



Revista Brasileira de Gestão Urbana

scielo.br/urbe

Consumo de água e crescimento urbano: análises espaciais e relações possíveis

Water consumption and urban growth: spatial analysis and possible relationships

Camila Karla Medeiros^[a]

Campina Grande, PB, Brasil

^[a] Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Iana Alexandra Alves Rufino^[b]

Campina Grande, PB, Brasil

^[b] Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Ricardo de Aragão^[c]

Campina Grande, PB, Brasil

^[c] Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Como citar: Medeiros, C. K., Rufino, I. A. A., & Aragão, R. (2024). Consumo de água e crescimento urbano: análises espaciais e relações possíveis. *urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v.16, e20230039.

<https://doi.org/10.1590/2175-3369.016.e20230039>

Resumo

A gestão das águas é um desafio para o planejamento urbano, especialmente no semiárido brasileiro. Este estudo tem como objetivo investigar as relações entre o consumo de água e a dinâmica espacial e temporal do ambiente edificado em pequenos municípios do estado da Paraíba. A análise parte de uma observação das tendências de consumo de água e sua relação inevitável com o crescimento urbano, de forma a possibilitar uma cenarização futura de demanda hídrica e expansão das cidades. Para tanto, são utilizados séries históricas,

CKM é doutoranda em Engenharia Civil e Ambiental, mestre em Engenharia Civil e Ambiental, e-mail: camila.karla@estudante.ufcg.edu.br

IAAR é professora associada, doutora em Recursos Naturais, e-mail: iana.alexandra@ufcg.edu.br

RA é professor, doutor em Engenharia, e-mail: ricardo.aragao@professor.ufcg.edu.br

sensoriamento remoto e dados de ciência cidadã para análises de tendências. Métodos estatísticos paramétricos e não paramétricos além do Landscape Expansion Index (LEI) para as análises dos padrões e um modelo estatístico para subsidiar cenários futuros, também são utilizados. Os resultados revelam peculiaridades intramunicipais, bem como limitações dos indicadores escolhidos. Ademais, os resultados permitem observar que, na última grande crise hídrica da região, a busca por soluções emergenciais e pontuais de abastecimento dificulta o estabelecimento de relações diretas entre a área urbanizada e o volume consumido, tendo em vista que os volumes reportados nas bases de dados oficiais não retratam a realidade capturada pelos dados de ciência cidadã, em algumas das cidades.

Palavras-chave: Ciência cidadã. Landscape expansion index. Municípios de pequeno porte. Expansão urbana. Demanda hídrica.

Abstract

Water management is a challenge for urban planning, especially in the Brazilian semi-arid region. This study aims to investigate the relationship between water consumption and the spatial and temporal dynamics of the built environment in small municipalities in the state of Paraíba. The analysis is based on observing water consumption trends and urban growth to enable future scenarios of water demand and city expansion. Historical series, remote sensing and citizen science data are used to analyse trends; parametric and non-parametric statistical methods are also used, besides the Landscape Expansion Index (LEI), for pattern analysis and a statistical model to support future scenarios. The results reveal cities' peculiarities and limitations of the chosen indicators. In addition, the results show that in the last major water crisis in the region, the search for emergency and one-off supply solutions made it difficult to establish direct relationships between the urbanised area and the water volume consumption, given that the volumes reported in official databases do not portray the reality captured by citizen science data in some of the cities.

Keywords: Citizen science. Landscape expansion index. Small towns. Urban expansion. Water demand.

Introdução

A urbanização envolve tanto o movimento de pessoas quanto as expansões das fronteiras urbanas e a criação de novos centros urbanos (Brito et al., 2018; IOM, 2015). Esse processo, geralmente não planejado e exponencial, acarreta prejuízos ambientais, sociais, financeiros e culturais (Dias & Laschefski, 2019; Li et al., 2020; Santos et al., 2017).

O crescimento urbano, as mudanças climáticas e a ineficiência da gestão dos recursos hídricos são frequentemente associadas à insegurança hídrica nas cidades (Osumanu & Ayamdo, 2022; Heidari et al., 2021; Ghosh et al., 2019; Paiva et al., 2020; Yomo et al., 2019). Dessa maneira, a análise do desenvolvimento social e crescimento das cidades, que aumentam a pressão por serviços de abastecimento hídrico, pode dar suporte à tomada de decisão nesses cenários incertos (Huang et al., 2020; Li et al., 2020; Chen et al., 2016).

Chen et al. (2018) enfatizam a necessidade urgente de quantificar os padrões de urbanização e ilustrar suas forças motrizes na área regional por um período mais longo, possibilitando uma melhor análise do desenvolvimento urbano. Entretanto, a maioria dos estudos foca em metrópoles ou cidades desenvolvidas (Dadashpoor et al., 2019; Kuang et al., 2014; Terfa et al., 2019), negligenciando as cidades pequenas ou interioranas.

Diante do Novo Marco Legal do Saneamento Básico (Lei 14.026, Brasil, 2020), foram elaborados Planos Municipais de Saneamento Básico em 49 municípios de pequeno porte na Paraíba (2021), em um convênio entre a Fundação Nacional de Saúde e a Universidade Federal de Campina Grande (Funasa/UFCG). Nesse contexto, este estudo tem como objetivo investigar a existência de relações espaço-

temporais entre o consumo de água e os ambientes edificados nas áreas urbanas de alguns desses municípios, como também verificar a tendência de abastecimento hídrico e as formas de expansão urbana, identificando as possíveis forças influenciadoras do desenvolvimento urbano dos mesmos para assim subsidiar cenários futuros para fins de planejamento.

Expansão urbana: métricas de avaliação

Uma das formas de analisar e monitorar ambientes modificados e as ações de expansão urbana é através do sensoriamento remoto (Gomes & Cubas, 2021; Silva & Faria, 2019). No Brasil, o Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil (MapBiomas) foi desenvolvido para analisar as transformações significativas na cobertura do solo induzidas pelo homem no movimento de expansão das cidades no país (Brasil, 2023b). A estratégia de mapeamento da plataforma compreende o uso dos mais avançados métodos de processamento, tecnologia e big data disponíveis que são fornecidos pela plataforma *Google Earth Engine* (GEE) (Rosa et al., 2019; Souza et al., 2020).

Segundo Liu et al. (2010) e adaptado por Omurakunova et al. (2020), outra maneira de analisar os processos de expansão urbana é através do *Landscape Expansion Index* (LEI), índice que identifica as mudanças nos padrões das paisagens nos centros urbanos (Equação 1) e considera o comprimento do limite comum (Lc) entre a nova área e a área previamente existente, classificando três tipos de crescimento (Figura 1): (a) preenchimento (PR) ocorre dentro de centros urbanizados e são desenvolvidos quando os pixels são convertidos em área urbana e o valor de LEI > 0,5; (b) expansão de borda (EB) refere-se à área urbana recém-desenvolvida que espalhou-se nas margens das manchas urbanas existentes quando LEI < 0,5; e (c) expansão periférica (EP) refere-se à mudança de não urbano para urbano que ocorre longe de áreas urbanas formadas quando LEI = 0 (Woldesemayat & Genovese, 2021; Omurakunova et al., 2020; Jiao et al., 2015).

