gestão de recursos hídricos enfrenta grandes desafios para assegurar o equilíbrio entre a oferta e a demanda (Carvalho, 2019).

Como agravante, projeta-se um aumento significativo na demanda de água nas próximas duas décadas em quase todas as regiões do mundo, exceto em algumas cidades de países desenvolvidos (Unesco, 2018; Sauri, 2020). Em contrapartida, a disponibilidade de água doce permanecerá constante ou diminuirá, aumentando a competição pela água e a vulnerabilidade dos sistemas de abastecimento (Unesco, 2018).

Além disso, boa parte das análises sobre crises hídricas são despolitizadas e, muitas vezes, conduzem a soluções tecnocráticas que, tendem a perpetuar os mesmos erros, reproduzindo padrões hídricos desiguais e insustentáveis (Savelli *et al.*, 2022). Portanto, é preciso reconhecer como o poder social e a heterogeneidade da sociedade não apenas impactam o desenvolvimento das crises hídricas urbanas, mas também determinam quais grupos são mais vulneráveis a essas situações (Savelli *et al.*, 2023).

Neste cenário, a heterogeneidade nos padrões de demanda de água surge devido à influência de diversos fatores socioeconômicos, climáticos e comportamentais, aliados à dinâmica temporal (Cominola *et al.*, 2018). Dessa maneira, a avaliação dos determinantes das variações no consumo de água, tanto em situações cotidianas, quanto diante de eventos extremos (como a pandemia de COVID-19), pode respaldar iniciativas futuras de gestão da demanda e a identificação de grupos sociais em situação de vulnerabilidade (Gross *et al.*, 2023). Nesse contexto, Savelli *et al.* (2023) evidenciam que grupos com baixos rendimentos têm

menor acesso à água e são, portanto, menos resilientes à períodos de escassez hídrica, em relação aos grupos com rendimentos mais altos.

No Brasil, o ordenamento entre a água, o espaço e a sociedade são decorrentes da estratégia de estruturação e ocupação dos territórios, institucionalizada a partir do planejamento da água estipulado no início do século XX, no qual a água emergiu como insumo fundamental à promoção do desenvolvimento econômico (Tsutsui; Empinotti, 2021). Tal conjuntura promulgou desigualdades hídricas e socioeconômicas inter-regionais que dificultam o atendimento ao compromisso de acesso universal e equitativo à água potável, estabelecido na Agenda de Desenvolvimento Sustentável de 2030 (Unesco, 2019).

Diante do exposto, o presente estudo investiga o grau de correlação espacial entre o consumo de água e a renda per capita dos municípios brasileiros, avaliando as disparidades intra e inter-regionais do país. É importante abordar a cidade como um objeto de estudo heterogêneo, demandando uma abordagem diferenciada. Nesse contexto, a cidade de Fortaleza (CE), um importante centro urbano no Brasil, é selecionada como um estudo de caso para a investigação da heterogeneidade intra-municipal, por meio da aplicação da Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE). Essa abordagem permite uma compreensão mais abrangente das dinâmicas locais, considerando a diversidade de características e padrões de consumo presentes na cidade.

Adicionalmente, a pesquisa busca examinar os impactos de eventos extremos na demanda hídrica, com foco na influência da pandemia de COVID-19 na variação do consumo hídrico urbano de Fortaleza. Esta análise contempla as perspectivas das economias residenciais, comerciais, industriais, públicas e de uso misto, proporcionando uma visão holística dos efeitos desses eventos sobre os diferentes tipos de consumo. Tal abordagem amplia a compreensão dos fatores que influenciam a dinâmica do consumo de água em contextos urbanos e contribui para a formulação de estratégias mais eficazes de gestão hídrica.

## **1.1 Objetivos**

Investigar como os fatores socioeconômicos e os eventos extremos influenciam o consumo de água, com foco nas implicações espaciais da renda per capita e nos impactos temporais da pandemia de COVID-19.

Especificamente, propõe-se:

- a) Quantificar a correlação espacial entre o consumo de água e a renda per capita dos municípios brasileiros, explorando disparidades intra e inter-regionais.

- b) Mapear as heterogeneidades no consumo hídrico de Fortaleza em função da renda per capita.
- c) Evidenciar as mudanças nos padrões de consumo de água em Fortaleza, durante a pandemia de COVID-19, considerando os períodos de *lockdown* e as fases de reabertura, bem como suas implicações nos setores residenciais, comerciais, industriais, públicos e de uso misto.

## 1.2 Estruturação

Este documento está estruturado em quatro capítulos. O primeiro capítulo, de caráter introdutório, apresenta o contexto, a justificativa e os objetivos do trabalho. Os dois capítulos seguintes estão organizados na forma de artigos científicos.

O capítulo 2 é intitulado por “Desigualdades hídricas e socioeconômicas: análise espacial do consumo de água no Brasil”. Nesse capítulo, são aplicadas técnicas geoestatísticas para investigar as relações entre a água, o espaço e as disparidades econômicas do país, com foco para a cidade de Fortaleza.

No capítulo 3, intitulado por “Os impactos da pandemia de COVID-19 no consumo de água urbano: o caso de Fortaleza”, são evidenciados os efeitos dessa crise sanitária global em cada categoria de consumo da cidade.

Por fim, o capítulo 4 sintetiza as conclusões do estudo, destacando os principais resultados e implicações da pesquisa.

## 2 DESIGUALDADES HÍDRICAS E SOCIOECONÔMICAS: ANÁLISE ESPACIAL DO CONSUMO DE ÁGUA NO BRASIL

### 2.1 Introdução

O acesso universal e equitativo à água potável é uma meta prioritária de sustentabilidade e um compromisso estabelecido na Agenda de Desenvolvimento Sustentável 2030 (Unesco, 2019). No Brasil, foi sancionada a Lei nº 14.026/2020 que atualiza o marco legal do saneamento básico e estabelece, como uma das metas para universalização do saneamento, o atendimento de 99% da população com abastecimento de água até o ano de 2033 (Brasil, 2020).

Para atender a tais exigências, é necessário analisar a heterogeneidade do consumo hídrico, o qual é influenciado por diversos fatores, como as condições socioeconômicas (DE Oliveira *et al.*, 2020; Ibrahim *et al.*, 2021) e o uso do solo (Msigwa *et al.*, 2022). Vale ressaltar que as análises espaciais são fundamentais para a promoção da equidade no acesso à água, uma vez que identificar pontos de maior e menor consumo é essencial para garantir um acesso equitativo à água, especialmente em regiões onde a oferta é limitada (Medina-Rivas *et al.*, 2022).

Shi *et al.* (2018) e Voskamp *et al.* (2021) destacam três elementos que devem ser compreendidos para assegurar o sucesso dos programas que visam garantir a equidade no abastecimento de água potável: i) a variação dos padrões de consumo no espaço e no tempo; ii) a localização de áreas com consumos críticos de água; e iii) como os fatores socioestruturais das cidades influenciam a diferenciação dos níveis de consumo.

Tais fatores evidenciam a necessidade de analisar, geoestatisticamente, o consumo hídrico atual de forma a integrar fatores espaciais e socioeconômicos. Dessa forma, as metodologias de análise do consumo podem viabilizar a elaboração de um planejamento capaz de incorporar a dinâmica atual de consumo de água, atender as demandas futuras e implantar estratégias que objetivem o abastecimento equitativo de água.

De acordo com a Lei de Tobler (1970), todas as coisas estão relacionadas entre si, mas as coisas mais próximas no espaço têm uma relação maior do que as coisas distantes. Nesse contexto, a potencial interdependência, bem como a heterogeneidade entre os dados geográficos, pode ser avaliada por autocorrelação espacial, a partir dos Índices de Moran Global e Local (Liu *et al.*, 2022).

Vale salientar que as relações entre o consumo de água e os fatores espaciais e socioeconômicos têm sido amplamente discutidos (Sanchez *et al.*, 2018; Di *et al.*, 2022; Medina-Rivas *et al.*, 2022).

Diante do exposto, este estudo propõe a Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE) para avaliar a dependência espacial do consumo per capita de água por meio dos testes estatísticos de Autocorrelação Espacial: Índices de Moran Global (I) e Local (IL).

Tais índices têm sido amplamente utilizados em diversos campos do conhecimento, abordando temas relacionados à saúde (Cheong *et al.*, 2022; Alphonso *et al.*, 2024), desenvolvimento socioeconômico (Giovanini *et al.*, 2022; Han *et al.*, 2024), clima (Chen *et al.*, 2023; Xiang *et al.*, 2024), bem como análises espaciais relacionadas aos recursos hídricos (Medina-Rivas *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2023).

No entanto, é notável a carência de estudos específicos voltados para a análise do consumo de água com abrangência nacional, que aborde as disparidades socioeconômicas, bem como as associações intra e inter-regionais e municipais. Diante do exposto, este estudo visa preencher a lacuna apresentada, realizando análises geoestatísticas do consumo de água no Brasil.

Para tanto, será empregada uma análise univariada para identificar o grau de associação espacial do consumo de água, bem como um modelo bivariado para identificar a associação espacial entre o consumo de água e a renda per capita de cada município do Brasil.

Além disso, para avaliar a heterogeneidade e a associação espacial intramunicipal, foi utilizada, como estudo de caso, a cidade de Fortaleza, capital do estado do Ceará. A cidade foi avaliada a partir dos setores censitários de 2010, ano do último censo demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Tais estratégias irão evidenciar em que medida as desigualdades socioeconômicas estão espacialmente associadas ao consumo hídrico do Brasil, além de detalhar as disparidades intramunicipais de um importante centro urbano brasileiro: a cidade de Fortaleza.

### **2.1.1 Local de aplicação**

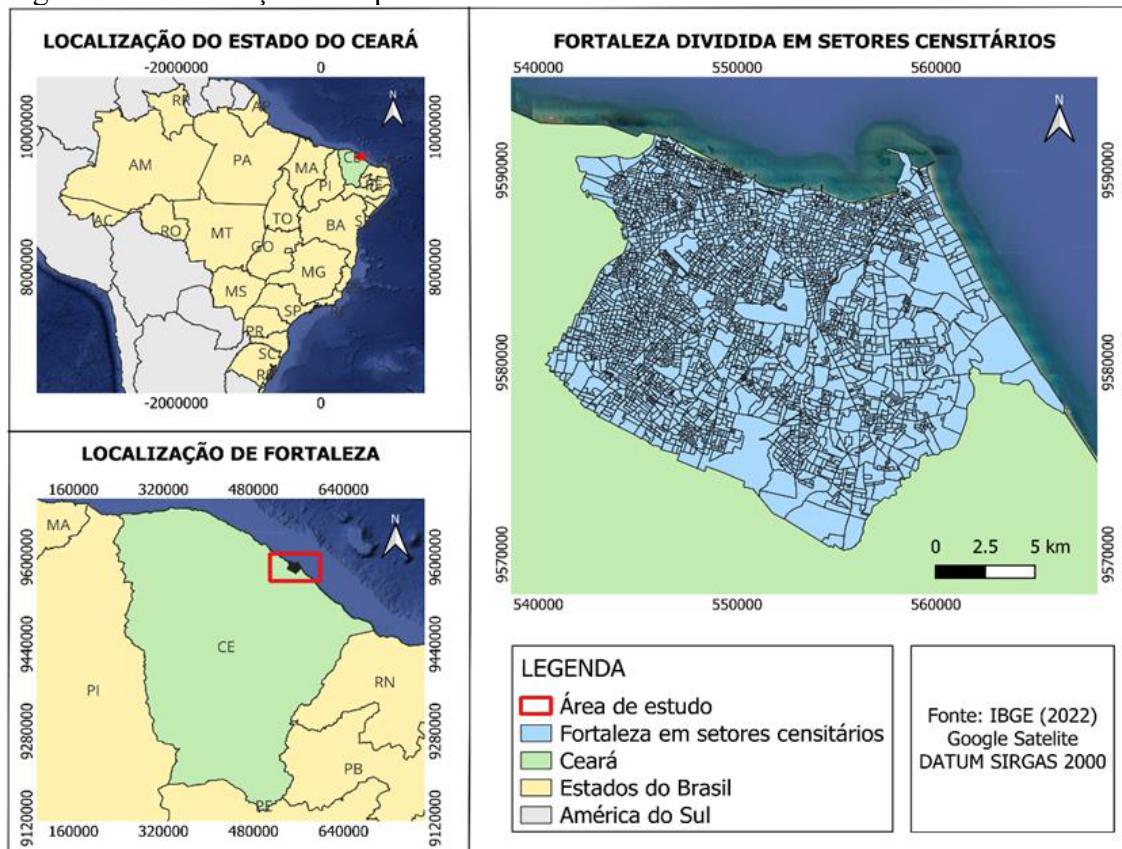
O Brasil, situado na América do Sul, é uma nação em desenvolvimento com uma população de cerca de 203.080.756 habitantes e uma extensão territorial de 8.510.417,771 km<sup>2</sup> (IBGE, 2022). Apesar do investimento anual no setor de saneamento básico brasileiro ultrapassar a média mundial, superando 0,120% do Produto Interno Bruto (PIB), há evidências

da baixa eficiência dos serviços de saneamento básico no Brasil, em comparação com o desempenho alcançado por outras nações (Hutton; Varughese, 2016; Ortega *et al.*, 2017).

De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, o consumo médio de água no Brasil é de 150,7 litros diários por habitante, tendo apenas 84,9% de índice de atendimento de água (SNIS, 2022). Nesse cenário, tornam-se evidentes as disparidades inter-regionais. Nas regiões Nordeste e Norte, por exemplo, 25% e 40% da população, respectivamente, não têm acesso à água encanada; enquanto nas regiões Sul (8,6%), Sudeste (8,5%) e Centro-Oeste (10,1%) esses números são menores (SNIS, 2021). As divergências nas condições de abastecimento delineiam desigualdades regionais que acentuam os desafios nacionais para assegurar o atendimento abrangente da população (Cavalcanti *et al.*, 2020).

Dentre os 5.570 municípios brasileiros, se destaca a capital do estado do Ceará, a cidade de Fortaleza ( Figura 1), como o quarto município mais populoso do Brasil, com 2.428.708 de habitantes e o maior PIB da região Nordeste (IBGE, 2022). O consumo médio de água de Fortaleza é de 129,9 litros diários por habitante, tendo 76,08% da sua população atendida com abastecimento de água (SNIS, 2021).

Figura 1 – Localização da capital do Ceará – Fortaleza.



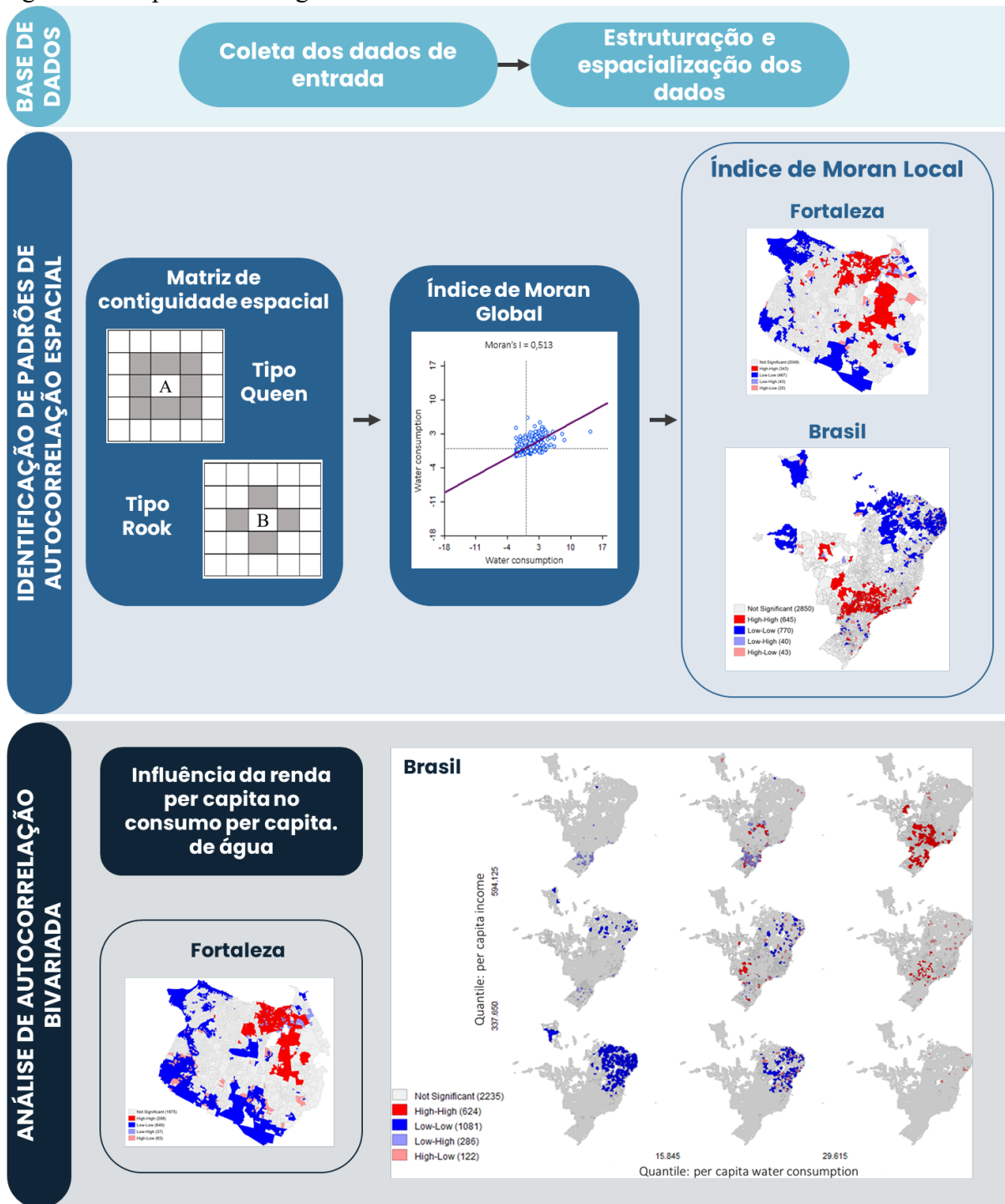
Fonte: Elaborado pela autora.