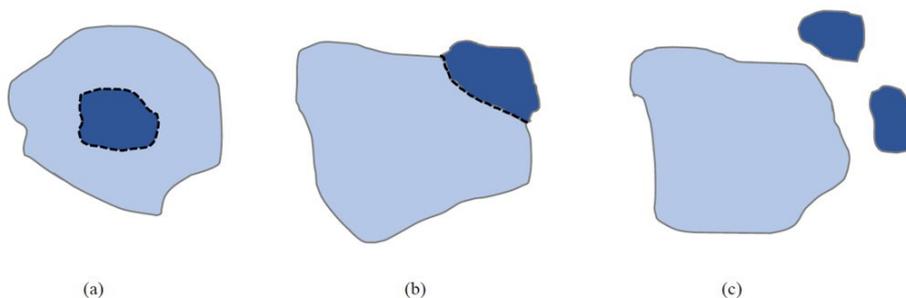


Figura 1 - Tipos de crescimento urbano: (a) preenchimento (PR); (b) expansão de borda (EB); (c) expansão periférica (EP).
Fonte: Adaptado de Omurakunova et al. (2020).

$$LEI = \frac{Lc}{P} \quad (1)$$

onde Lc é o comprimento do limite comum e P é o perímetro da área urbana recém desenvolvida.

Abastecimento d'água em pequenos municípios do semiárido brasileiro

A região semiárida do Brasil é a área mais vulnerável às secas no país devido, principalmente, à variabilidade climática natural e ao aumento da demanda per capita por água, mudanças no uso e cober-

tura do solo e problemas de gestão hídrica (Coelho et al., 2018). O semiárido apresenta alta densidade populacional, o que, aliado às secas prolongadas, pode causar uma procura por fontes alternativas de subsistência, implicando em alterações na forma de apropriação e uso do solo (Rufino & Silva, 2017).

O SNIS é o sistema oficial de informações do setor de saneamento brasileiro que disponibiliza informações à sociedade, sendo essas fornecidas pelos municípios e pelas prestadoras dos serviços de saneamento (Brasil, 2022, 2023a). Ocorre que, diante da alta intermitência dos serviços de abastecimento nesta região (Cordão et al., 2020; Rufino et al., 2021), o abastecimento humano pode ser viabilizado de forma difusa e muitas vezes oculta aos sistemas oficiais de informação.

Nesse sentido, dados coletados diretamente com a população (ciência cidadã) envolvida podem descrever, de forma mais realista, o comportamento do abastecimento hídrico ao longo dos anos. A ciência cidadã refere-se ao engajamento da sociedade em geral nas pesquisas atuando de forma efetiva em coletas ou análises de dados relacionados às investigações aplicadas a temas de interesse público (Martins & Cabral, 2021; Parra, 2015). Neste trabalho, foram usados os diagnósticos técnico-participativos dos Planos Municipais de Saneamento Básico da Paraíba (2021), os quais, pelo seu caráter participativo, contaram com dados de ciência cidadã.

Relações e cenarizações possíveis

O teste de Shapiro-Wilk foi utilizado para testar a normalidade dos dados avaliando se a distribuição da variável é semelhante a uma distribuição normal ou gaussiana (Anunciação et al., 2021; Mendes, 2021; Miot, 2017). Foram realizados também testes de correlação entre as variáveis quantitativas de volume consumido (VC) e área urbanizada (AU) utilizando o coeficiente de Pearson (paramétrico) e de Spearman (não paramétrico). O primeiro é aplicado às variáveis normalmente distribuídas e lineares e o segundo é preferido em casos de variáveis assimétricas ou ordinais (Levin et al., 2012).

Para a predição de cenários, uma técnica estatística eficaz é a suavização exponencial tripla (ETS), também conhecida como modelo de Holt-Winters. Essa ferramenta é adequada para dados históricos com tendências e sazonalidades (Wofuru-Nyenke & Briggs, 2022). Existem duas tipologias: o método aditivo, quando as variações sazonais são independentes do nível da série, e o método multiplicativo, aconselhável quando as variações sazonais se alteram proporcional ao nível da série (Costa, 2019).

O ajuste exponencial parte de uma equação de médias móveis, ponderadas exponencialmente, buscando realizar ajustes nas variações aleatórias dos dados de uma série temporal e, assim, estimar valores futuros com base nos dados históricos (Ragsdale, 2017). O modelo de Holt-Winters é definido por três parâmetros: demanda de nível (α), tendência (β) e sazonalidade (γ). (Alves et al., 2019).

Metodologia

A metodologia inclui uma caracterização e modelagem das tendências de consumo de água e da expansão urbana para que, uma vez identificadas as tendências, as forças que impulsionaram o crescimento urbano possam ser também identificadas e, por fim, cenários futuros de crescimento possam ser subsidiados. A Figura 2 é uma síntese gráfica da metodologia utilizada.

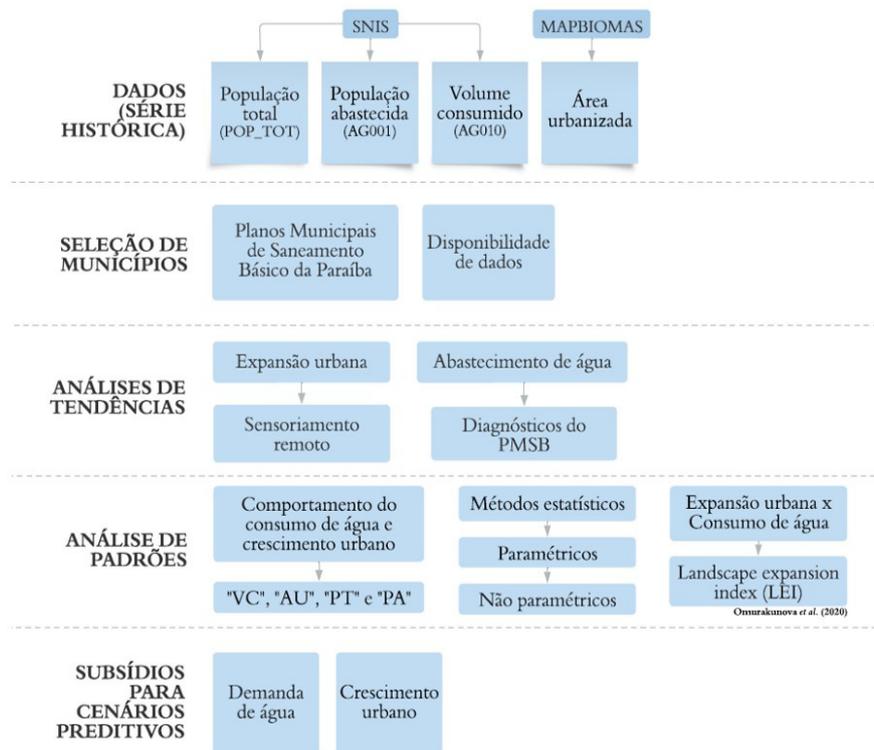


Figura 2 - Resumo das etapas metodológicas. Onde VC: volume consumido; AU: área urbanizada; PT: população total; PA: população atendida. Fonte: Autores (2023).

Aquisição dos dados

Foram coletadas, inicialmente, séries históricas de *população total* (POP_TOT: estimativa anual IBGE, incluindo população rural, urbana, das sedes e localidades), *população abastecida por água potável* (AG001: população efetivamente atendida com os serviços na área urbana ou localidades com características urbanas), *volume consumido* (AG010: volume anual de água consumido por todos os usuários, envolve o micromedido, o estimado para as ligações com ou sem hidrômetro e o volume de água tratada) e *área urbanizada* a serem usadas nas análises de padrões. As três primeiras séries foram extraídas do SNIS, enquanto a última foi retirada do MapBiomias (Souza et al., 2020), coleção 7, referente a classe de “área não vegetada – área urbanizada”, indicando “áreas com significativa densidade de edificações e vias”.

Também foram consultados os diagnósticos técnicos-participativos dos PMSB-PB (Paraíba, 2021), como também dados da caracterização física e socioeconômica. Essas informações foram fundamentais para as análises de tendências e dos padrões.

Após a coleta, averiguou-se a disponibilidade das séries de dados para o estudo tendo como critério “cidades que no intervalo 2005-2020 apresentaram dados de *população total*, *população abastecida por água potável*, *volume consumido* e *área urbanizada* sem anos faltosos”. Neste sentido, dos 49 municípios, 29 foram selecionados para o presente estudo (Figura 3).

Análises de tendências de crescimento urbano

A análise de tendências do crescimento urbano baseou-se: (i) na série histórica de áreas de infraestrutura urbana quantificada pelo MapBiomias; (ii) na análise espacial dessa classe a partir das imagens extraídas no MapBiomias, buscando identificar vetores de crescimento; (iii) na análise dos dados

Análise dos padrões observados

Inicialmente foi analisado o comportamento das variáveis quantitativas do SNIS (volume consumido, população total e população atendida por abastecimento de água) e do MapBiomas (área urbanizada) buscando identificar as relações que foram estabelecidas dentro do intervalo de análise, e assim identificar tipologias de desenvolvimento dessas variáveis nos 29 municípios.

Em seguida, fez-se uma análise mais detalhada investigando as relações diretas entre as variáveis quantitativas de volume consumido e a área urbanizada em cada município, identificando as associações entre ambos e os fatores de influência para a correspondência. O teste de Shapiro-Wilk foi utilizado para verificar a normalidade dos dados dessas variáveis. Essas análises foram conduzidas usando o software *Past (PAleontological STatistics)* (Hammer et al., 2001), uma ferramenta gratuita para análise de dados científicos no ambiente Windows, com funções para manipulação de dados quantitativos, séries temporais, análise espacial, dentre outros (Hammer et al., 2001).

Finalmente, para uma análise quantitativa e espacial, o *Landscape expansion index (LEI)* (Equação 1) foi aplicado. Esse índice analisa a dinâmica morfológica da mancha urbana ao longo do tempo. A análise foi dividida em três intervalos: 2005-2010, 2010-2015 e 2015-2020. Esses horizontes de tempo foram escolhidos para uma análise detalhada do crescimento urbano e suas relações com as mudanças no volume consumido em cada cidade, buscando verificar padrões e relações entre esses indicadores.

Suporte a uma cenarização

Previsões foram realizadas no horizonte idêntico ao período estudado (15 anos) utilizando-se dados do SNIS para a demanda de água e do MapBiomas para a expansão urbana. O método usado é a suavização exponencial tripla em que, a partir da série observada (2020 a 2035), estima-se a previsão da demanda. Esse é um dos métodos mais usados para previsão de curto prazo e, além disso, é de interface e operação relativamente simples (Wofuru-Nyenke & Briggs, 2022).

Neste estudo foi usado o modelo de Holt-Winters aditivo, sendo indicado quando as variações são independentes do nível da série (Costa, 2019). O intervalo de confiança utilizado foi de 95%, ou seja, espera-se que os pontos futuros ocorram dentro desse percentual com base na previsão, sendo esses fundamentais para indicar a margem de incerteza ou imprecisão das hipóteses estatísticas. As predições são apresentadas para os anos de 2025, 2030 e 2035 de cada município.

Resultados e discussão

Nos 29 municípios analisados, percebe-se que o espraiamento da mancha urbana ocorre de maneiras diferentes, nem sempre de forma contígua. Algumas vezes com conurbações de pequenas localidades próximas e, em alguns casos, há um significativo espalhamento do núcleo urbano original. Quanto às forças motrizes, estas foram analisadas a partir dos diagnósticos técnico-participativos de cada município. Para os fatores de educação, IDH-M e PIB, fez-se uma análise matemática e pôde-se identificar qual mais cresceu no período de estudo e, conseqüentemente, teve o maior poder de influenciar o desenvolvimento territorial dos municípios. Nesse sentido, o IDH-M aumentou mais que o PIB em 21 municípios, tornando-se a variável mais influente no desenvolvimento dessas cidades.

O PIB foi a segunda variável que acompanhou a dinâmica de crescimento dos municípios e apresentou um maior crescimento em relação ao IDH-M em oito cidades, indicando que, nesses casos, o PIB

exercer maior influência. Ainda, observou-se que, na maioria dos municípios, o setor de administração, defesa, educação e saúde públicas e seguridade social foi a principal contribuição para a formação do PIB, seguido pelo setor de serviços. Em contrapartida, o setor industrial teve o menor impacto.

A variável educação não parece ser um fator que tenha relação direta com o crescimento da mancha urbana, uma vez que houve redução do número de matriculados em rede escolar no período entre 2013 e 2019 nos municípios, com exceção de duas cidades: São Bento, que registrou um aumento significativo de 45,08%, e Manaíra, que aumentou apenas 1,46%. Esse fato pode ser justificado pela alta mobilidade de estudantes entre municípios do interior do estado. Muitos alunos matriculados em um município maior podem ser em grande parte residentes de um pequeno município, e esse deslocamento é, muitas vezes, custeado e estimulado pelas prefeituras dos pequenos municípios. A Tabela 1 lista os municípios e a ordem de influência das suas forças motrizes.