Diante disso, a cidade de Fortaleza será analisada a nível de setor censitário, enquanto o Brasil será analisado a nível municipal.

## **2.2 Metodologia**

O processo metodológico consiste em quatro fases principais: i) coleta e estruturação dos dados; ii) cálculo das matrizes de ponderação espacial; iii) identificação dos padrões de autocorrelação espacial do consumo de água; iv) análise de autocorrelação bivariada entre o consumo e a renda per capita (Figura 2).

Figura 2 – Etapas metodológicas.



Fonte: Elaborado pela autora.



## 2.2.1 Base de dados

### 2.2.1.1 Coleta de dados

Os dados utilizados no estudo estão descritos no Quadro 1. As informações de micromedição de água de Fortaleza foram coletadas junto à Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE) para o período de 2010. As informações de consumo per capita (IN022) dos municípios brasileiros são oriundas da base de dados publicada pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Por sua vez, os dados relativos à renda per capita foram disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Quadro 1 - Descrição do tipo e fonte dos dados

<b>Tipo</b>	<b>Dado de entrada</b>	<b>Fonte</b>
Consumo de água	Volume micromedido de água por inscrição para a cidade de Fortaleza (m <sup>3</sup> /mês)	CAGECE
	Consumo per capita de água para as cidades do Brasil (l/hab.dia)	SNIS
Socioeconômico	Renda média per capita (%)	IBGE

Fonte: Elaborado pela autora.

Vale salientar que os dados são referentes a 2010, ano no qual foi publicado o último censo demográfico do Brasil.

### 2.2.1.2 Estruturação dos dados

O estudo foi realizado em dois níveis espaciais: nacional e municipal. Para a análise nacional, os dados de consumo de água e renda per capita foram espacializados por município. Já para a análise municipal de Fortaleza, tanto os dados de consumo quanto de renda per capita foram espacializados por setor censitário, visto que é a menor unidade de informações do IBGE. Neste caso, a escolha pela unidade geográfica de menor magnitude proporcionará um maior nível de granularidade e riqueza na representação dos dados espaciais. A espacialização foi realizada a partir de programação em Python e do software QGIS.

Destaca-se que o consumo per capita envolve os valores micromedidos pelas companhias de água, não abrangendo outras formas de consumo, tais como as provenientes de fontes de abastecimento de uso particular.

### 2.2.2 Matrizes de ponderação espacial

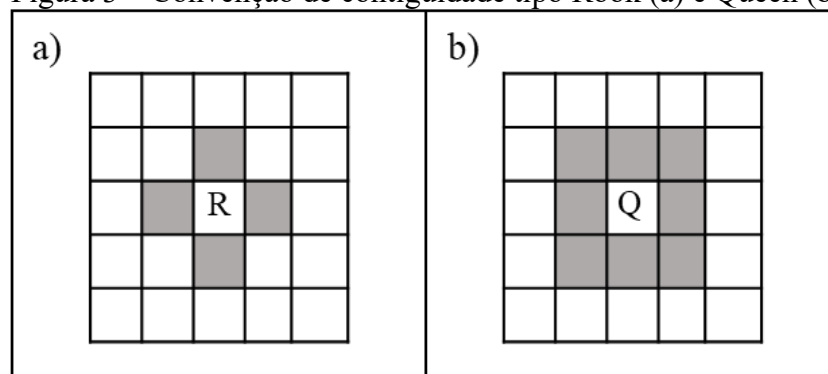
A matriz de ponderação espacial, também denominada por matriz de vizinhança, é fundamental para a representação gráfica de análises geoestatísticas. Em síntese, as matrizes estabelecem pesos sobre as relações espaciais entre as unidades observacionais em um conjunto de dados geograficamente referenciado. Tais pesos espaciais expressam medidas de conectividade ou proximidade geográfica, que conduzem as análises subsequentes, permitindo quantificar a influência das relações espaciais (Almeida, 2012).

Nesse contexto, a matriz de ponderação espacial ( $w$ ) configura-se como uma matriz quadrada de dimensões  $n \times n$ , fornecendo uma representação matemática que viabiliza a estimativa de pesos espaciais  $w_{ij}$ . Geralmente, essa matriz é expressa de maneira binária, indicando se as unidades espaciais são vizinhas ou não. Assim, atribuiu-se o valor unitário para sinalizar a presença de vizinhança e valor nulo caso não exista vizinhança:

$$w_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{se } i \text{ e } j \text{ são vizinhas} \\ 0 & \text{se } i \text{ e } j \text{ não são vizinhas} \end{cases} \quad (1)$$

Para definir a fronteira geográfica das unidades espaciais foi utilizado a convenção de contiguidade tipo *Rook* (Torre) e Tipo *Queen* (Rainha) ( Figura 3).

Figura 3 – Convenção de contiguidade tipo Rook (a) e Queen (b).



Fonte: Almeida (2012).

Em uma matriz de ponderação espacial do tipo *Rook*, os pesos ( $w_{ij}$ ) são atribuídos como 1 para unidades que compartilham uma fronteira (aresta) e 0 para unidades que não têm fronteira comum. Já na matriz do tipo *Queen*, os pesos ( $w_{ij}$ ) são atribuídos como 1 para unidades que compartilham uma fronteira ou um vértice. Resumidamente, a principal diferença entre as

matrizes *Rook* e *Queen* está na inclusão dos vértices como critério de contiguidade (Almeida, 2012).

### 2.2.3 Identificação dos padrões de autocorrelação espacial

A avaliação da autocorrelação espacial foi realizada a partir de duas perspectivas: global e local. A perspectiva global investiga o padrão em toda a extensão da área de estudo com o intuito de identificar aglomerados nos dados, sob a premissa de uma homogeneidade espacial. Em contrapartida, a perspectiva local desloca seu enfoque do panorama global para a identificação de aglomerados que possam exercer influência sobre o padrão global ou refletir heterogeneidades que se desviam do padrão global (Mathur, 2015).

Nos contextos de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), a autocorrelação espacial é empregada para discernir similaridades entre vizinhos, a fim de determinar se o padrão espacial de um conjunto de características está agrupado, disperso ou segue uma distribuição aleatória (Longley *et al.*, 2011).

No presente capítulo, para avaliar a associação espacial ou autocorrelação dos dados, foram empregados o Índice de Moran Global (I) e o Índice de Moran Local (I<sub>L</sub>).

#### 2.2.3.1 Índice de Moran Global (I)

No Índice de Moran Global, a dependência espacial é verificada quando os valores das observações em unidades espaciais próximas ou adjacentes são semelhantes ou correlacionados (Anselin, 1995).

O Índice de Moran Global é estimado com base na seguinte expressão:

$$I = \frac{n}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \quad (2)$$

Em que:  $n$  é o número de unidades espaciais;  $x_i$  e  $x_j$  representam o consumo de água em unidades espaciais, e  $w_{ij}$  representa cada um dos elementos da matriz de peso espacial que captura a estrutura espacial da área de estudo.

O índice varia de -1 a 1, indicando autocorrelação positiva para valores positivos, autocorrelação negativa para valores negativos, e ausência de autocorrelação para o valor zero. Com base em tais critérios, os valores do Índice de Moran Global foram avaliados para as

matrizes de contiguidade do tipo *Rook* e *Queen* de primeira ordem. Posteriormente, prosseguiu-se com a análise espacial utilizando a matriz que apresentou a maior correlação espacial identificada durante a avaliação.

A significância do parâmetro é avaliada através de 999 permutações em um teste aleatório, com um nível de significância  $p < 0,05$  (Medeiros *et al.*, 2015). De acordo com Almeida (2012), o Índice de Moran Esperado fornece o valor que seria obtido caso não houvesse padrão espacial nos dados, sendo calculado por:

$$E = - \left[ \frac{1}{n - 1} \right] \quad (3)$$

onde 'n' representa o número de unidades espaciais no conjunto de dados. Quando o valor de I é superior ao valor esperado, sugere autocorrelação espacial positiva, indicando agrupamentos espaciais de valores semelhantes. Por outro lado, valores abaixo do esperado indicam autocorrelação espacial negativa.

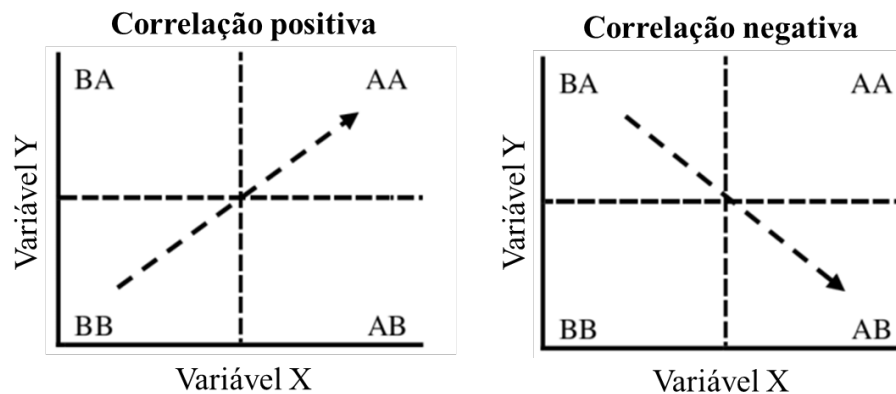
### 2.2.3.2 Índice de Moran Local (IL)

Após avaliar a autocorrelação espacial em uma abordagem global, procedeu-se com a análise local com o objetivo de identificar regiões com consumo crítico de água. Para isso, calculou-se o Indicador Local de Associação Espacial (LISA) a partir do Índice de Moran Local.

A estatística LISA é derivada de um indicador de autocorrelação global que divide a contribuição local de cada observação em quatro categorias (Figura 4), cada uma correspondendo a um quadrante no gráfico de dispersão de Moran (Anselin, 2005).

Os quadrantes AA (alto-alto) e BB (baixo-baixo) sinalizam setores que contribuem para a manifestação de autocorrelação espacial positiva, enquanto BA e AB apontam para autocorrelação espacial negativa. Na abordagem proposta, o quadrante AA destaca regiões caracterizadas por um elevado consumo de água, próximos a regiões com padrões semelhantes, gerando clusters com um perfil mais elevado de consumo hídrico. Já no quadrante BB, evidenciam-se unidades espaciais com baixo consumo de água circundadas por vizinhos que também apresentam baixo consumo, destacando clusters de menor consumo hídrico.

Figura 4 – Diagrama de dispersão de Moran.



Fonte: Adaptado de Marconato *et al.* (2013).

O quadrante AB (alto-baixo), identifica unidades espaciais com um elevado consumo de água rodeadas por regiões de baixo consumo. Por fim, no BA (baixo-alto), estão posicionadas unidades espaciais com baixo consumo de água em proximidade com unidades que ostentam um alto consumo.

Desse modo, os quatro quadrantes revelam distintas expressões de dependência espacial, representadas em um diagrama de dispersão. Se a distribuição dos pontos se der nos quatro quadrantes, isso sugere a ausência de correlação espacial. Contudo, se os valores se concentrarem em uma diagonal que perpassa os quadrantes AA e BB, indicará uma autocorrelação espacial positiva para a variável. Em contrapartida, a dependência espacial será negativa caso os valores estejam centralizados em uma diagonal que atravessa os quadrantes BA e AB (Medeiros *et al.*, 2015).

Em síntese, o Índice de Moran Local é capaz de identificar clusters espaciais e *outliers* a partir da equação:

$$I_L = \frac{(y_i - \bar{y}) \sum_j w_{ij}(y_j - \bar{y})}{\sum_i (y_i - \bar{y})^2 / n} \quad (4)$$

Em que  $n$  é o número de observações,  $y_i$  é a observação da variável estudada na região  $i$ ,  $y_j$  é a observação da variável estudada na região  $j$ ,  $\bar{y}$  corresponde à média da variável estudada, e  $w_{ij}$  representa cada um dos elementos da matriz de pesos espaciais que captura a estrutura espacial da área de estudo.

### 2.2.4 Análise de autocorrelação bivariada entre o consumo e a renda

Para avaliar associações espaciais entre o consumo de água e a renda per capita, serão empregados o Índice de Moran Global Bivariado e o Índice LISA Bivariado. Esta abordagem bivariada busca compreender como a variável dependente é influenciada por uma segunda variável, identificada como variável exploratória (Siabato; Manrique, 2019). A análise da significância estatística dos parâmetros envolveu uma estratégia de 999 permutações, estabelecendo um limiar crítico de  $p < 0,05$ .

## 2.3 Resultados e discussões

### 2.3.1 Análise univariada do consumo per capita

A Tabela 1 exibe o Índice de Moran Global para Fortaleza e para o Brasil, utilizando duas matrizes de ponderação espacial de primeira ordem: *Queen* e *Rook*. Aplicando a Equação 2, é possível comparar esses resultados com o Índice de Moran Esperado (E), que representa o valor encontrado na ausência de qualquer padrão espacial nos dados, conforme proposto por Almeida (2012). Aplicando as equações, observa-se que os valores esperados são -0.000342 para Fortaleza, e -0.000227 para o Brasil, que representam o cenário teórico onde a distribuição espacial seria completamente aleatória.

Tabela 1 - Índice de Moran Global para o consumo per capita de água conforme o tipo de matriz de ponderação (2010)

Área de abrangência	Matriz	Índice de Moran Global (I)	P-Valor
Fortaleza	Queen	0,511	0,001
	Rook	0,513	0,001
Brasil	Queen	0,601	0,001
	Rook	0,604	0,001

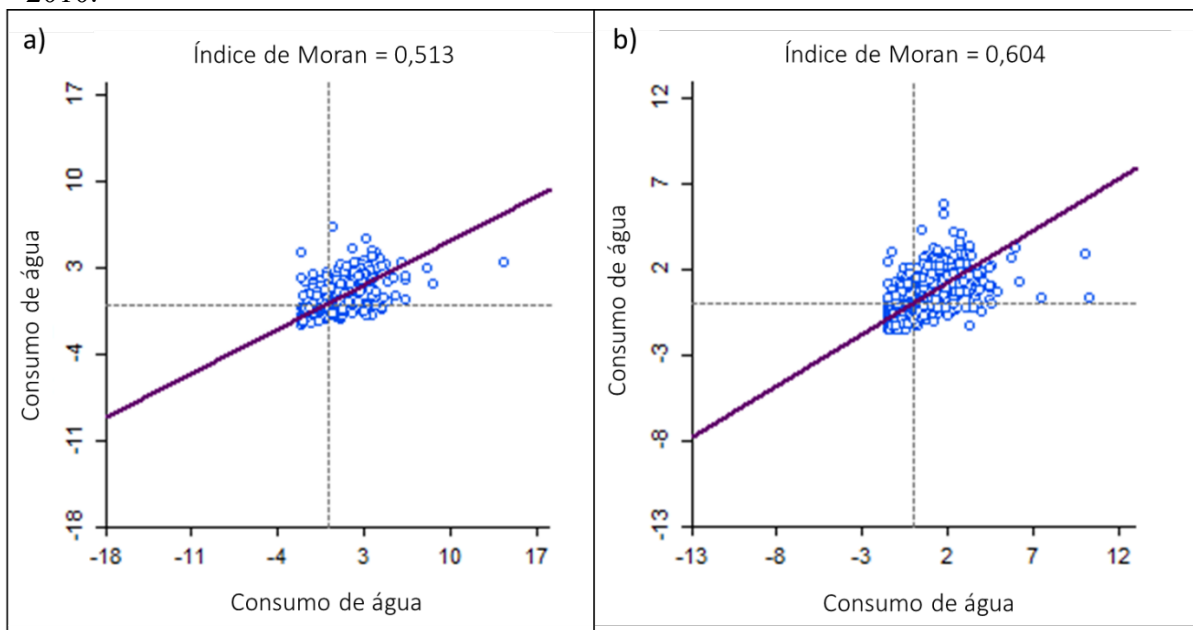
Fonte: Elaborado pela autora.