Tabela 1 - Principais forças motrizes do crescimento urbano

Município	Ordem de influência das forças motrizes
Água Branca, Aguiar, Bananeiras, Boa Vista, Brejo dos Santos, Caiçara, Cajazeirinhas, Cruz do Espírito Santo, Ibiara, Igaracy, Manaíra, Natuba, Nova Olinda, Olho D'Água, Pedra Lavrada, Santana de Mangueira, São José de Piranhas, São José do Bonfim, São José dos Ramos, Serra Grande e Sertãozinho	1º IDH-M
Alhandra, Areia, Bom Sucesso, Cabaceiras, Casserengue, Marizópolis e Solânea	2º PIB
São Bento	1º PIB
	2º IDH-M
	1º PIB
	2º IDH-M
	3º Educação

Fonte: Paraíba (2021).

Questões relativas ao abastecimento de água

Ao analisar os diagnósticos do PMSB-PB e os dados do SNIS, percebe-se que todos os municípios apresentam problemas relacionados ao abastecimento de água. Neste sentido, as principais análises de tendências identificadas foram:

- Em 2010, 26 dos 29 municípios estudados apresentavam índices superiores a 90% de atendimento por meio de rede geral, porém, nenhum deles alcançou a totalidade nesse aspecto;
- 25 municípios têm como fonte principal a rede pública, enquanto quatro cidades possuem o carro-pipa como meio primordial de suprimento de água;
- O carro-pipa é o segundo meio mais utilizado para abastecimento hídrico, sendo fundamental no suprimento das defasagens da rede geral. Na maioria dos casos esse tipo de atendimento fica sob responsabilidade das prefeituras municipais e o serviço apresenta intermitência e incerteza quanto à qualidade da água fornecida;
- 40% dos municípios utilizam, no mínimo, três formas de abastecimento ao mesmo tempo;
- A maioria dos mananciais sofreu as consequências das secas prolongadas da região semiárida, levando ao colapso do sistema de abastecimento. Isso explica as flutuações no consumo de água ao longo dos anos;

- A Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (Cagepa) atende majoritariamente a zona urbana de todos os municípios;
- Todos os municípios relataram problemas com o abastecimento intermitente fornecido pela prestadora, com exceção de Manaíra e São José do Bonfim;
- Os principais motivos do abastecimento intermitente, baseado nos diagnósticos do PMSB-PB, são:
 - Rede de distribuição antiga e subdimensionada não consegue atender adequadamente o crescimento populacional, mesmo quando há disponibilidade hídrica;
 - A topografia do terreno estabelece áreas com pressão insuficiente na rede de abastecimento (critérios hidráulicos desfavoráveis). Muitas vezes há rede implantada com longos intervalos de tempo sem presença de água.

Percebe-se que, apesar da deficiência do abastecimento de água nos municípios, esses fatores não foram suficientes para impedir o avanço da expansão das cidades e, conseqüentemente, do desenvolvimento social, como indicado pelo aumento do IDH-M e do PIB. Ademais, o abastecimento de água por carro-pipa (mercado da água no semiárido) desempenhou um papel significativo nesse desenvolvimento, suprimindo a população nas intermitências do atendimento por rede geral e nas épocas de crise hídrica.

Os dados coletados por questionários em audiências públicas (ciência cidadã) revelaram que, além da rede pública e dos carros-pipa, outros meios de abastecimento hídrico são usados pelos municípios como açude, poço, água da chuva, rio, barragem e compra no mercado, nessa ordem. Essas fontes alternativas desempenham um papel fundamental no fornecimento de água durante épocas de crise hídrica, mesmo que de forma esporádica.

Quanto ao armazenamento hídrico nas residências, mais da metade dos municípios (53,57%) utiliza pelo menos quatro formas diferentes para reservar água, sendo estes: os reservatórios, baldes, cisternas (de placa ou de polietileno) e outras formas não descritas em detalhe.

O reservatório ou cisterna são os meios mais tradicionais, no entanto a utilização de baldes como meio de reserva hídrica é um ponto preocupante, especialmente quando esses baldes ficam expostos, podendo ser potencializadores da proliferação de doenças. As garrafas e galões também foram citadas como meio de armazenamento de água, porém não há informações de como é a limpeza e estocagem desses utensílios, o que traz incerteza quanto à qualidade da água e adequação para consumo humano, tendo em vista que não há fiscalização desse meio de reserva.

Pode se afirmar então que os municípios ainda enfrentam desafios significativos em relação aos serviços básicos de saneamento no que se refere ao suprimento de água e armazenamento da mesma, sendo esses direitos fundamentais dos cidadãos conforme estabelecido em lei (Brasil, 1988).

Análise das variáveis e dos padrões observados

A Tabela 2 apresenta as variações percentuais observadas da população total (PT), população atendida (PA), volume consumido (VC) e área urbanizada (AU) nos 29 municípios durante o período de 2005 e 2020. Percebe-se que a área urbanizada aumentou em todos os municípios, seja em maiores proporções, como é o caso de Cajazeirinhas, que expandiu seu território em 212%, ou em menores proporções, como Santana de Mangueira que cresceu apenas 27%. As demais variáveis oscilaram seguindo padrões distintos.

A partir do comportamento das variáveis fez-se o enquadramento dos municípios em cinco grupos (Tabela 3). O grupo com maior número de municípios foi aquele em que todas as variáveis aumentaram. Esse comportamento é comum em centros urbanos mais desenvolvidos, conforme observado por

Farhan et al. (2019), Cao et al. (2020) e Zubaidi et al. (2019). Em contrapartida, o grupo com menor número de municípios foi aquele que diminuiu o VC ao passo que aumentou os demais indicadores.

Tabela 2 - Análise das variáveis

Município	População total	População atendida	Volume consumido	Área urbanizada
Água Branca	+21,44%	-46,13%	-42,26%	+115,15%
Aguiar	+21,80%	+11,45%	+1,65%	+113,33%
Alhandra	+12,27%	+38,26%	+70,58%	+122,59%
Areia	-8,93%	+21,56%	-21,15%	+81,96%
Bananeiras	+1,44%	-11,11%	-25,07%	+186,44%
Boa Vista	+30,05%	+46,59%	+26,09%	+95,69%
Bom Sucesso	+6,26%	+39,55%	+22,96%	+68,29%
Brejo dos Santos	+12,04%	+12,31%	-22,33%	+46,26%
Cabaceiras	+32,91%	-17,13%	-44,65%	+80,64%
Caiçara	-1,78%	+9,32%	-10,46%	+30,23%
Cajazeirinhas	+18,79%	+102,38%	+225,89%	+212,5%
Casserengue	+4,03%	-14,22%	-32,24%	+168,57%
Cruz do Espírito Santo	+16,58%	+28,03%	+2,51%	+84,41%
Ibiara	-5,67%	+13,79%	-11,81%	+35%
Igaracy	-8,23%	+25,64%	+28,35%	+144%
Manaíra	+10,73%	+66,55%	+58,68%	+73,07%
Marizópolis	+22,18%	+32,96%	+2613,38%	+81,13%
Natuba	+5,59%	+24,74%	-2,71%	+110,52%
Nova Olinda	-10,56%	+18,17%	+13,96%	+29,26%
Olho D'Água	-8,07%	+37,01%	+51,77%	+46,34%
Pedra Lavrada	+20,06%	+13,52%	-32,33%	+100%
Santana de Mangueira	-3,53%	+23,21%	+35,10%	+27,58%
São Bento	+17,87%	+44,38%	+0,56%	+67,91%
São José de Piranhas	+12,73%	+49,88%	+35,65%	+103,44%
São José do Bonfim	+28,55%	+99,65%	+134,24%	+100%
São José dos Ramos	+20,20%	+76,81%	+59,32%	+209,09%
Serra Grande	-3,31%	+51,8%	+46,48%	+100%
Sertãozinho	+17,66%	+63,34%	+74,58%	+188,23%
Solânea	-17,93%	+1,9%	-13,30%	+38,25%

Fonte: Autores (2023).

Tabela 3 - Enquadramento dos municípios segundo o comportamento das variáveis

Classes	Municípios
+ PT e AU	Grupo 1: Água Branca, Bananeiras, Cabaceiras e Casserengue
- PA e VC	
+ PT, PA, VC e AU	Grupo 2: Aguilar, Alhandra, Boa Vista, Bom Sucesso, Cajazeirinhas, Cruz do Espírito Santo, Manaíra, Marizópolis, São Bento, São José de Piranhas, São José do Bonfim, São José dos Ramos e Sertãozinho
- PA e AU	
+ PT e VC	Grupo 3: Areia, Caiçara, Ibiara e Solânea
- PT, PA e AU	
+ VC	Grupo 4: Brejo dos Santos, Natuba e Pedra Lavrada
- PA, VC e AU	
+ PT	Grupo 5: Igaracy, Nova Olinda, Olho d'Água, Santana de Mangueira e Serra Grande
- PT	

VC: volume consumido; AU: área urbanizada; PT: população total; PA: população atendida. Fonte: Autores (2023).

No grupo 3, PA e AU cresceram enquanto PT e VC diminuíram. No grupo 4, PT e AU aumentaram enquanto o valor de PA e VC decresceu. Ainda, por fim no grupo 5 estão os municípios que reduziram a PT, mas ampliaram o valor de todas as demais variáveis. Observa-se também que AU foi a variável que aumentou em todos os municípios, seguida pela variável PA, que aumentou em quatro grupos. Isso sugere que a maioria dos municípios estão ampliando as infraestruturas hídricas das cidades e que, conseqüentemente, a população estaria com maior acesso à água em suas residências (caso houvesse o recurso). Isso é confirmado pelo indicador de “extensão da rede de água (AG005)” do SNIS, que demonstra que, entre os municípios, apenas Casserengue não alterou a sua malha de distribuição de água. São Bento e São José dos Ramos tiveram redução da rede, enquanto nos demais municípios houve expansão dessa infraestrutura, alguns de forma mais limitada, outros de maneira significativa, como São José do Bonfim, que ampliou a malha de distribuição de água em 859,39% entre 2005 e 2020. A variável PT aumentou em três grupos, evidenciando que o aumento da PT de um município nem sempre reflete em aumento de habitantes abastecidos por água. Por fim, observa-se que, em alguns municípios, o VC independe da PT e/ou PA, e na maioria dos casos há uma diminuição dessa variável, certamente devido aos problemas no abastecimento hídrico em decorrência da falta do próprio recurso.

Identificando relações e tendências

A normalidade das variáveis quantitativas (VC e AU) foi verificada através do teste de Shapiro-Wilk, considerado o mais eficiente e confiável em pequenas amostras (Khatun, 2021; Miot, 2017; Razali & Yap, 2011). Assim, constatou-se que, em 41,38% dos municípios, a hipótese nula (os dados seguem a distribuição normal) foi rejeitada para alguma das variáveis. Em 27,59% das cidades, ambos os dados seguiram uma distribuição diferente da normal, enquanto em 31,03% dos municípios a distribuição normal adequou-se bem a ambas as variáveis. A correlação de Pearson foi aplicada aos dados com distribuição normal, enquanto a correlação de Spearman foi usada nos casos em que os dados não seguiam essa distribuição (Lordelo et al., 2018; Miot, 2018; Zilberstein et al., 2019). Dos 29 municípios analisados, apenas nove apresentam normalidade em ambas as variáveis, 12 cidades possuem VC ou AU com distribuição normal, e em oito municípios nenhuma das variáveis segue essa distribuição. A Tabela 4 apresenta o diagnóstico do teste de normalidade (“N” representa dados normais, enquanto “A” indica dados que não seguem a distribuição normal) e os valores dos coeficientes de correlação de Pearson e correlação de Spearman referentes à análise da AU e VC, com base nas classificações de Nunes (2017), Boscaglia (2013) e Levin et al. (2012).

Segundo Khatun (2021), a avaliação da normalidade por meio de testes estatísticos é sensível ao tamanho da amostra, especialmente em pequenas amostras, onde a hipótese nula de normalidade pode não ser rejeitada. Assim, a combinação de testes estatísticos e métodos gráficos melhora a avaliação da normalidade dos dados e o entendimento frente a interpretação dos resultados. Nesse contexto, analisaram-se separadamente as variáveis de VC e AU de cada município através do teste de normalidade de Shapiro-Wilk para identificar tendências ao longo do período entre 2005 e 2020.

Diante disso, identificou-se que a AU cresce basicamente de duas maneiras: ambas de forma linear, porém algumas aumentam suas áreas urbanas de forma breve e há uma certa estagnação (monotonia) entre os anos. Na grande maioria, esses casos encaixam-se nos dados onde não há normalidade. Em contrapartida, alguns municípios possuem crescimento mais acentuado e não há estagnação entre um ano e outro. Nesses casos, a maioria dos dados seguem a normalidade.

Esse comportamento pode ser explicado devido à distribuição normal ser facilmente reconhecida pelo formato de “sino” (Anunciação et al., 2021; Mendes, 2021). Essa forma não é identificada para as AUs que obtiveram um crescimento monótono, porém para as que cresceram na diagonal há uma maior semelhança com esse formato.