Salienta-se que o P-Valor, tanto da matriz tipo *Queen* como da matriz tipo *Rook* de primeira ordem, foram significativos ao nível de 1% para o consumo per capita de água. Os dados analisados indicam consistentemente uma autocorrelação positiva em ambas as áreas de abrangência (Fortaleza e Brasil), independentemente do tipo de matriz de ponderação utilizada. De acordo com os dados, a matriz do tipo Rook apresentou resultados ligeiramente superiores,

sugerindo uma dependência espacial mais acentuada. Portanto, as análises posteriores serão baseadas na matriz do tipo Rook (Figura 5).

A Figura 5 apresenta os gráficos de dispersões para o consumo per capita de água de Fortaleza e do Brasil, a partir da matriz de ponderação do tipo Rook. Os dados evidenciam um Índice de Moran Global significativamente positivo para o consumo per capita de água, indicando que áreas geográficas vizinhas apresentam similaridades notórias nos níveis de consumo, ou seja, unidades espaciais com elevado consumo hídrico são circundadas por vizinhos em situações similares e vice-versa. Em síntese, essa associação espacial positiva sugere a formação de clusters espaciais com padrões convergentes de níveis de consumo hídrico.

Figura 5 – Diagrama de dispersão para o consumo per capita de Fortaleza (a) e do Brasil (b) – 2010.



Fonte: Elaborado pela autora.

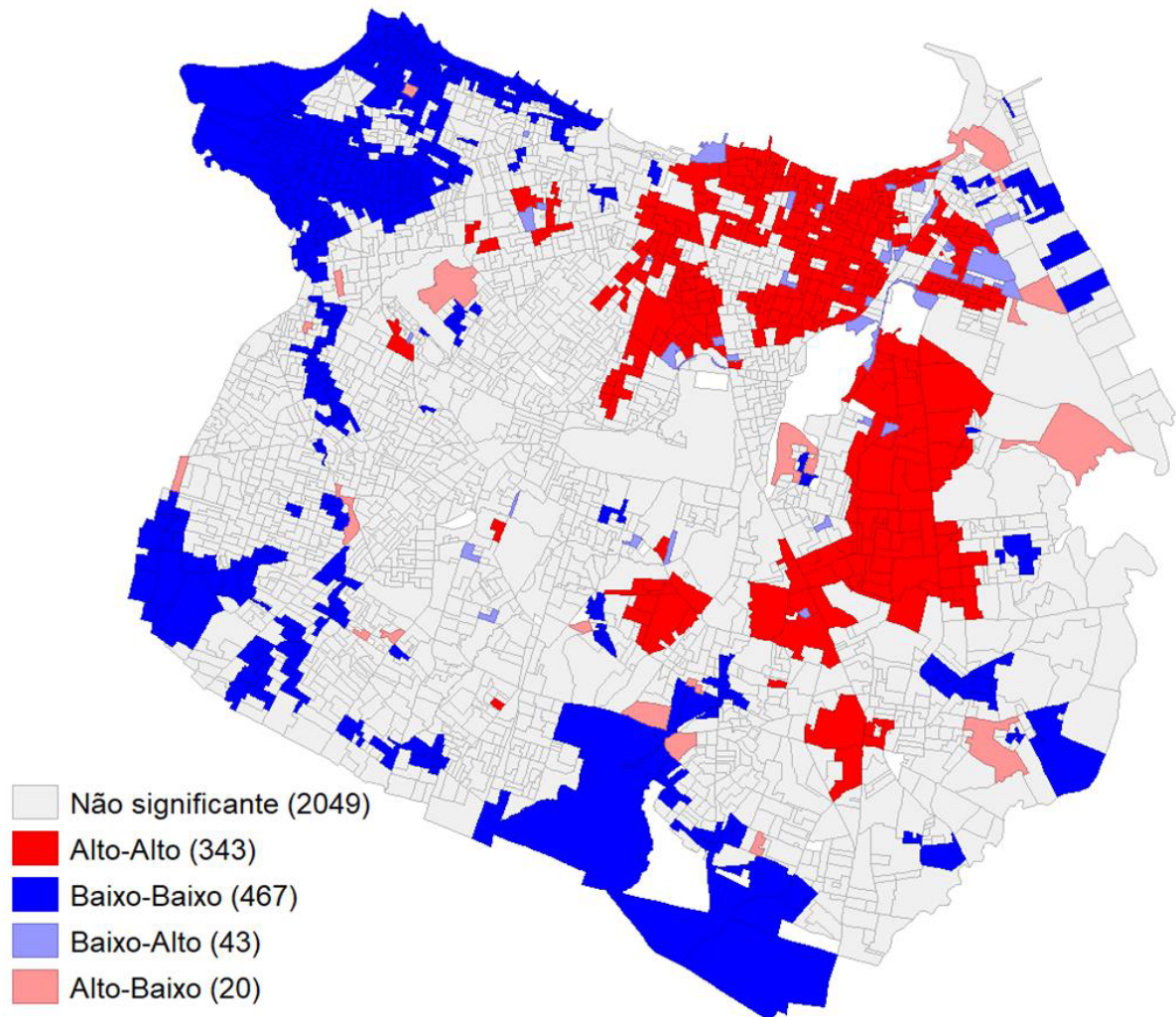
A Figura 6 apresenta os padrões de associação espacial do consumo per capita de água para os setores censitários de Fortaleza. Foram encontrados quatro tipos de associação espacial em relação ao consumo: alto-alto, baixo-baixo, alto-baixo e baixo-alto.

Os clusters alto-alto (cor vermelha) apontam regiões da cidade em que os usuários apresentam elevados níveis de consumo, circundados por vizinhos com níveis similares. Tais áreas são definidas por 343 setores censitários localizados, majoritariamente, na região leste da cidade, como por exemplo, nos bairros Aldeota, Meireles, Mucuripe, Varjota e Engenheiro Luciano Cavalcantes. Essa região abrange bairros de alto padrão, notadamente Aldeota e

Meireles, que se tornaram parte central da dinâmica urbana de Fortaleza, concentrando significativa riqueza, emprego, renda, fluxos de capital e informação, além de servirem como importantes centros de decisões políticas e empresariais na cidade (Machado, 2017).

Além disso, os bairros da zona leste se destacam pela concentração de moradias de classe média alta, clubes de praia, hotéis, comércio de luxo, serviços especializados e instituições públicas (Dantas *et al.*, 2010; Freitas, 2020).

Figura 6 – Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA) da análise univariada do consumo per capita de água da cidade de Fortaleza-CE. O número de setores censitários que compõem cada cluster é evidenciado entre parênteses. As regiões em branco representam áreas sem informações disponíveis.



Fonte: Elaborado pela autora.

Já os clusters baixo-baixo (cor azul escuro) identificam setores censitários em que as economias registram baixo consumo de água, cercados por setores com o mesmo comportamento. Esses clusters estão distribuídos em 467 setores que se localizam,



majoritariamente, na região oeste da cidade. Nessas áreas são predominantes os conjuntos habitacionais, loteamentos populares, além de áreas que abrigam numerosos assentamentos precários (Freitas, 2020).

Tal gradiente espacial em Fortaleza é evidenciado pelas características sociodemográficas e pela demanda hídrica. Nas zonas central e leste, caracterizadas por uma demanda significativa de água, as condições educacionais e de saúde são notadamente superiores. Em contrapartida, nas regiões sul e oeste, onde a demanda por água é reduzida, são identificadas baixas médias de renda per capita e Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) (Carvalho *et al.*, 2021).

A Figura 7 apresenta os padrões de associação espacial do consumo per capita de água para os municípios do Brasil. Os clusters alto-alto (cor vermelha) são definidos por 645 municípios localizados, majoritariamente, nas regiões Sudeste e Centro-Oeste do país, enfatizadas por São Paulo, Espírito Santo, Minas Gerais e Goiás.

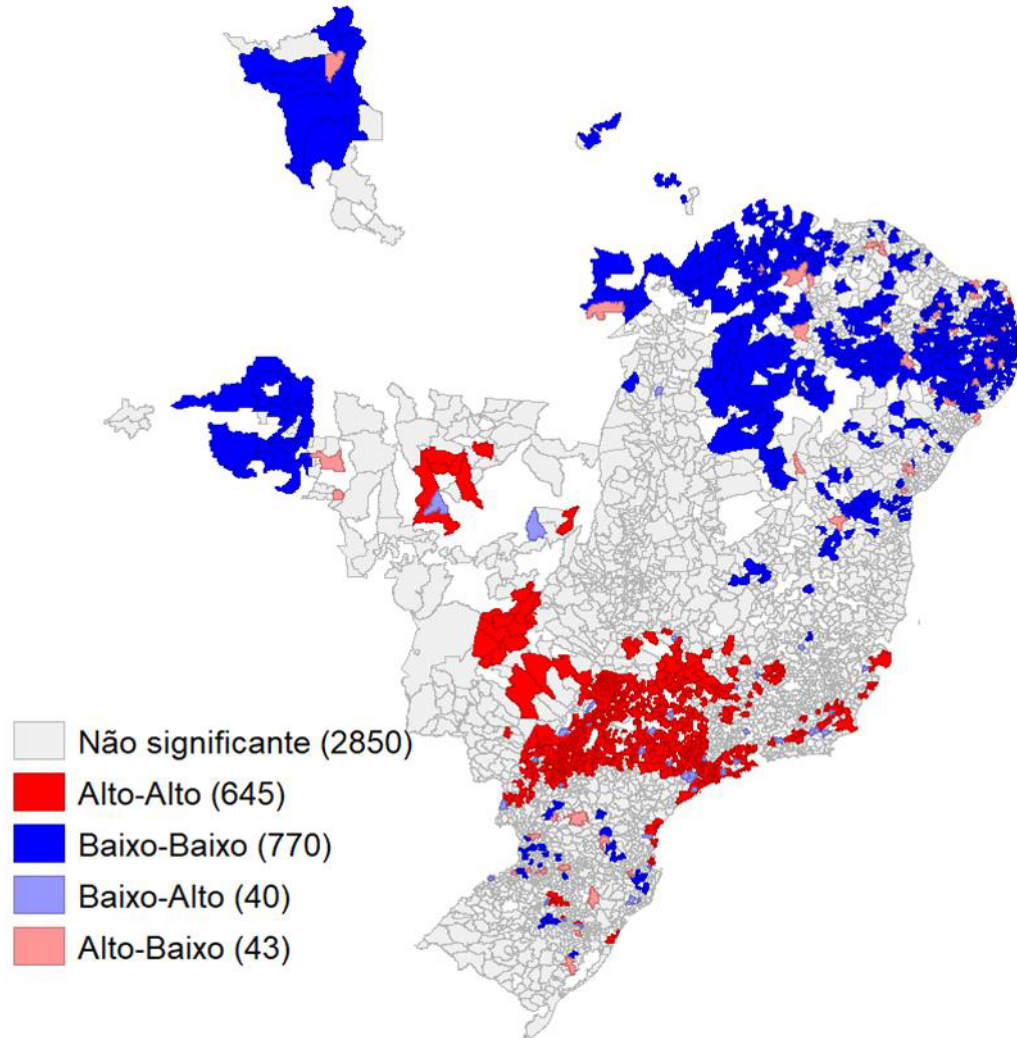
Já os clusters baixo-baixo (cor azul escuro) estão distribuídos em 770 municípios que se localizam, majoritariamente, na região Nordeste do país, onde se destacam no mapa os estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia.

Salienta-se que a maior parte dos dados da região Norte quanto ao consumo per capita de água encontram-se indisponíveis, notadamente na região da Floresta Amazônica. Ainda assim, destacam-se os municípios de padrão baixo-baixo, principalmente nos estados de Rondônia, Roraima e Amapá.

Os dados apresentados revelam um abismo entre as regiões Norte/Nordeste e Sul/Sudeste, apontando para fatores históricos e socioeconômicos que contribuem para esta configuração (Pochmann; Silva, 2020). Tsutsui e Empinotti (2021) destacam que as disparidades regionais no Brasil se originaram da concentração da industrialização no Centro-Sul do país. Nessa região, a água desempenhou um papel crucial como insumo estratégico para o desenvolvimento econômico, por meio da implementação de infraestruturas que sustentariam o desenvolvimento regional.

Tais questões foram evidenciadas principalmente no final da década de 1950, impulsionadas por dois eventos determinantes: as secas no Nordeste em 1958-1959 e a significativa concentração de investimentos na produção industrial em São Paulo, especialmente entre 1956-1961, no contexto do Plano de Metas do governo de Juscelino Kubitschek (Cano, 2011).

Figura 7 – Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA) da análise univariada do consumo per capita de água do Brasil. O número de municípios que compõem cada cluster é evidenciado entre parênteses. As regiões em branco representam áreas sem informações disponíveis.



Fonte: Elaborado pela autora.

### 2.3.2 Análise bivariada do consumo e renda per capita

Grespan *et al.* (2022) constataram uma relação direta entre os fatores socioeconômicos e o consumo de água. Nesse contexto, a renda se destaca como um dos principais influenciadores, conforme evidenciado por Carvalho *et al.* (2021) e Lopes *et al.* (2022). Tal conexão ressalta a influência significativa da renda, consolidando-a como componente fundamental para a compreensão da heterogeneidade do consumo hídrico.

Dessa forma, a influência da renda per capita sobre o consumo per capita de água foi estimado com base no Índice Bivariado de Moran (IBM) (Tabela 2). Assim como na análise univariada, os P-Valores são significativos ao nível de 1% para ambas as matrizes. A

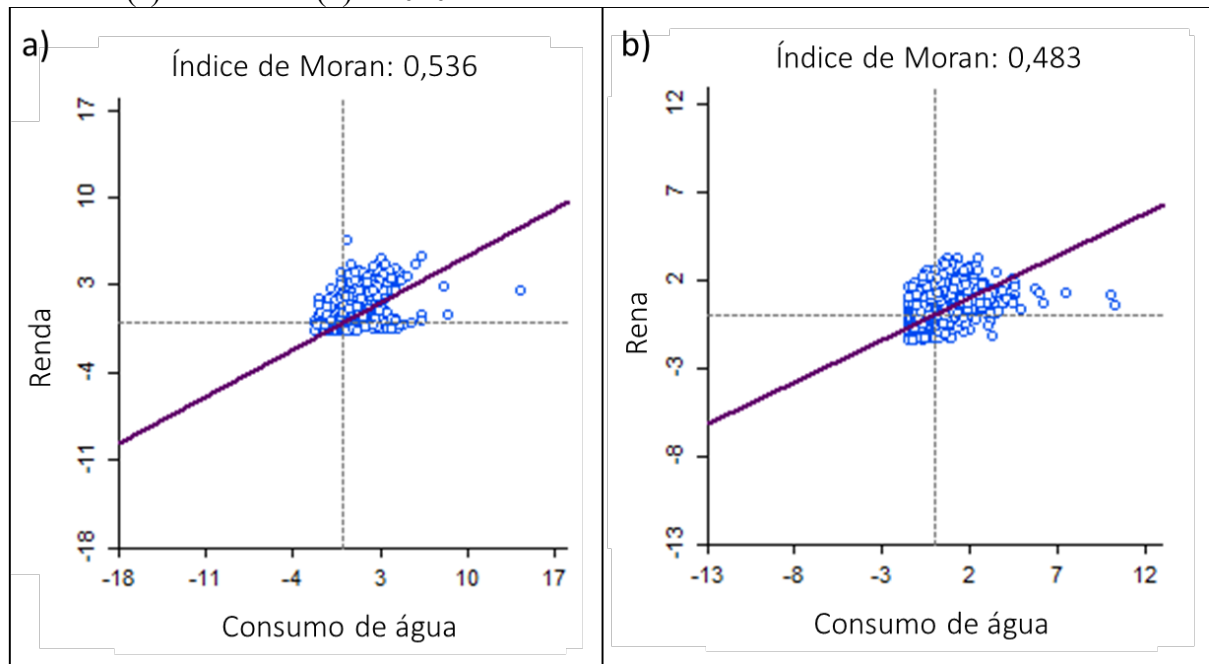
autocorrelação positiva é consistente tanto para Fortaleza quanto para o Brasil, independentemente do tipo de matriz, sendo a matriz *Rook* ligeiramente maior, sugerindo uma dependência espacial mais acentuada. Diante dessa superioridade, as análises subsequentes serão baseadas na matriz do tipo *Rook* (Figura 8).

Tabela 2 - Índice de Moran Global para o consumo de água e a renda per capita conforme o tipo de matriz de ponderação (2010)

Área de abrangência	Matriz	Índice Bivariado de Moran (IBM)	P-Valor
Fortaleza	Queen	0,535	0,001
	Rook	0,536	0,001
Brasil	Queen	0,481	0,001
	Rook	0,483	0,001

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 8 – Diagrama de dispersão bivariado entre o consumo de água e a renda per capita de Fortaleza (a) e do Brasil (b) – 2010.



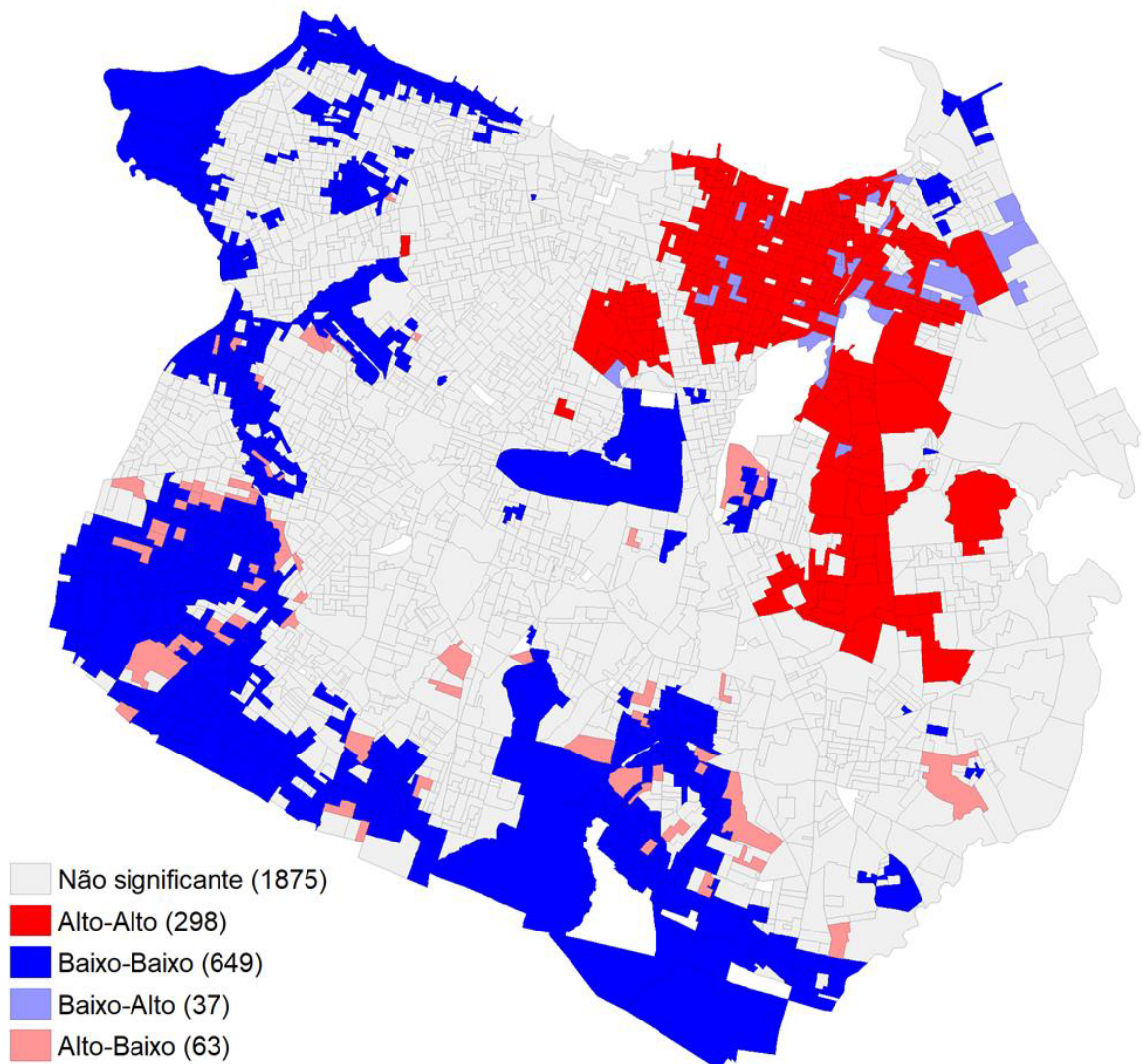
Fonte: Elaborado pela autora.

Os padrões locais de associação espacial entre o consumo de água e a renda per capita foram avaliados por análise bivariada LISA. O índice IBM (Indicador Bivariado de Moran) registra um valor de 0,536, indicando uma forte associação direta entre os níveis de renda e consumo de água. Em outras palavras, áreas com rendas mais altas tendem a apresentar maiores consumos de água, e vice-versa. Ressalta-se que este padrão é consistente com outros

estudos que destacam a influência significativa de variáveis socioeconômicas, como a renda per capita, no consumo hídrico urbano (Carvalho *et al.*, 2021; Mousi; Bhuvaneshwari, 2021; Lopes *et al.*, 2022).

A Figura 9 destaca as áreas de associação de padrões na cidade de Fortaleza, revelando um maior consumo de água na região leste, o que está em sintonia com a maior renda per capita nessa área.

Figura 9 – Análise Bivariada de Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA) entre o consumo de água e a renda per capita da cidade de Fortaleza-CE. O número de setores censitários que compõem cada cluster é evidenciado entre parênteses. As regiões em branco representam áreas sem informações disponíveis



Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com o IBGE (2010), nove dos bairros com maior renda de Fortaleza estão localizados na zona leste da cidade situados na Regional II (Guararapes, Varjota, Cocó,

De Lourdes, Aldeota, Meireles, Mucuripe, Dionísio Torres, e Praia de Iracema). Reitera-se que nessa região é predominante uma grande valorização imobiliária e elevados Índices de Desenvolvimento Humano (IDHs); dispo de um padrão residencial multifamiliar e unifamiliar, onde os enclaves residenciais são frequentes e ressaltam a separação física e as desigualdades socioeconômicas (Freitas, 2020, Carvalho *et al.*, 2021; Freitas; Costa, 2022).

Essa conjuntura se deve ao histórico da expansão urbana da cidade, em que, no período de 1950 a 1990, mostrou uma concentração maior das camadas de renda mais elevada nos bairros próximos ao núcleo original da cidade: a região centro-leste. Simultaneamente, foi observado o deslocamento de estratos populares para conjuntos habitacionais periféricos mais afastados e precários em Fortaleza (Freitas, 2020).

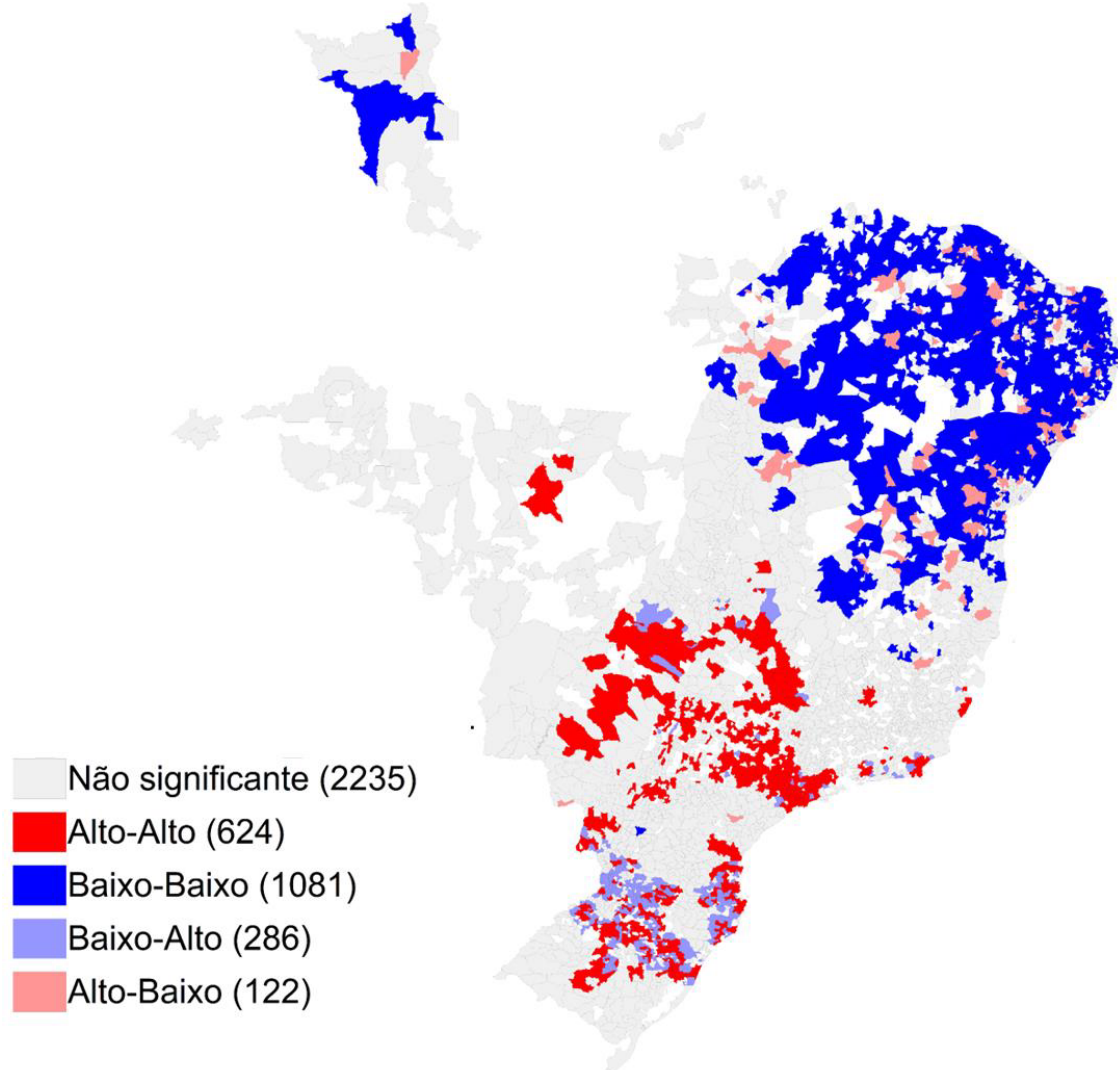
Tais fatores reforçam a correlação direta entre renda e o consumo per capita de Fortaleza, além de apontar para a heterogeneidade espacial do consumo dentro da cidade, influenciada por fatores socioeconômicos.

A nível nacional, o IBM (0,483) resalta uma forte associação entre os níveis de consumo de água e de renda. Além disso, a análise bivariada resalta uma marcante disparidade socioeconômica entre os municípios do Norte e Nordeste com as regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil (Figura 10).

Nas regiões Norte e Nordeste do país, sobressaem-se os clusters de baixo-baixo (cor azul escuro), caracterizando os municípios nos quais tanto o consumo de água quanto a renda são baixos; e estão cercados por municípios que apresentam o mesmo padrão. Já nos clusters alto-baixo (cor rosa), salientam os municípios de consumo e renda altos, rodeados por municípios em situações opostas. Salienta-se que o Norte e o Nordeste são as regiões com menores rendimentos do Brasil.

Por outro lado, nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do país, se destacam os clusters alto-alto (cor vermelha), apontando municípios com elevados níveis de consumo e renda, circundados por vizinhos semelhantes. Além disso, os cluster de padrão baixo-alto (azul claro) estão majoritariamente localizados na região sul do país, apontando municípios de baixo consumo rodeados por municípios de alto consumo, salientando uma disparidade espacial.

Figura 10 – Análise Bivariada de Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA) entre o consumo de água e a renda per capita dos municípios brasileiros. O número de setores censitários que compõem cada cluster é evidenciado entre parênteses. As regiões em branco são referentes a regiões sem informações disponíveis



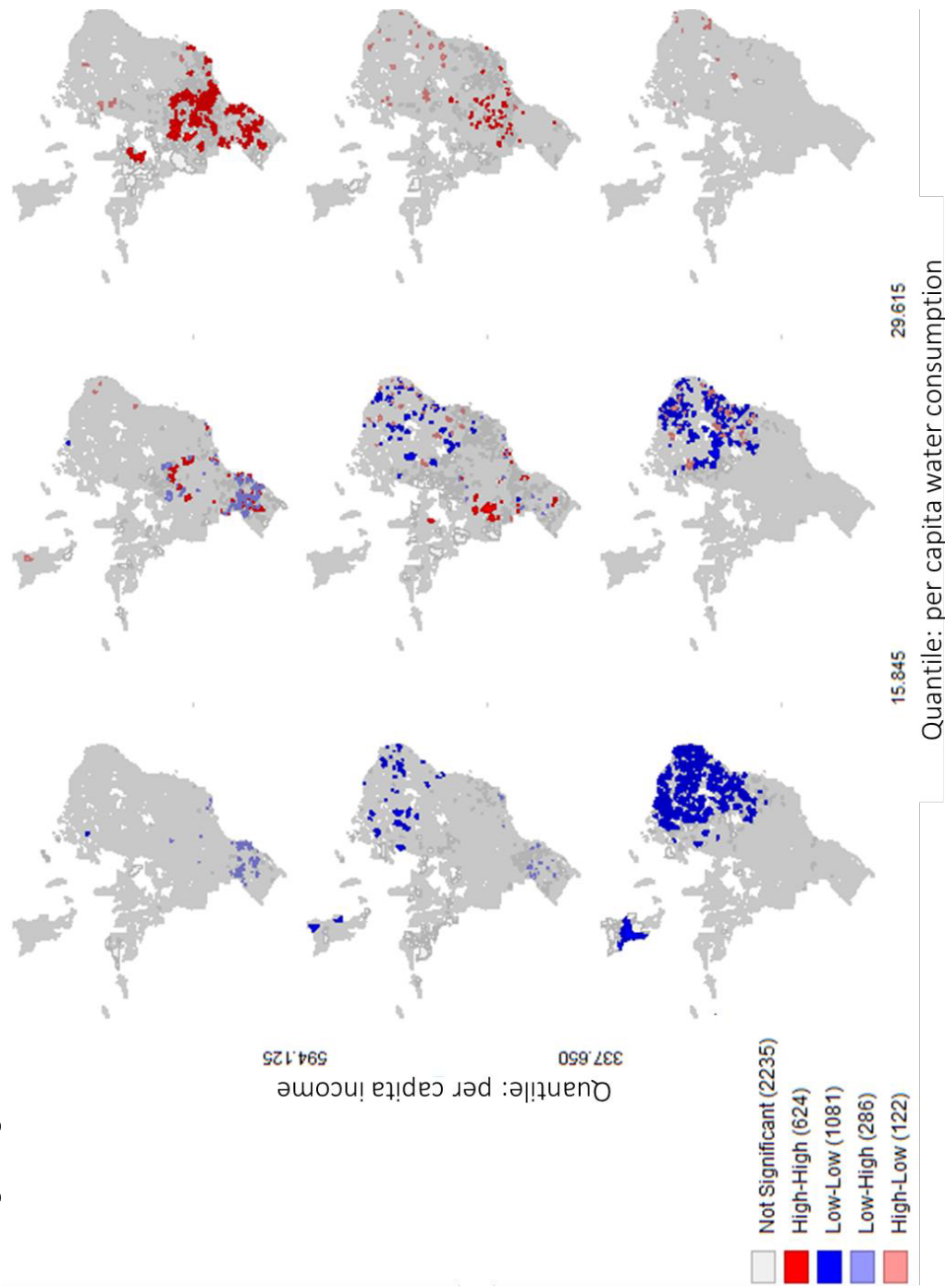
Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 11 enfatiza ainda mais a relação nacional entre a renda e o consumo de água. Em suma, no eixo horizontal, o quantil do consumo per capita em ordem crescente e no eixo vertical, o quantil da renda per capita também em ordem crescente. Portanto, no mapa inferior esquerdo, estão destacadas as regiões de baixo consumo e baixa renda, enquanto o mapa inferior esquerdo exibe as regiões de alto consumo e baixa renda.