Tabela 4 - Análise geral da correlação entre área urbanizada e volume consumido

Municípios	Teste de normalidade (VC/AU)	Valor da correlação	Classificação
Coefficiente de Pearson			
Cruz do Espírito Santo	N/N	0,05	Muito fraca
Alhandra	N/N	0,55	Moderada
Brejo dos Santos	N/N	-0,31	
Cajazeirinhas	N/N	0,58	
Natuba	N/N	0,42	
São Bento	N/N	0,39	
Solânea	N/N	-0,49	
São José dos Ramos	N/N	0,60	Forte
Serra Grande	N/N	0,83	
Coefficiente de Spearman			
Areia	N/A	-0,01	Muito fraca
Ibiara	A/N	0,14	Fraca
Marizópolis	A/N	-0,11	
Bom Sucesso	A/A	0,14	
São José de Piranhas	N/A	0,25	
Água Branca	N/A	0,37	Moderada
Aguiar	A/A	0,41	
Boa Vista	N/A	0,51	
Caiçara	A/A	-0,47	
Nova Olinda	A/A	0,46	
Pedra Lavrada	A/A	-0,51	
São José do Bonfim	N/A	0,56	
Igaracy	A/A	0,73	Forte
Bananeiras	A/A	-0,64	
Casserengue	A/N	-0,73	
Manaíra	A/N	0,85	
Olho D'Água	N/A	0,79	
Santana de Mangueira	A/A	0,68	
Sertãozinho	A/N	0,83	

Fonte: Autores (2023).

Quanto à variável VC, entende-se que esta não refletiu com precisão o consumo de água real dos municípios estudados, devido à crise hídrica que afetou o semiárido durante parte do período analisado (2012-2017). Esse cenário culminou em conflitos pela gestão e controle da água, além da suspensão da irrigação e racionamento público em diversas cidades (Araújo, 2021). Nessa época, apenas os reservatórios das bacias situadas na região da mata e litoral (fora do semiárido brasileiro) possuíam capacidade de armazenamento superior a 30% do seu volume total, enquanto na região do Agreste, Borborema e Sertão se encontravam com menos de 15% de suas reservas hídricas (Medeiros & Brito, 2017), desencadeando colapso nos sistemas de abastecimento de diversas cidades. Assim, a inconstância do VC (picos e declínios

bruscos) pode ter induzido ao erro tanto o teste de Shapiro-Wilk quanto as correlações entre VC e AU através dos coeficientes de Pearson e Spearman.

Nos casos em que a correlação foi negativa, esta se deu devido à diminuição do VC no intervalo de análise. Além disso, em todos os casos foram observados picos de acréscimo e/ou decréscimo de VC, variando em intensidade. Essas flutuações foram o principal motivo das dificuldades de correlação entre as variáveis, sendo estas provocadas pela escassez hídrica quanto à capacidade de reservação, uma vez que a maioria das cidades estudadas está inserida na região semiárida e enfrentou a seca prolongada (2012-2017).

Observou-se ainda que a AU cresce de forma linear e mais homogênea, o que difere do crescimento do VC. Isso fez com que os pontos de dispersão de ambos os indicadores ficassem mais distantes da linha de tendência, o que justifica uma fraca a média correlação. Quanto às correlações mais fortes, essas se deram decorrente de uma maior continuidade, tanto do VC quanto da AU. Esses municípios tiveram poucos pontos de picos no VC, seja de decréscimo ou acréscimo, e a forma como a AU cresceu foi linear acentuada, o que contribuiu para uma maior similaridade no comportamento dessas variáveis e, conseqüentemente, uma maior associação.

Índice de Expansão de Paisagem (LEI)

Uma vez que a observação por sensoriamento remoto permite a quantificação das áreas urbanizadas ao longo do tempo, e que a análise de correlação entre VC e aumento da área urbana (AU) nem sempre indica uma correlação direta, foi analisada a forma como se deu a expansão urbana nesses municípios. Essa compreensão pode auxiliar no planejamento de infraestrutura de abastecimento futuro para além de uma quantificação de demandas. A Tabela 5 apresenta a aplicação do LEI e as análises quantitativas de VC entre os intervalos de 2005 e 2010, 2010 e 2015 e 2015 e 2020. A sigla “EB” refere-se à expansão de borda, a “EP” é alusiva à expansão periférica e, por fim, “PR” é referente ao preenchimento.

Dessa maneira, observa-se que o tipo de crescimento mais comum nos municípios entre os intervalos analisados foi a *expansão de borda*, contemplando 51,87% do total dos municípios sob análise. Em segundo lugar, a *expansão periférica* ocorreu em pouco mais da metade dos municípios onde também ocorreu a EB, representando 28,76% dos resultados encontrados. Por fim, o tipo de crescimento urbano menos observado foi o *preenchimento*, desenvolvendo-se apenas 31 vezes, o que equivale a menos de 20% da apuração completa dos dados. Isto denota que as cidades crescem de maneiras diferentes dentro de um mesmo intervalo de tempo e região, ocorrendo geralmente dois tipos de expansão por vez.

Analisando em conjunto com o VC, percebe-se que a *expansão de borda*, conseqüentemente, é a tipologia que mais ocorre, tanto em relação ao acréscimo quanto ao decréscimo do consumo de água. Ou seja, não parece haver uma relação direta no espraiamento da mancha urbana e seu aumento e diminuição do consumo, pelo menos nos municípios analisados.

Em seguida, a *expansão periférica* também aparece em ambos os aspectos de progressão, contemplando 27 vezes o crescimento e 19 vezes o decréscimo do VC. Por fim, o tipo de desenvolvimento urbano de *preenchimento* é o menos comum, abrangendo 21 vezes no crescimento e 10 vezes na redução do consumo de água dos municípios. Este fato pode ser justificado pela resolução espacial dos produtos MapBiomas que se baseiam em imagens de satélite com 30 m de resolução. As imagens referentes às áreas classificadas como urbanizadas podem não permitir a identificação de pequenos vazios urbanos e sua conseqüente ocupação ao longo do tempo.

Essa tipologia de crescimento espraiado ou a criação de outros núcleos urbanos dentro de um mesmo limite municipal reflete um uso ineficiente da infraestrutura urbana. Segundo Sousa et al. (2021), o padrão de crescimento PR seria mais pertinente do que o EB ou EP pois, para que houvesse um crescimento urbano mais compacto (para utilização efetiva da infraestrutura), o preenchimento de áreas desocupadas necessitaria ser prioridade, com o espraiamento territorial em segundo plano.