Os dados evidenciam desigualdades sociais intra e inter-regionais, além de realçar a relação intrínseca entre a renda e consumo de água. Pochmann e Silva (2020) enfatizam o abismo socioeconômico entre as regiões Norte/Nordeste e Sul/Sudeste, assegurando a manutenção das desigualdades sociais entre os dois blocos. Nesse contexto, o quadro da

desigualdade social no Brasil é agravado pela: i) concentração espacial da atividade produtiva e da conseqüente limitação de intervenção dos estados periféricos, condicionada pela baixa capacidade de arrecadação fiscal e pela insuficiência de transferências constitucionais; ii) regressividade do sistema tributário; iii) tecido social e; iv) concentração fundiária (Pochmann; Silva, 2020). Nesse contexto, vale destacar a função histórica da água como insumo para o desenvolvimento econômico no Brasil (Tsutsui; Empinotti, 2021).

Figura 11 – Análise bivariada com mapas de cluster locais condicionais entre o consumo per capita de água e a renda per capita do Brasil.



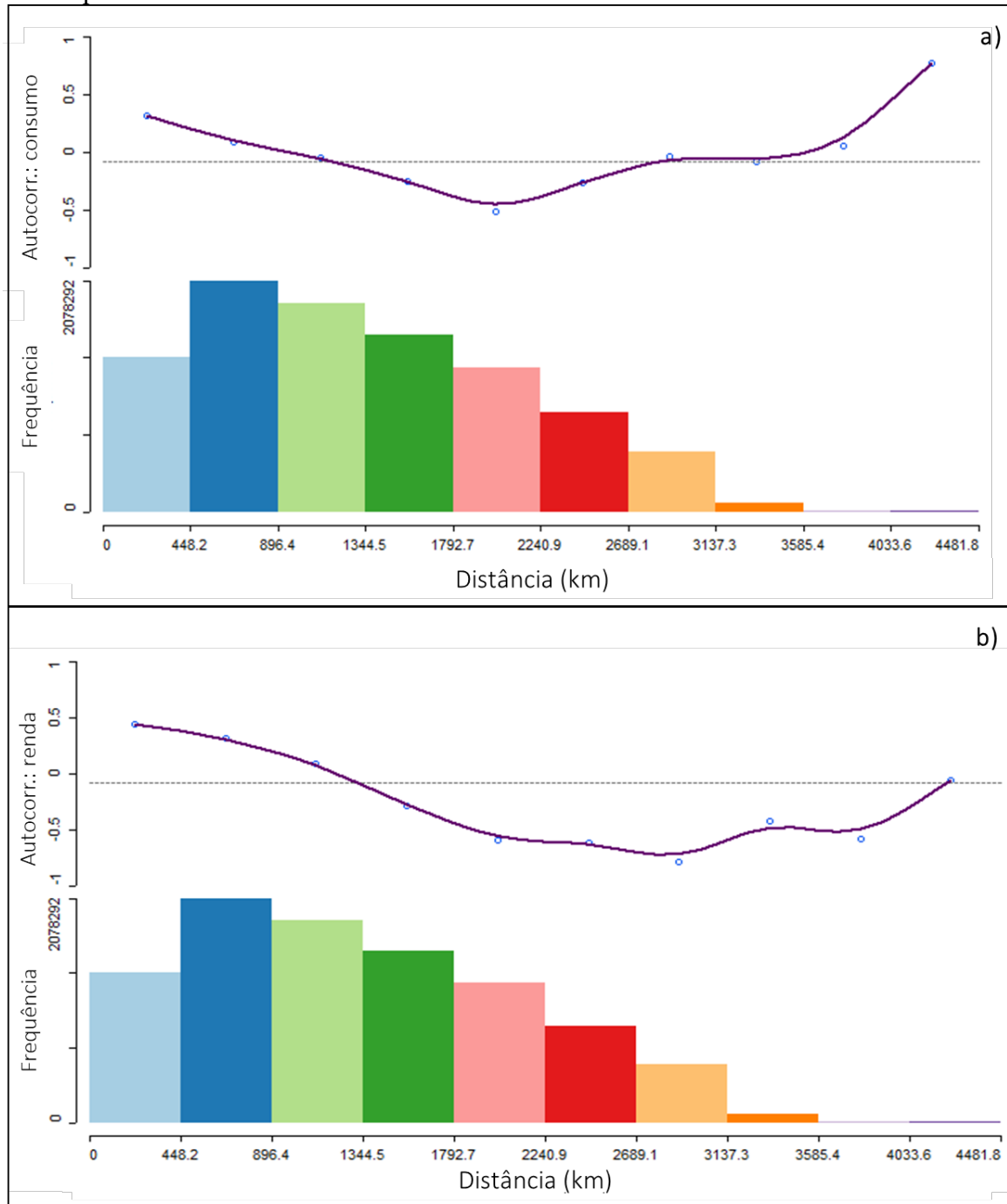
Fonte: Elaborado pela autora.



Por fim, os correlogramas apresentados na Figura 12 reforçam a Lei de Tobler (1970), a qual afirma que todas as coisas estão relacionadas entre si, mas as coisas mais próximas no espaço têm uma relação mais forte do que as coisas distantes. Observa-se que, tanto para o consumo de água quanto para a renda per capita, as regiões mais próximas têm maior autocorrelação positiva.

A autocorrelação positiva para o consumo de água e renda per capita destaca a tendência de áreas adjacentes a exibirem padrões semelhantes nesses indicadores, evidenciando a importância da dimensão espacial na compreensão das disparidades regionais de consumo hídrico. Essa constatação reforça a ideia de que fatores locais, como contexto geográfico e socioeconômico, desempenham forte influência na dinâmica do consumo de água. Vale salientar que quantificar a influência de uma região sobre seu vizinho permite identificar níveis de interdependência de consumo de água (Barreto, 2007).

Figura 12 – Correlogramas de a) consumo per capita de água e b) renda per capita dos municípios brasileiros



Fonte: Elaborado pela autora.

## 2.4 Conclusão

O Brasil enfrenta desafios significativos na busca pela universalização do saneamento básico, uma vez que seu índice de atendimento de água é de apenas 84,9% (SNIS,

2022). Além disso, o país apresenta uma escala continental com disparidades socioeconômicas intra e inter-regionais que dificultam a gestão de recursos hídricos.

A análise espacial do consumo diário de água per capita confirma a existência de um padrão de distribuição espacial tanto em âmbito nacional quanto na localidade de Fortaleza. O grau de correlação quanto ao consumo per capita dos setores censitários de Fortaleza foi de 0,513 (Índice de Moran Global), enquanto os municípios Brasil apontaram um índice ainda maior, de 0,604. Os valores positivos do índice revelam que o padrão espacial é formado por regiões de elevado consumo circundadas por áreas análogas, bem como regiões de baixo consumo rodeadas por comportamentos equivalentes.

Os resultados ressaltaram as disparidades regionais entre Norte/Nordeste (com predominância de agregação alto-alto) e o Centro Sul do país (com maior agregação baixo-baixo). Além disso, a análise bivariada confirma que as diferenças entre os níveis de consumo estão diretamente correlacionadas aos níveis de renda, revelando, portanto, fatores espaciais e socioeconômicos que interferem na dinâmica nacional do uso da água. Tal agrupamento pode ser explicada por uma série de fatores histórico sociais, dentre eles, destacam-se: i) a concentração da industrialização no Centro-Sul do país da ii) a secas prolongadas no Nordeste; iii) a concentração fundiária; e iv) as desigualdades na arrecadação fiscal (Cano, 2011; Pochmann; Silva, 2020; Tsutsui; Empinotti, 2021).

Além disso, quanto a dinâmica intra cidadina de Fortaleza, os resultados evidenciam desigualdades socioeconômicas que são refletidas no comportamento do consumidor. Tal configuração é resultado do processo histórico de urbanização da cidade, em que a concentração de residências de classe média alta, comércio, serviços especializados e instituições públicas é bem acentuada zona leste da cidade (Dantas *et al.*, 2010; Freitas, 2020). Além disso, nas regiões sul e oeste de Fortaleza, onde a demanda por água é reduzida, são identificadas baixas médias de renda per capita e Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), que estão associadas a habitações populares (Freitas, 2020; Carvalho *et al.*, 2021).

Tais resultados fornecem uma base fundamental para o desenvolvimento de políticas adaptadas às necessidades das áreas com maiores conflitos de consumo de água, visando mitigar a desigualdade hídrica e social nas periferias de Fortaleza, bem como neutralizar as disparidades inter-regionais do Brasil. A abordagem espacial e o uso de informações georreferenciadas oferecem uma metodologia valiosa para a análise de problemas hídricos em grandes cidades de países em desenvolvimento.

### 3 OS IMPACTOS DA PANDEMIA DE COVID-19 NO CONSUMO DE ÁGUA URBANO: O CASO DE FORTALEZA

#### 3.1 Introdução

À medida que a urbanização se intensifica em escala global, com expectativas de crescimento nas próximas décadas (Kundu; Pandey, 2020), a implementação de estratégias de gestão da demanda de água emerge como uma intervenção crucial para lidar com os desafios atuais e futuros do ambiente urbano. Tal abordagem é fundamental para a conservação dos recursos hídricos nas cidades (Turner *et al.*, 2010).

Nos grandes centros urbanos, são observados valores elevados de consumo residencial de água, em função das mudanças nos padrões de consumo (Oliveira *et al.*, 2020). Dessa forma, os tomadores de decisão são constantemente confrontados com cenários críticos que urgem pela necessidade de alcançar o equilíbrio entre a oferta e a demanda de água (Fielding *et al.*, 2013).

Em meio a isso, a emergência global de COVID-19 (SARS-CoV-2) gerou um expressivo isolamento social que impulsionou a mudança de hábitos e alterou os padrões de vida da população. Tal conjuntura pode afetar diretamente a dinâmica do consumo de água em função, principalmente: i) da maior permanência dos consumidores em unidades residenciais; ii) da alteração nos hábitos de higiene; iii) e do aumento da demanda por novos procedimentos médicos em unidades de saúde (Bera *et al.*, 2022; Kazak *et al.*, 2022).

Além disso, a pandemia causou uma recessão econômica com elevados índices de desemprego e provocou uma crise humanitária. Dessa forma, os impactos econômicos globais ocasionados pela COVID-19 enfatizaram a acentuada vulnerabilidade da parcela populacional com menor poder aquisitivo (ONU, 2020; Capasso *et al.*, 2022).

Carvalho *et al.* (2021) e Lopes *et al.* (2022) destacam a relação intrínseca entre as variáveis socioeconômicas e o consumo hídrico urbano, onde apontam que o consumo *per capita* de água é diretamente influenciado pela renda *per capita*. Tais estudos, associados às alterações nos hábitos de consumo de água e às desigualdades sociais ressaltadas durante a pandemia, destacam a relevância de desenvolver trabalhos que analisem os impactos da COVID-19 no consumo hídrico em função do perfil dos consumidores.

De acordo com dados do Ministério da Saúde (MS), em março de 2020, o Estado do Ceará tornou-se um dos estados brasileiros com o maior número de casos da doença, sendo precedido apenas por São Paulo e Rio de Janeiro (Brasil, 2020). Dessa forma, a cidade de

Fortaleza passou por medidas de distanciamento social desde março de 2020 que, posteriormente, passaram a ser flexibilizadas por reaberturas graduais dos estabelecimentos.

Diante do exposto, o presente estudo realiza uma análise dos impactos da COVID-19 na variação do consumo hídrico urbano da cidade de Fortaleza (CE), dividindo a análise entre as economias residenciais, comerciais, industriais, públicas e de uso misto. Os consumidores residenciais categorizados como baixa renda também são observados separadamente. O trabalho segrega a investigação a partir dos períodos de *lockdown* e as fases de reabertura para avaliar os impactos sobre o consumo de água nos diferentes estágios de isolamento.

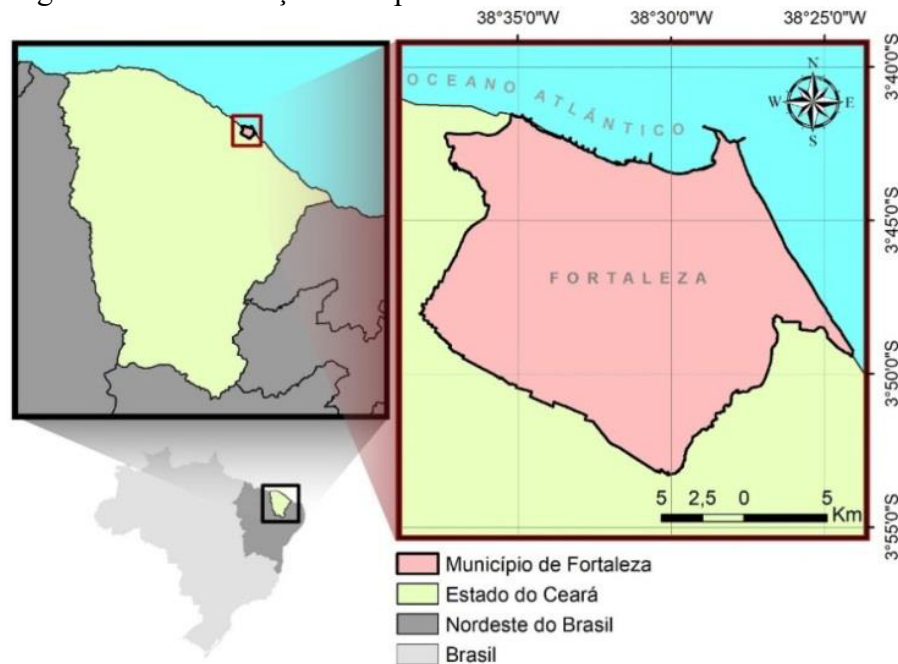
Vale salientar que, a partir da análise das variações de consumo hídrico, as concessionárias podem agir perante às vulnerabilidades de seus sistemas de abastecimento, que são influenciadas diretamente pelas variações de oferta e demanda de água. Exemplo disso são os problemas relacionados à qualidade da água, inerentes às mudanças na pressão em resposta às variações de demanda.

### **3.2 Local de aplicação**

O Estado do Ceará enfrenta, periodicamente, desafios relacionados ao balanço hídrico, devido principalmente a: (i) variabilidade no regime de chuvas, agravada por secas sucessivas; (ii) altos índices de evaporação (maiores que 2.000mm); (iii) baixos índices de precipitação (menores que 900mm). Essas condições climáticas contribuem para a ocorrência de desequilíbrios no balanço hídrico (Ceará, 2018).

O consumo hídrico estimado para o Ceará é de 49m<sup>3</sup>/s, o qual pode ser sinteticamente categorizada em: consumo humano, industrial e agropecuário. A demanda humana é mais expressiva nos grandes centros urbanos, como nas regiões do Cariri, Sobral e Fortaleza (Ceará, 2018). Nesse contexto, a cidade de Fortaleza (Figura 13), objeto do presente estudo, é o principal centro de demanda de água para abastecimento humano em decorrência dos altos índices demográficos, contendo cerca de 30% da população do Estado (IBGE, 2022).

Figura 13 – Localização da capital do Ceará - Fortaleza



Fonte: Adaptado de Oliveira *et al.* (2020).

### 3.3 Metodologia

#### 3.3.1 Obtenção e espacialização dos dados

Os estudos foram realizados a partir da obtenção dos dados de micromedição de água levantados junto à Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE) para os anos de 2018 a 2020.

Os dados estavam organizados por mês e ano, demonstrando as inscrições com seu respectivo consumo, os tipos de economias pertencentes (residencial, comercial, industrial, pública ou mista), e a quantidade de economias que se enquadravam ou não como baixa renda. Posteriormente, os dados foram agrupados com os totais mensais e exibidos em gráficos para melhor compreensão.