Tabela 5 - Aplicação do LEI e análise do volume consumido

Município	Classificação do lei			Volume consumido (%)		
	2005-2010	2010-2015	2015-2020	2005-2010	2010-2015	2015-2020
Água Branca	EB e EP	PR	EB e EP	+0,79	+8,8	-47,35
Aguiar	EB e EP	EB e EP	EB	-61,48	+147,81	+6,49
Alhandra	EB, EP e PR	EP, EB e PR	PR, EB e EP	+31,9	+51,06	-14,43
Areia	EB, PR e EP	EB e EP	EP, EB e PR	-16,41	-24,87	+25,56
Bananeiras	EB e PR	EP, EB e PR	EP, EB e PR	-2,54	-71,77	+172,39
Boa Vista	EB	EB	EB, EP e PR	-0,79	+16,59	+9,01
Bom Sucesso	EB	EB e EP	EB e EP	+29,01	-14,12	+10,98
Brejo dos Santos	EB e EP	EB e EP	EB, EP e PR	-21,08	-15,15	+15,98
Cabaceiras	EB	EB	EB, EP e PR	-11,64	-25,92	-15,44
Caiçara	EB	EB	EB	+6,34	-49,24	+65,9
Cajazeirinhas	EB	EB	EB	+113,46	+42	+7,5
Casserengue	EP, EB e PR	EP e EB	EP, EB e PR	+4,83	-19,17	-20,03
Cruz do Espírito Santo	EB e EP	EB, PR e EP	EP, EB e PR	+11,22	+7,95	-14,62
Ibiara	EB	EB	EB e EP	-26,25	+0,48	+18,99
Igaracy	EB	EB	PR e EP	+1,6	+5,89	+19,29
Manáira	EB	EB	EP e PR	+24,63	+16,56	+9,22
Marizópolis	EP e EB	EB e EP	EB e EP	+2875,4	-50,37	+83,75
Natuba	EB e EP	EB e PR	EP e EB	-20,5	-42,09	+39,76
Nova Olinda	EB	EB	EB	+14,87	-7,23	+6,94
Olho D'Água	EB	EB	EB e PR	+13,14	+19,43	+12,31
Pedra Lavrada	EB e EP	EB e PR	EB	-20,87	-6,74	-8,29
Santana de Mangueira	EB	EB	EB	+25,98	+7,39	-0,14
São Bento	EP, EB e PR	EB, EP e PR	EP, EB e PR	-26,6	+14,81	+14,64
São José de Piranhas	EB e PR	EP, EB e PR	EP e EB	+19,82	+5,36	+7,44
São José do Bonfim	EB	EB	EP e PR	+50,33	+43,89	+8,28
São José dos Ramos	EP e EB	EP e EB	EP e EB	-10,07	+57,89	+12,2
Serra Grande	EB	EB	PR	+12,39	+25,27	+4,03
Sertãozinho	EB e PR	EB e PR	PR	+1,13	+50,54	+14,66
Solânea	EP e EB	EP e EB	EP e EB	+13,29	-50,34	+54,12

Fonte: Autores (2023).

Ademais, as tipologias de EB e EP podem ser associadas à atuação do mercado imobiliário, que ao longo dos anos vem transitando para a expansão das periferias expressa na simultaneidade entre habitação social de mercado e condomínios fechados. Esse fenômeno revela os contornos da segregação residencial em confronto aos interesses fundiários, materializadas nos vazios urbanos (Sousa et al., 2021).

Assim, constata-se que não há como estabelecer correlações diretas entre a forma como os municípios desenvolveram e consolidaram suas áreas urbanas com o VC durante os intervalos analisados. Entretanto é notório que na grande maioria dos municípios a infraestrutura de redes de abastecimento seguiu uma tendência de expansão uma vez que muitos destes municípios cresceram por expansão de borda e periférica o que normalmente implica em áreas anteriormente desprovidas de infraestrutura agora ocupadas e demandando expansão das redes. Esse comportamento foi verificado na maioria dos municípios, em que apresentavam infraestrutura para atender as novas populações, porém, devido aos critérios hidráulicos desfavoráveis, a água não chegava nessas localidades.

Previsões e cenários

As previsões de demanda de água e área urbanizada foram calculadas para os 29 municípios. Como exemplo, a Figura 5 apresenta as previsões para o município de Cajazeirinhas que, no intervalo estudado, apresentou crescimento expressivo tanto no VC quanto na AU, aumentando mais de 200% em ambos (Figuras 5 e 6, respectivamente).

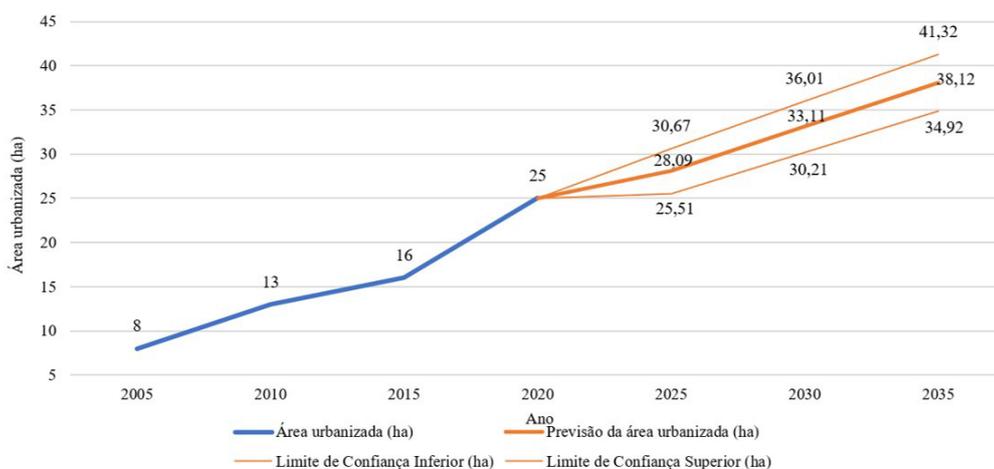


Figura 5 - Previsão de demanda de água para o município de Cajazeirinhas. Fonte: Autores (2023).

A previsão de demanda de água para Cajazeirinhas revela uma tendência de crescimento semelhante à observada em outros municípios analisados. Esses resultados indicam que a demanda por água provavelmente aumentará nos próximos 15 anos. Essa tendência está alinhada com o Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil de 2022, que aponta um aumento contínuo na demanda hídrica no país, especialmente para o abastecimento urbano, ficando atrás apenas do setor de irrigação (ANA, 2023). Ademais, o Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil (ANA, 2019) prevê um aumento de 42% nas retiradas de água nos próximos 20 anos (até 2040), representando um aumento de 26 trilhões de litros anualmente extraídos de mananciais.

Num sentido oposto, 13 municípios apresentam uma tendência de continuidade ou mesmo de diminuição da demanda hídrica. Isso ocorre em detrimento de pontos atípicos de VC. Vale ressaltar que,

nos municípios que obtiveram correlação *muito fraca* e *fraca*, os picos de aumento e diminuição de VC foram retirados para realização da previsão de demanda. Esses pontos atípicos ocorreram devido à crise hídrica, onde VC apresenta pontos fora da curva que não retratam a normalidade dos municípios. Portanto, a utilização da Planilha de Previsão do Excel não se mostrou eficaz para subsidiar cenários futuros realistas. Seria necessário considerar outras ferramentas para previsões que normalizassem os dados ou a utilização de um período sem crise no abastecimento.