Vale ressaltar, que a Cagece disponibilizou os dados das malhas territoriais norte, sul e oeste (MTN, MTS, MTO), faltando apenas a malha leste (MTL). Portanto, para este estudo a área foi limitada às três regiões disponibilizadas, o que já garante uma vasta compreensão da dinâmica de consumo urbano, uma vez que o território abrange todos os tipos de economias.

### 3.3.2 Identificação das Fases da Pandemia de COVID-19

A pandemia transformou a dinâmica dos centros urbanos e, conseqüentemente, pode ter afetado os hábitos de consumo de água dos usuários. Para averiguar a tendência de consumo frente às diferentes fases da pandemia, foram determinados os cenários dentro dos quais o consumo será analisado.

A segregação das fases da pandemia vivenciadas pela cidade de Fortaleza, foi realizada com base nos decretos instituídos pelo Governo do Estado do Ceará, os quais determinaram as restrições e flexibilizações do funcionamento das atividades produtivas e da mobilidade social durante o ano de 2020. Para tanto, foram selecionados os decretos que continham o maior potencial de afetar a dinâmica do consumo de água da cidade de Fortaleza, conforme exposto no Quadro 2.

Quadro 2 - Resumo dos decretos de maior efeito para a dinâmica do consumo de água

DECRETO	DATA	RESUMO
33.519	19 de março de 2020	Com a instalação dessa medida, ficaram com funcionamento suspenso as seguintes atividades: I - bares, restaurantes, lanchonetes e estabelecimentos congêneres; II - templos, igrejas e demais instituições religiosas; III - museus, cinemas e outros equipamentos culturais, público e privado; IV - academias, clubes, centros de ginástica e estabelecimentos similares; V - lojas ou estabelecimentos que pratiquem o comércio ou prestem serviços de natureza privada; VI - “shopping center”, galeria/centro comercial e estabelecimentos congêneres, salvo quanto a supermercados, farmácias e locais que prestem serviços de saúde no interior dos referidos dos estabelecimentos; VII - feiras e exposições; VIII - indústrias, excetuadas as dos ramos farmacêutico, alimentício, de bebidas, produtos hospitalares ou laboratoriais, obras públicas, alto forno, gás, energia, água, mineral, produtos de limpeza e higiene pessoal, bem como respectivos fornecedores e distribuidores.
33.574	05 de maio de 2020	Intensificação do Lockdown, que ocorreu do dia 08 de maio a 31 de maio de 2020 segundo o Decreto nº33574, de 5 de maio de 2020. Esse decreto mantém todas as restrições descritas acima, porém ressalta o controle do deslocamento da população, que deveria sair de casa somente por motivos justificados de acordo com o exposto no documento.
33.617	06 de junho de 2020	Esse decreto libera diversas atividades, porém ainda com restrições de capacidade, não sendo permitido o funcionamento pleno a 100% da capacidade de operação. Essa fase foi encerrada no dia 19 de junho de 2020, quando foram estabelecidas novas diretrizes para seguir a retomada gradativa das atividades produtivas.

DECRETO	DATA	RESUMO
33.631	20 de junho de 2020	Prorroga o isolamento social no estado do Ceará, renova a política de regionalização das medidas de isolamento social, e dá outras providências. A partir desse decreto, uma nova gama de atividades estaria apta para o funcionamento, compondo a segunda fase de reabertura do comércio no município.
33.645	04 de julho de 2020	Prorroga o isolamento social no estado do Ceará, renova a política de regionalização das medidas de isolamento social, e dá outras providências. A partir desse decreto, uma nova gama de atividades estaria apta para o funcionamento, compondo a segunda fase de reabertura do comércio no município. Nessa fase foi observada principalmente a mudança de capacidade de grande parte das atividades que já estavam consideradas aptas ao funcionamento, chegando à 100% ou 50% em todas elas. Portanto, o período que compreende o cenário considerado inicia se no dia 04 de julho de 2020 e encerra se no dia 17 de julho de 2020.
33.684	18 de julho de 2020	Estabeleceu as orientações para a quarta e última fase de reabertura comercial. Nesse cenário, é observada que quase todas as categorias apresentam funcionamento pleno, com capacidade de 100%, sendo o cenário que mais se aproxima ao período de pré isolamento social, também considerado também nesse estudo.

Fonte: Ceará (2020).

Após a seleção de tais decretos, foi possível estipular os cenários da pandemia agregados mensalmente, uma vez que os dados enviados pela Cagece estavam especializados por mês. O intervalo de cada cenário, bem como os principais decretos constituintes estão expostos no Quadro 3.

Quadro 3 - Cenários da pandemia de COVID-19 a partir dos principais decretos instituídos pelo Governo do Estado do Ceará

Cenário	Intervalo	Principais decretos
Pré-isolamento social	-	-
Transição	março de 2020	Início do decreto 33.519 de 19 de março de 2020
<i>Lockdown</i>	abril e maio de 2020	Pertinência do decreto 33.519 de 19 de março de 2020, e intensificação com o decreto 33.574 de 5 de maio de 2020
1ª e 2ª fase de reabertura	junho de 2020	1ª fase de reabertura com o decreto 33.617 de 06 de junho de 2020, e 2ª fase com o decreto 33.631 de 20 de junho de 2020
3ª e 4ª fase de reabertura	julho de 2020	3ª fase de reabertura com o decreto 33.645 de 4 de julho de 2020, e 4ª fase com o decreto 33.684 de 18 de julho de 2020
Pós <i>lockdown</i>	agosto a dezembro de 2020	-

Fonte: Elaborado pela autora.



### 3.4 Resultados e discussões

Os resultados obtidos foram segregados por tipo de consumo, em prol de entender os efeitos da pandemia na dinâmica particular do consumo residencial, comercial, industrial, público e misto. Para efeito de comparação, são postos os consumos de dois anos anteriores à pandemia (2018 e 2019) frente ao ano de início da pandemia (2020).

#### 3.4.1 Consumo residencial

Sazonalmente, existe uma tendência de decréscimo da demanda hídrica nos períodos de maior ocorrência de precipitações (Figura 14). No caso de Fortaleza, os meses de fevereiro a maio marcados pela quadra chuvosa, influenciada pela ZCIT (Zona de Convergência Intertropical), enquanto o segundo semestre do ano é marcado por um quadro mais seco com menores incidências de chuvas (Ceará, 2018).

Tal fenômeno pode ser explicado pela sazonalidade típica do clima cearense, onde em períodos com maior incidência de chuvas, o consumo urbano tende a ser menor em virtude de alguns fatores, a saber: i) a demanda de água para atividade de jardinagem é reduzida; ii) o aproveitamento da água das chuvas pode ser mais utilizado etc.

Figura 14 – Evolução sazonal do consumo residencial (2018-2020)



Fonte: Elaborado pela autora.

Ao analisar o ano de 2020, percebe-se a influência da sazonalidade climática típica até março, mas em abril, salienta-se um crescimento bem expressivo, mês no qual está compreendido o cenário de *lockdown*, onde as atividades não essenciais foram paralisadas e as pessoas permaneceram em confinamento dentro de suas residências.

A partir do período de *lockdown*, o ano inteiro é marcado pelo consumo superior à média apresentada pelos anos de 2018 e 2019. Tais fatores podem ser explicados pelo confinamento e pela maior necessidade de uso da água para a higiene pessoal e limpeza de objetos, com vistas às políticas de enfrentamento à COVID-19.

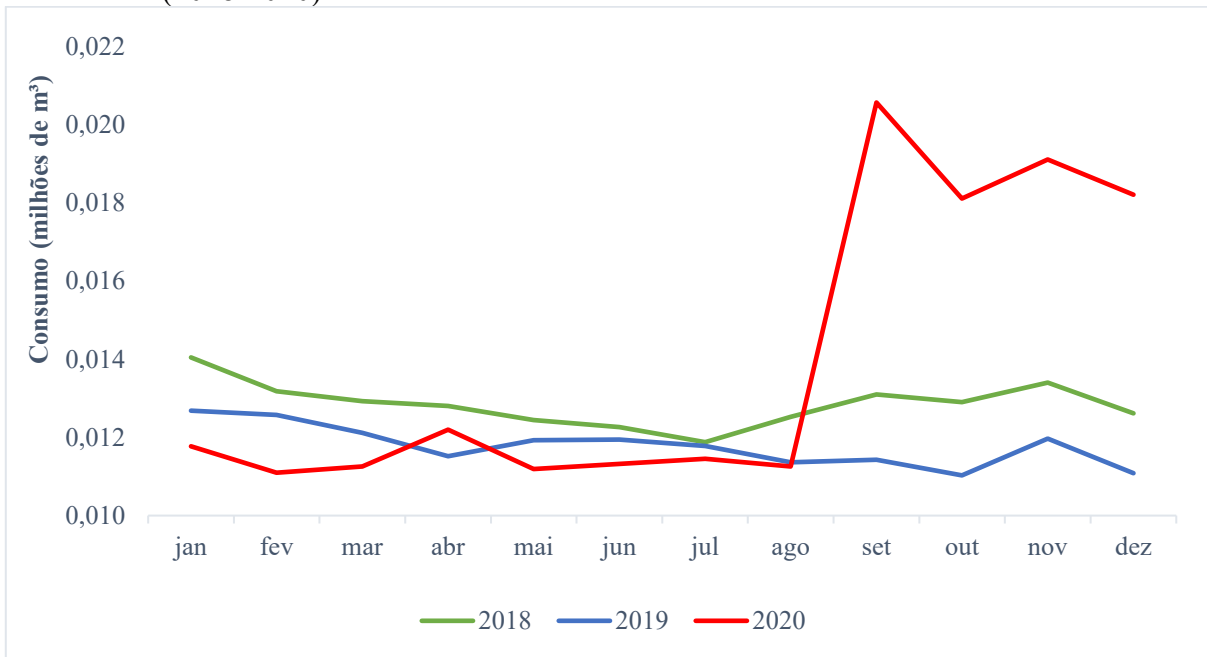
Bera *et al.* (2022) apontaram e quantificaram as razões para o aumento do consumo doméstico, o qual é explicado pela mudança da rotina comportamental, evidenciada pela intensificação na incidência de banhos, lavagens de roupas e a limpeza criteriosa das mãos.

Observa-se que, mesmo após as fases de reabertura, o consumo residencial permanece acima da média, tal fenômeno pode ser explicado pelos seguintes fatores: i) os períodos de reabertura ainda não compreendiam a volta às aulas de diversas instituições de ensino, o que impulsionou a permanência de estudantes em suas residências; ii) ainda não havia a distribuição de vacina para a COVID-19 no Brasil e as políticas de higiene ainda persistiam em expressivo vigor.

### **3.4.2 Consumo residencial de economias baixa-renda**

Para analisar os efeitos da distribuição anual do consumo para inscrições do tipo baixa renda, foram observados, também, o comportamento dos anos 2018 a 2020 (Figura 15). Observa-se que os efeitos das incidências de chuvas não são facilmente observados para esse tipo de consumidor, possivelmente pelo fato de que os usuários desse porte costumam conviver com o básico para a sobrevivência, limitando a amplitude para grandes variações. Além disso, a população que se enquadra nessa faixa costuma residir em áreas onde o abastecimento de água é limitado e intermitente, causando uma grande lacuna entre o que é realmente demandado pelo usuário e o que é de fato consumido pela rede de distribuição. Diante desse cenário, destaca-se que a crise relacionada à pandemia de COVID-19 assume contornos ainda mais sérios nessas localidades, muitas das quais carecem até mesmo de infraestrutura básica de saneamento.

Figura 15 – Evolução sazonal do consumo residencial de inscrições categorizadas como baixa-renda (2018-2020)



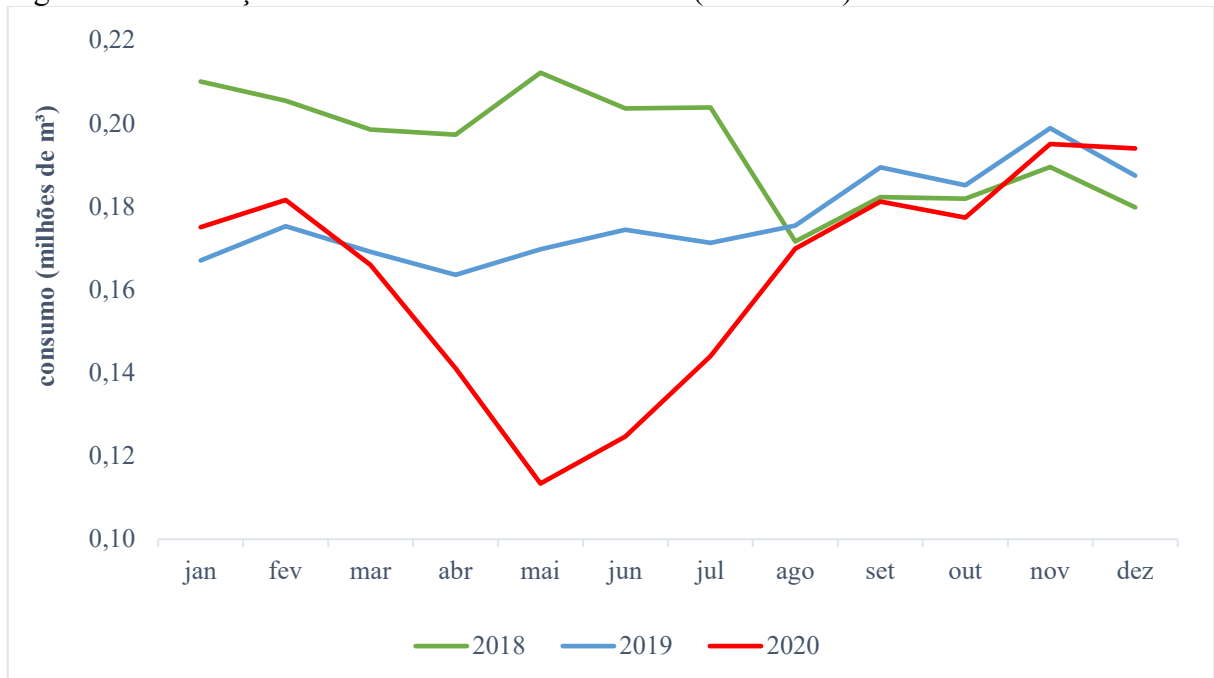
Fonte: Elaborado pela autora.

Observa-se, ainda, um aumento bastante expressivo do consumo no mês de setembro de 2020, que pode ser explicado pelo aumento do número de inscrições que passaram a se enquadrar como baixa renda ou que se cadastraram como tal, de acordo com os dados fornecidos pela CAGECE.

### 3.4.3 Consumo comercial

O consumo comercial possui variações que são influenciadas pela dinâmica do mercado (2018-2019). No ano de 2020, é perceptível que o comércio foi bem sensível às fases da pandemia. Logo no mês de março, onde existe a transição do pré isolamento para o *lockdown*, é possível observar um decréscimo da demanda de água que continua em queda até o mês de maio, onde as medidas de distanciamento são ainda mais intensificadas (Figura 16).

Figura 16 – Evolução sazonal do consumo comercial (2018-2020)



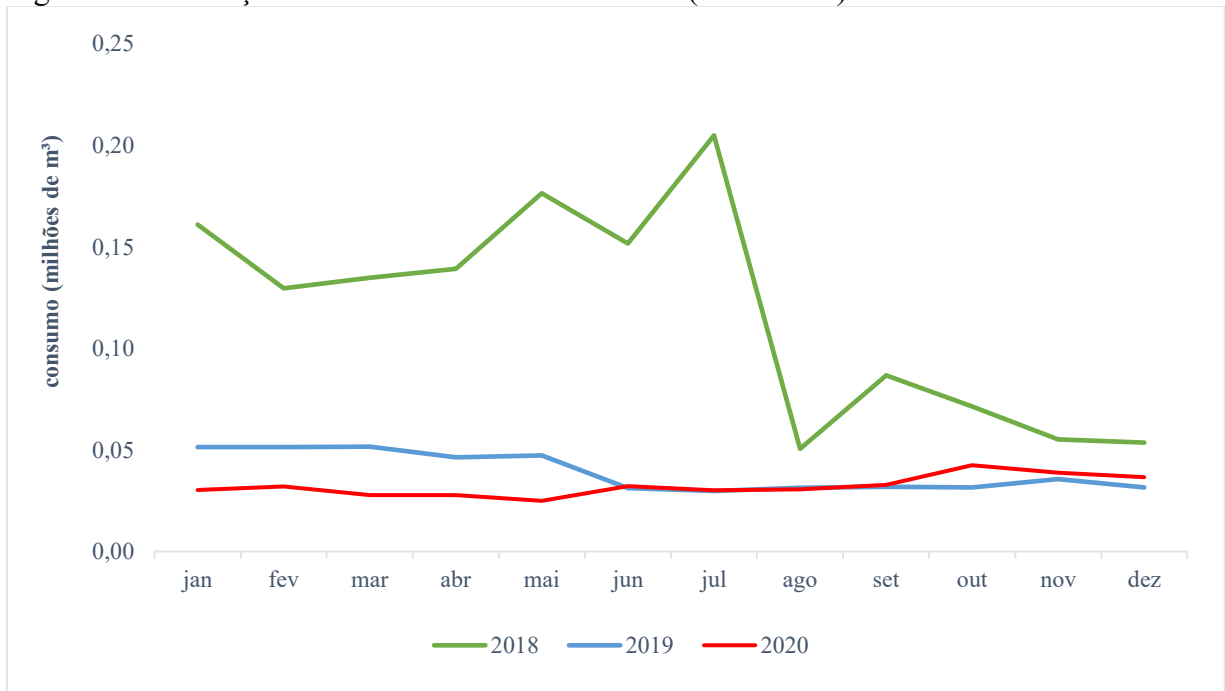
Fonte: Elaborado pela autora.

No mês de junho de 2020, percebe-se o primeiro salto de consumo, coincidindo com o período em que Fortaleza passa pela 1ª e 2ª fase de reabertura, em que são liberadas diversas atividades, mas ainda com restrições de capacidade. Em julho do mesmo ano, o consumo continua em crescimento em função da 3ª e 4ª fase de reabertura e segue em ascensão, em função do relaxamento das medidas de distanciamento social.

#### 3.4.4 Consumo industrial

O consumo industrial tem suas alterações em função do aquecimento das atividades produtivas (Figura 17). Percebe-se que assim como o consumo comercial, o maior consumo industrial foi observado no ano de 2018, o que demonstra que os dois setores estão interligados e apresentam dinâmicas semelhantes.

Figura 17 – Evolução sazonal do consumo industrial (2018-2020)



Fonte: Elaborado pela autora.

Ao ampliar o gráfico para observar o ano de 2020, percebe-se que o setor não foi tão sensível às fases de fechamento e reabertura das atividades, tendo em vista que o setor industrial de Fortaleza tem maior foco na produção de calçados, produtos têxteis, e alimentos (Figura 18). Esse último é caracterizado como bem essencial e não foi paralisado.

Ainda assim, percebe-se seu ponto mínimo em maio de 2020, onde foram intensificadas as medidas de distanciamento, e posterior ascensão, onde foram instituídas as fases de reabertura.

Figura 18 – Evolução sazonal do consumo industrial (2020)



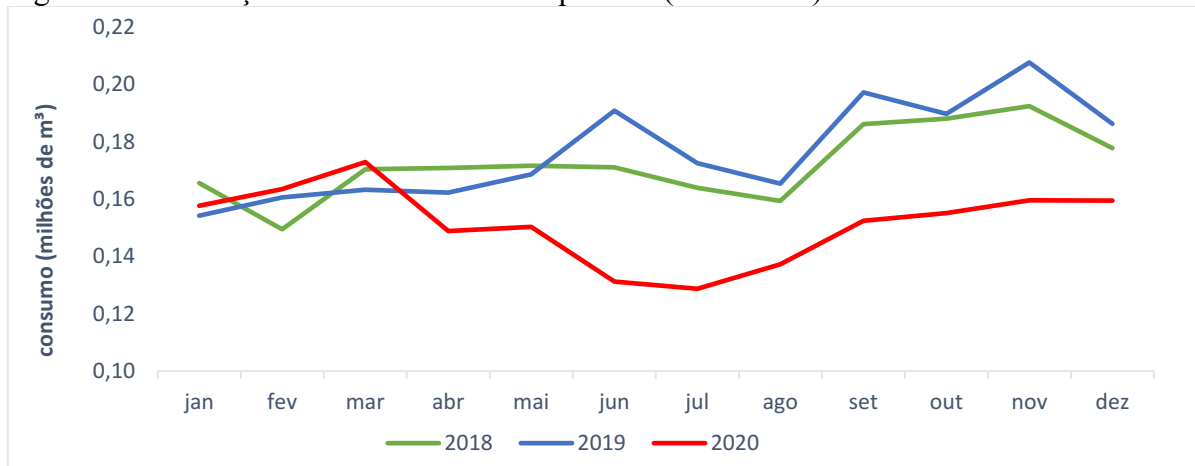
Fonte: Elaborado pela autora.

### 3.4.5 Consumo público

Para a análise dos dados de consumo público em 2020, é importante observar, principalmente, duas vertentes: i) a alta na demanda dos centros de atendimento médico; e ii) o decréscimo na demanda de instituições de ensino, que passaram por um longo período em formato de ensino à distância.

Diante disso, percebe-se que existe uma queda expressiva em abril (*lockdown*), que continua em decréscimo até julho de 2020 (3ª e 4ª fase de reabertura). Posteriormente, a tendência é de crescimento, mas permanece abaixo da média dos anos de 2018 e 2019, notadamente em função, principalmente, das instituições de ensino que permaneceram fechadas (Figura 19).

Figura 19 – Evolução sazonal do consumo público (2018-2020)



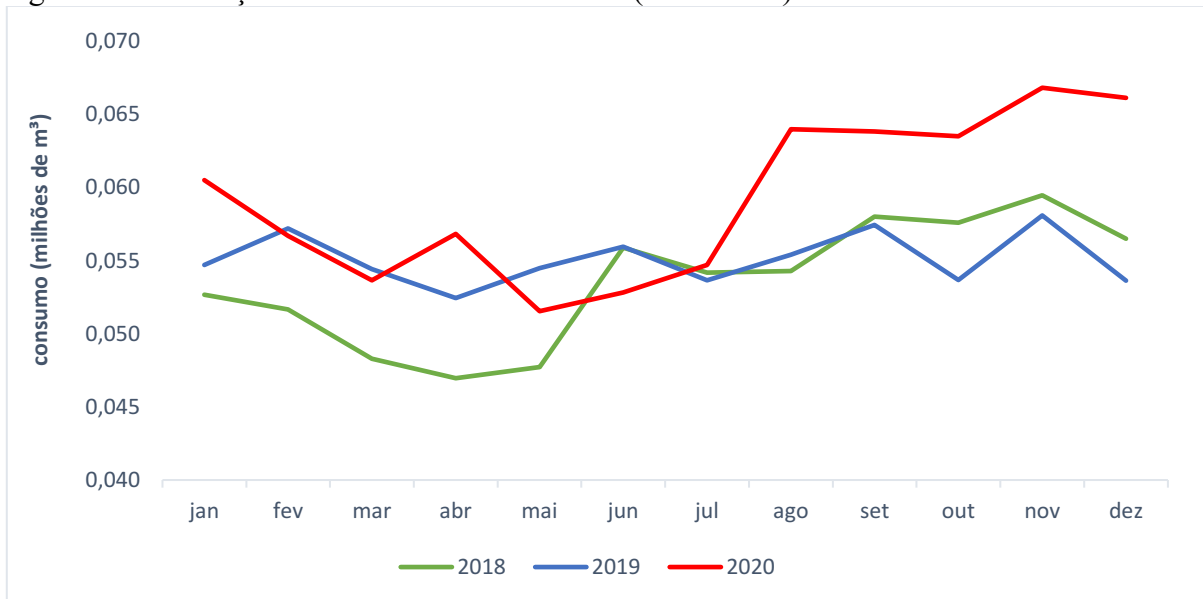
Fonte: Elaborado pela autora.

### 3.4.6 Consumo misto

O consumo misto é referente às inscrições que possuem mais de um tipo de economia, seja residencial, comercial, industrial ou pública. Portanto, a análise dos dados torna-se mais complexa, uma vez que o consumo misto absorve os padrões de todos os tipos de uso da cidade.

Ainda assim, percebe-se que o menor valor do ano de 2020 foi atingido no mês de maio, quando foram intensificadas as políticas de distanciamento social, e logo depois o consumo entra em ascensão, tornando-se o maior consumo dentre os anos observados. Tal fator pode ser explicado pelas mudanças de hábito de todas as unidades quanto às medidas de higiene perante ao enfrentamento do COVID-19, ou seja, as economias passaram a ter maior consumo de água em função, principalmente, da limpeza pessoal criteriosa e da desinfecção de objetos (Figura 20).

Figura 20 – Evolução sazonal do consumo misto (2018-2020)



Fonte: Elaborado pela autora.

### 3.4.7 Consumo total

Para analisar o consumo total, é importante entender a dinâmica de uso da cidade frente aos diferentes tipos de economia. A Tabela 3 apresenta a proporção de consumo requerido para uso residencial, comercial, industrial e misto médio dos anos de 2018 a 2020, enquanto a Tabela 4, enfatiza o ano de 2020, segregando os percentuais por mês.

Tabela 3 - Divisão anual do consumo por tipo de economia (2018-2020)

Ano	Residencial	Comercial	Industrial	Pública	Misto
2018	90,28%	3,51%	2,13%	3,11%	0,97%
2019	85,42%	3,00%	0,66%	2,99%	0,93%
2020	93,12%	2,77%	0,55%	2,57%	1,00%

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 4 - Divisão mensal do consumo por tipo de economia (2020)

Mês	Residencial	Comercial	Industrial	Pública	Misto
Jan.	92,73%	3,01%	0,52%	2,71%	1,04%
Fev.	92,39%	3,18%	0,56%	2,87%	0,99%
Mar.	92,19%	3,08%	0,52%	3,21%	1,00%
Abr.	93,67%	2,38%	0,47%	2,51%	0,96%
Mai.	94,02%	1,99%	0,44%	2,64%	0,91%
Jun.	94,09%	2,16%	0,56%	2,28%	0,92%
Jul.	94,11%	2,37%	0,50%	2,12%	0,90%
Ago.	93,20%	2,88%	0,52%	2,32%	1,08%
Set.	93,02%	2,94%	0,53%	2,47%	1,04%

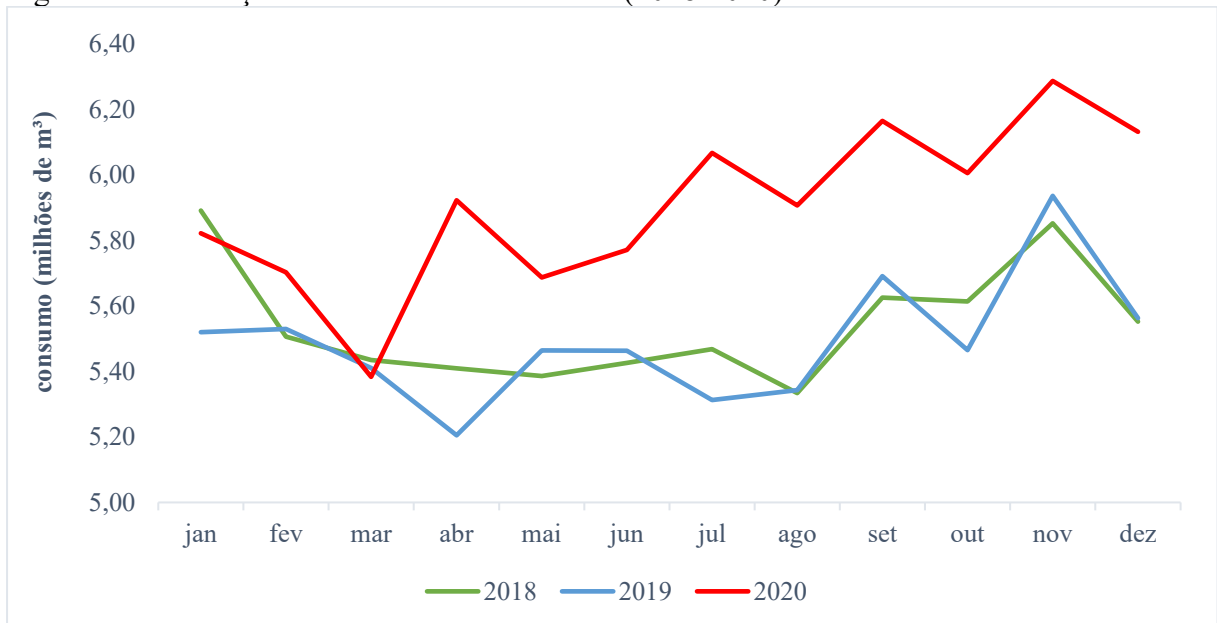


Mês	Residencial	Comercial	Industrial	Pública	Misto
Out.	92,70%	2,95%	0,71%	2,58%	1,06%
Nov.	92,68%	3,10%	0,62%	2,54%	1,06%
Dez.	92,56%	3,16%	0,60%	2,60%	1,08%
<b>2020</b>	<b>93,12%</b>	<b>2,77%</b>	<b>0,55%</b>	<b>2,57%</b>	<b>1,00%</b>

Fonte: Elaborado pela autora.

Percebe-se que o consumo de Fortaleza é majoritariamente residencial e, portanto, é fortemente influenciado pela dinâmica desse tipo de consumidor, conforme apresentado pela Figura 21.

Figura 21 – Evolução sazonal do consumo total (2018-2020)



Fonte: Elaborado pela autora.

A partir dos dados, observa-se que o comportamento do consumo total segue a mesma tendência do consumo residencial descrita no tópico 4.1. Em suma, salienta-se uma ascensão da demanda hídrica em abril de 2020, seguida de picos consecutivos até o final do ano, marcados por um consumo sempre superior aos demais anos (2018 e 2019), notadamente em função dos novos protocolos de higiene impostos pela pandemia de COVID-19.

### 3.5 Conclusão

O presente estudo desenvolveu uma análise temporal dos efeitos da pandemia de COVID-19 no consumo urbano, particularizando os impactos no âmbito residencial, comercial,

industrial, público e misto para a cidade de Fortaleza (CE). Os resultados ressaltaram a susceptibilidade do sistema de abastecimento de água frente às mudanças de hábitos da população.

Observou-se que as fases da pandemia provocaram efeitos diferentes em cada tipo de consumidor, o que foi facilmente evidenciado por simples análises estatísticas. Em síntese, observa-se que, durante a pandemia, o sistema passou por uma dinâmica totalmente diferente do que se costuma observar, demonstrando a urgência pela intensificação de medidas de segurança hídrica que possam suprir as necessidades de consumo em casos de emergência e contingência.

De acordo com Kazak *et al.* (2021), o conhecimento sobre os padrões de demanda de água em casos de confinamento auxilia as autoridades locais em um processo de gestão de recursos hídricos mais eficaz.

Por fim, para trabalhos futuros, recomenda-se a inserção da análise de influência de outras variáveis explicativas que interferem na demanda hídrica de Fortaleza, como a tarifa de contingência, evidenciada pelos estudos de Carvalho e Souza Filho (2021) e algumas variáveis socioeconômicas, como a renda per capita, conforme descrito por Carvalho *et al.* (2021) e Lopes *et. al* (2022).

#### 4 CONCLUSÃO GERAL

A presente dissertação detalhou alguns dos principais desafios que permeiam a gestão do consumo de água no Brasil, sob a ótica intermunicipal e intramunicipal do país. No primeiro enfoque, a análise da dinâmica espacial do consumo de água revelou disparidades socioeconômicas regionais que constituem obstáculos significativos para a universalização do acesso equitativo de água. Com um índice de atendimento de água de apenas 84,9%, o Brasil se depara com a complexidade de gerenciar os recursos hídricos em uma escala continental, onde desigualdades socioeconômicas históricas se entrelaçam.

A análise espacial do consumo per capita de água, conforme evidenciada pelo Índice de Moran Global, confirma a existência de padrões distintos tanto em nível nacional quanto em Fortaleza. Os resultados revelam um índice de correlação de 0,604 para os municípios brasileiros, e de 0,513 para os setores censitários da cidade de Fortaleza, destacando a persistência de padrões de distribuição espacial.

Os modelos bivariados de Moran confirmam a relação direta entre o consumo per capita de água e a renda per capita, não só para Fortaleza, mas para o Brasil como um todo. Adicionalmente, o modelo LISA, evidencia disparidades regionais, historicamente fundamentadas em fatores como i) a concentração da industrialização no Centro-Sul, ii) secas prolongadas no Nordeste, iii) concentração fundiária e, iv) desigualdades na arrecadação fiscal que perpetuaram disparidades na distribuição de recursos. Os resultados evidenciam agrupamentos de municípios com consumo hídrico expressivamente maiores no Centro-Sul do país, em contraste com o Norte-Nordeste, onde são evidenciados agrupamentos de baixo consumo. Fortaleza, assim como o Brasil, apresentou disparidades hídricas marcadas pelo ordenamento urbano da cidade e pelas desigualdades sociais, sob as quais destacam o alto consumo da área leste da cidade, em contraste com os baixos consumo de zonas periféricas.

Ressalta-se a importância de investigar, em trabalhos futuros, a descontinuidade do abastecimento nas zonas periféricas, a fim de esclarecer em que medida o baixo consumo se deve à demanda reduzida ou à oferta limitada.

No segundo enfoque, a dissertação explorou a influência da pandemia de COVID-19 no consumo urbano de água, destacando a susceptibilidade do sistema de abastecimento de Fortaleza a mudanças abruptas de hábitos da população, bem como os decretos estipulados pelo governo. Os resultados apontam para mudanças de consumo dependentes de cada tipo de consumidor e variando diante de cada fase da pandemia.

Dentre as inferências, destacam-se: i) o aumento expressivo do consumo residencial durante o *lockdown*, que se estendeu mesmo com as fases de reabertura; ii) aumento de economias que passaram a se enquadrar como baixa-renda, em decorrência da crise econômica global; iii) alta sensibilidade do consumo de água comercial frente às fases da pandemia; iv) comportamento pouco sensível do consumo industrial aos períodos de fechamento e reabertura; v) queda expressiva no consumo público, especialmente em função da suspensão das atividades presenciais nas instituições de ensino; vi) aumento significativo no consumo misto, refletindo mudanças nos hábitos de higiene.

Em suma, essa dissertação oferece *insights* cruciais para a tomada de decisões e o desenvolvimento de políticas públicas. As conclusões dos estudos apontam para complexidades distintas, mas complementares, que exigem uma abordagem integrada para a gestão eficaz dos recursos hídricos. A implementação de estratégias espaciais e georreferenciadas, como destacado no primeiro artigo, deve ser complementada por medidas de contingência e adaptação, como evidenciado pelo segundo artigo. A compreensão das dinâmicas de consumo visa não apenas enfrentar os desafios atuais, mas também moldar um futuro mais equitativo e sustentável no cenário hídrico brasileiro.

Recomenda-se, para trabalhos futuros, a análise espacial dos dados de consumo a partir dos próximos dados do IBGE, bem como a análise do comportamento posterior à pandemia de COVID-19.

## REFERÊNCIAS

- ALEMAYEHU, F. et al. The impacts of watershed management on land use and land cover dynamics in Eastern Tigray (Ethiopia). **Resources, Conservation and Recycling**, v. 53, n. 4, 2009.
- ALMEIDA, C. M. et al. Using neural networks and cellular automata for modelling intra-urban land-use dynamics. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 22, n. 9, 2008.
- ALMEIDA, E. S. *Econometria Espacial Aplicada*. Editora Alínea, n. 1988, 2012.
- ALPHONSO, S. R. et al. Geospatially clustered low COVID-19 vaccine rates among adolescents in socially vulnerable US counties. **Preventive Medicine Reports**, v. 37, 1 jan. 2024.
- ANSELIN, L. **Exploring Spatial Data with GeoDa TM: A Workbook Center for Spatially Integrated Social Science**. Spatial Analysis Laboratory. Department of Geography. University of Illinois, Urbana-Champaign. Urbana, IL 61801, 2005. Disponível em: <<http://sal.agecon.uiuc.edu/http://www.csiss.org/>>.
- ANSELIN, L. Local Indicators of Spatial Association—LISA. **Geographical Analysis**, v. 27, n. 2, 1995.
- BARRETO, Ricardo Candéa Sá. **Regional development and convergence of income in the cities of the State of the Ceará**. 2007. 211 f. Tese (Doutorado em Economia e Gerenciamento do Agronegócio; Economia das Relações Internacionais; Economia dos Recursos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.
- BERA, A. et al. Assessment of household water consumption during COVID-19 pandemic: a cross-sectional web-based study in India. **Sustainable Water Resources Management**, v. 8, n. 3, 2022.
- BRASIL. **Lei Federal n. 14.026, de 15 de julho de 2020**. **Diário Oficial da União**, 2020.
- BRASIL. **Painel de casos de doença pelo coronavírus 2019 (COVID 19) no Brasil pelo Ministério da Saúde**. Ministério da Saúde, 2020. Disponível em <[https://infoms.saude.gov.br/extensions/covid-19\\_html/covid-19\\_html.html](https://infoms.saude.gov.br/extensions/covid-19_html/covid-19_html.html)>
- Cano, W. **Concentração econômica e metropolização** In: CANO, W. (Org.). *Ensaio sobre a crise urbana do Brasil*. Campinas: Editora da Unicamp, p. 209-248, 2011.
- CAPASSO, A. et al. Employment conditions as barriers to the adoption of COVID-19 mitigation measures: how the COVID-19 pandemic may be deepening health disparities among low-income earners and essential workers in the United States. **BMC Public Health**, v. 22, n. 1, 2022.
- CARVALHO, T. M. N. **Machine learning for water resources management**. 2023. 267 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil - Recursos Hídricos) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023

CARVALHO, T. M. N. **Water demand modeling using machine learning techniques**. 2019. 58 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Recursos Hídricos, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

CARVALHO, T. M. N.; DE SOUZA FILHO, F. DE A. A data-driven model to evaluate the medium-term effect of contingent pricing policies on residential water demand. **Environmental Challenges**, v. 3, 2021.

CARVALHO, T. M. N.; DE SOUZA FILHO, F. DE A.; PORTO, V. C. Urban Water Demand Modeling Using Machine Learning Techniques: Case Study of Fortaleza, Brazil. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 147, n. 1, 2021.

CAVALCANTI, A.; TEIXEIRA, A.; PONTES, K. Evaluation of the efficiency of basic sanitation integrated management in brazilian municipalities. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 24, p. 1–29, 2 dez. 2020.

CEARÁ. **Decretos do Governo do Ceará com ações contra o coronavírus**. Fortaleza: Governo do Estado do Ceará, 2022. Disponível em <<https://www.ceara.gov.br/decretos-do-governo-do-ceara-com-acoes-contra-o-coronavirus/>>.

CEARÁ. **Estudo Setorial Especial Recursos Hídricos: Ceará 2050**. Governo do Estado do Ceará. 2018. Disponível em: <<http://www.ceara2050.ce.gov.br/api/wp-content/uploads/2018/10/ceara-2050-estudo-setorial-especial-recursos-hidricos.pdf>>. Acesso em: 17 jan. 2021.

CHEN, H. et al. Compound events of wet and dry extremes: Identification, variations, and risky patterns. **Science of the Total Environment**, v. 905, 20 dez. 2023.

CHEONG, Y. L. et al. Assessing the Spatiotemporal Spread Pattern of the COVID-19 Pandemic in Malaysia. **Frontiers in Public Health**, v. 10, 2022.

DANTAS, E. W. C., *et al.* **Turismo e Imobiliário Nas Metrôpoles. Programa de desenvolvimento do turismo no Nordeste Brasileiro (1995–2005): PRODETUR—NE**, o divisor de águas. In, 1ª ed.; Eds.; Letra Capital: Rio de Janeiro, Brasil, 2010.

DI, D., et. al. 2022. Spatial Pattern Analysis on the Functions of Water Resources Economic–Social–Ecological Complex System. **Journal of Cleaner Production**, p. 336. doi: 10.1016/j.jclepro.2021.130323.

Fielding, K.S. et al. An experimental test of voluntary strategies to promote urban water demand management. **Journal of Environmental Management**, v. 114, p. 343–351, 2013

FREITAS, F. L. da S. **Fragmentação e expansão urbana: espaços do medo na região metropolitana de Fortaleza-Ceará**. 2019. 237 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

FREITAS, F. L. DA S.; COSTA, M. C. L. URBAN INSECURITY, FRAGMENTATION AND FORTIFIED ENCLAVES IN THE FORTALEZA METROPOLITAN REGION. **Mercator**, v. 21, n. 2, p. 1–12, 15 dez. 2022.

GIOVANINI, A.; PEREIRA, W. M.; ALMEIDA, H. J. F. Productive diversity and economic growth: some evidence for Brazilian municipalities. **Nova Economia**, v. 32, n. 3, 2022.

GRESPLAN, A. et al. Assessment of water consumption in households using statistical analysis and regression trees. **Sustainable Cities and Society**, v. 87, 1 dez. 2022.

HAN, Y. et al. Unveiling spatial inequalities: Exploring county-level disaster damages and social vulnerability on public disaster assistance in contiguous US. **Journal of Environmental Management**, v. 351, 1 fev. 2024.

HUTTON, G.; VARUGHESE, M. **the Costs of meeting the 2030 Sustainable Development Goal targets on Drinking Water, Sanitation, and Hygiene Summary report**. Water and Sanitation Program: Technical Paper, 2016. Disponível em: <[www.worldbank.org/water](http://www.worldbank.org/water)>.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Cidades e Estados**. 2022. Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ce/fortaleza.html>>. Acesso em: 4 nov. 2023.  
IBRAHIM, A. S.; MEMON, F. A.; BUTLER, D. Seasonal variation of rainy and dry season per capita water consumption in Freetown city sierra Leone. **Water (Switzerland)**, v. 13, n. 4, 2021.

IPLANFOR (Instituto de Planejamento de Fortaleza). **Fortaleza 2040**. Fortaleza, Brazil: Prefeitura Municipal de Fortaleza, 2015.

KAZAK, J. K. et al. Changes in water demand patterns in a european city due to restrictions caused by the covid-19 pandemic. **Desalination and Water Treatment**, v. 222, 2021.

KUNDU, D.; PANDEY, A. K. World Urbanisation: Trends and Patterns. Em: **Developing National Urban Policies: Ways Forward to Green and Smart Cities**. [s.l: s.n.].

LIU, Q. et al. Spatial clustering and source-specific risk of combined pollutants in soils from an industrial area in Shanxi Province, China. **Environmental Pollution**, v. 299, 15 abr. 2022.

LONGLEY, P.A., GOODCHILD, M.F., MAGUIRE, D.J., RHIND, D.W. 2011. Geographic Information Systems and Science. **John Wiley & Sons**, West Sussex, England. 540 p.

LOPES, T. M. X. de M, et al. 2022. Analysis of the Influence of Socioeconomic Variables on Urban Water Demand. Paper presented at **Online Youth Water Congress**, Atenas, Greece, 2022.

MACHADO, E. G. **Desigualdades E segregações Socioespaciais Em Fortaleza, Brasil: Uma análise a Partir Da Praia Do Futuro**. O Público E O Privado. Fortaleza, p. 179-207, 2019.

MARCONATO, M. et al. Taxa de pobreza e população rural no Brasil: análise espacial dos períodos 2000 e 2010. **Economia e Desenvolvimento**, v. 27(1), p. 183-201, 2013.

MATHUR, M. **Spatial autocorrelation analysis in plant population: An overview** **Journal of Applied and Natural Science**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <[www.ansfoundation.org](http://www.ansfoundation.org)>.

MCDONALD, R. I. et al. Water on an urban planet: Urbanization and the reach of urban water infrastructure. **Global Environmental Change**, v. 27, n. 1, 2014.

MEDEIROS, C. N.; CARVALHO, J. R.; OLIVEIRA, V. H.. Violência, desenvolvimento e demografia: uma análise espacial para a cidade de Fortaleza em anos recentes. *In*: BARRETO, F. A. F. D *et al.* (org.). **Economia do Ceará em debate 2015**. Fortaleza: IPECE,

2015. p. 8-41. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/319314947\\_Violencia\\_desenvolvimento\\_e\\_demografia\\_uma\\_analise\\_espacial\\_para\\_a\\_cidade\\_de\\_Fortaleza\\_em\\_anos\\_recents](https://www.researchgate.net/publication/319314947_Violencia_desenvolvimento_e_demografia_uma_analise_espacial_para_a_cidade_de_Fortaleza_em_anos_recents). Acesso em: 3 maio 2021.

MEDINA-RIVAS, C. M. et al. Spatial inequality of domestic water consumption in Mexico city. **Water Resources and Economics**, v. 40, 2022.

MOUSI, P.; BHUVANESWARI, V. **Urban Water Consumption and its Influencing Factor Identification using Water Decision Support System**. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. **Anais...IOP Publishing Ltd**, 26 ago. 2021.

MSIGWA, A. et al. Representation of seasonal land use dynamics in SWAT+ for improved assessment of blue and green water consumption. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 26, n. 16, 2022.

OLIVEIRA, L. M. et al. Forecasting urban water demand using cellular automata. **Water (Switzerland)**, v. 12, n. 7, 2020.

ONU (Organização das Nações Unidas). **A UN framework for the immediate socio-economic response to COVID-19**. Nova Iorque: United Nations, p. 51 p, 2020 Disponível em: <https://unsdg.un.org/sites/default/files/2020-04/UNframework-for-the-immediate-socio-economic-response-to-COVID-19.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2023.

ORTEGA, B.; SANJUÁN, J.; CASQUERO, A. Determinants of efficiency in reducing child mortality in developing countries. The role of inequality and government effectiveness. **Health Care Management Science**, v. 20, n. 4, p. 500–516, 1 dez. 2017.

POCHMANN, M.; SILVA, L. C. Concentração Espacial Da Produção e Desigualdades Sociais. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**. doi: 10.22296/2317-1529.rbeur.202004, 2020.

SAHRAWAT, K. L. et al. **Managing natural resources of watersheds in the semi-arid tropics for improved soil and water quality: A review**. **Agricultural Water Management**, 2010.

SANCHEZ, G. M. et al. Spatial Patterns of Development Drive Water Use. **Water Resources Research**, v. 54, n. 3, p. 1633–1649, 1 mar. 2018.

SAURI, D. The decline of water consumption in Spanish cities: structural and contingent factors. **International Journal of Water Resources Development**, v. 36, n. 6, 2020.

SAVELLI, E. et al. **Drought and society: Scientific progress, blind spots, and future prospects**. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change**, 2022.

SAVELLI, E. et al. Urban water crises driven by elites' unsustainable consumption. **Nature Sustainability**, v. 6, n. 8, 2023.

SHI, L. et al. **A Review of Applying Spatial Modelling and GIS in Residential Water Use**. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. **Anais...2018**.

SIABATO, W.; GUZMÁN-MANRIQUE, J. **La autocorrelación espacial y el desarrollo de la geografía cuantitativa**. **Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de**



**Geografia** Universidad Nacional de Colombia, 2019.

SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento). **SNIS: Série Histórica. Ministério das Cidades**. Disponível em <<http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/>> Acesso em: 7 jan. 2024.

TOBLER, W. R. A computer movie simulating urban growth in the detroit region. **Economic Geography**, v. 46, pp. 234-240, 1970.

TSUTSUI, H. K. e EMPINOTTI, V. L. O Papel Da Água Na Atuação e Reflexão Do Planejamento Regional Brasileiro: Uma Perspectiva Histórica The Role of Water in the Performance and Reflection of Brazilian Regional Planning: A Historical Perspective. **Revista Política e Planejamento Regional**, v. 8, n. 1, pp. 21–39, 2021.

TURNER, A. et al. **Guide to Demand Management and Integrated Resource Planning**. National Water Commission and the Water Services Association of Australia. Institute for Sustainable Futures, University of Technology Sydney, 2008.

UNESCO. **Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019**. No dejar a nadie atrás. IN Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 2019.

UNESCO. **Nature-based solutions for water**: Development Report. [S. l.], 2018.

VOSKAMP, I. M. et al. Spatial, infrastructural and consumer characteristics underlying spatial variability in residential energy and water consumption in Amsterdam. **Sustainable Cities and Society**, v. 72, 2021.

WANG, D. et al. Water resource utilization characteristics and driving factors in the Hainan Island. **Journal of Groundwater Science and Engineering**, v. 11, n. 2, p. 191–206, 2023.

XIANG, Y. et al. Heat risk assessment and response to green infrastructure based on local climate zones. **Building and Environment**, v. 248, 15 jan. 2024.