Quanto às previsões de AU, em todos os casos, a tendência é de crescimento, refletindo o que ocorreu entre 2005 e 2020. Esse padrão é comum (mesmo que de diversas formas) e continuará acontecendo nas próximas décadas, impulsionado pelo êxodo rural e por fatores atrativos oferecidos pelos centros urbanos, como industrialização, melhores condições financeiras e qualidade de vida (Chen et al., 2020; McDonald et al., 2020; Dias & Laschefski, 2019; Wandl & Magoni, 2017).

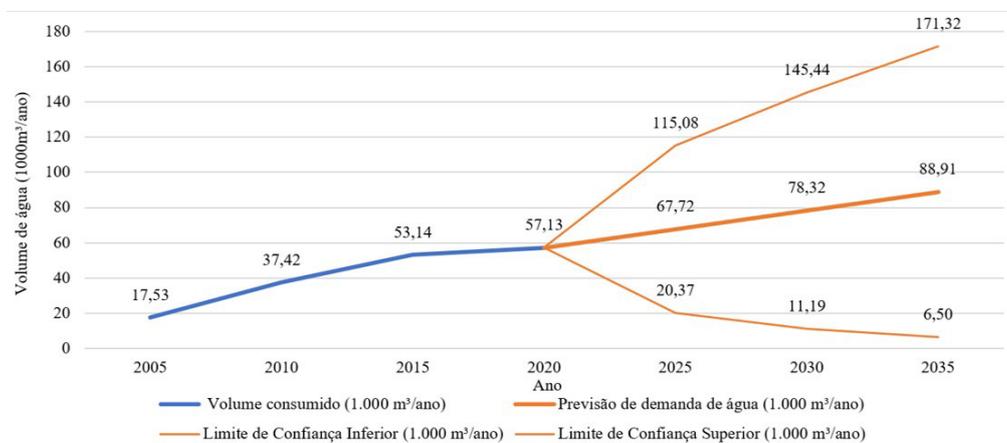


Figura 6 - Previsão de área urbanizada para o município de Cajazeirinhas. Fonte: Autores (2023).

Conclusões

A gestão da demanda de água pode se beneficiar de estudos preditivos, assim como a gestão urbana. E é esperado que a expansão urbana se reflita na expansão da infraestrutura hídrica dessas áreas de crescimento, assim como o disciplinamento do uso do solo pode ser, em alguns casos, orientado e limitado pela disponibilidade de água. Algumas conclusões a partir deste estudo tornam-se possíveis:

1. As variáveis quantitativas de população total, população abastecida por água, volume consumido e área urbanizada não demonstram influências diretas umas sobre as outras;
2. Todos os municípios enfrentam problemas relacionados ao abastecimento de água, resultantes de questões de infraestrutura hídrica e escassez, sendo esse o mais grave problema;
3. A crise hídrica na região semiárida entre 2012-2017 teve impacto significativo no volume dos mananciais e influenciou nas alternâncias no volume consumido pelos municípios. Isso limitou a maior correlação entre o VC e AU e uma previsão mais realista da demanda hídrica;
4. A deficiência nos serviços de abastecimento de água não impediu o desenvolvimento e a expansão das cidades. Em muitos casos, a população foi suprida por meio de carro-pipa durante as intermitências do abastecimento. Esse “gatilho”, além de ineficiente, seus dados de consumo ficaram ocultos às bases oficiais;

5. Fontes alternativas de água, como açudes, poços, água da chuva, rios, barragens, compra no mercado e outras, desempenharam um papel fundamental na disponibilidade de água durante os períodos de crise hídrica, o que pode justificar o contínuo desenvolvimento das cidades;
6. Muitos municípios relataram meios inadequados de armazenamento hídrico, como baldes, garrafas e galões, para atender as necessidades básicas diárias até que o abastecimento pela rede pública seja restabelecido. Esses métodos podem desencadear problemas como a proliferação de doenças;
7. A variável que mais reflete a dinâmica da expansão urbana é o IDH-M, seguida do PIB. Essas variáveis estão interligadas, uma vez que um maior IDH-M reflete um crescimento econômico;
8. A educação não está diretamente relacionada com o crescimento urbano nas cidades analisadas devido à “cultura” de que maiores níveis educacionais estejam disponíveis em cidades maiores ou polos regionais próximos. Isso reflete na migração dos estudantes das pequenas cidades em busca de melhores oportunidades de ensino;
9. As correlações entre o VC e a AU, avaliadas por meio dos coeficientes Pearson e Spearman, revelam associações predominantemente classificadas como muito fracas, fracas e moderadas. Isso ocorre devido ao comportamento das variáveis. Enquanto a AU cresceu de forma contínua, o VC flutuou bastante devido à escassez hídrica. Esse é o principal fator de impedimento para maiores associações;
10. A partir do LEI, conclui-se que os municípios podem crescer com tipologias diferentes em um mesmo horizonte de tempo impulsionados por motivos diversos e peculiares;
11. A relação entre o LEI e o VC não segue um padrão definido. As variáveis alteram-se de maneira independente ou, pelo menos, são necessárias mais informações e bancos de dados mais robustos para que essa relação seja explicitada;
12. A previsão de área urbanizada indica uma tendência de crescimento em todos os municípios, enquanto que, para demanda hídrica, quase metade das cidades demonstra uma tendência de continuidade ou diminuição. Isso contrasta com a literatura a respeito da temática, que prevê um aumento contínuo na demanda hídrica. Ainda, os resultados demonstram que a ferramenta utilizada não foi a mais adequada para previsão e/ou que os dados precisariam passar por uma normalização ou, até mesmo, a utilização de outro período sem dados atípicos;
13. O estudo contemplou o período de seca (2012-2017), durante o qual muitos municípios enfrentaram intermitência no abastecimento ou colapsos nos sistemas. Portanto, em análises futuras, sugere-se que os intervalos investigados reflitam a realidade dos cenários, excluindo anos de crise hídrica.

Declaração de disponibilidade de dados

O conjunto de dados que dá suporte aos resultados deste artigo está disponível no SciELO DATA e pode ser acessado em <https://doi.org/10.48331/scielodata.VFCFCW>

Referências

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA. (2019). *Manual de usos consuntivos da água no Brasil* (75 p.). Brasília: ANA.

- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA. (2023). *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2022: informe anual*. Brasília: ANA.
- Alves, C. C., Hoepers, E., Corazza, E. J., Santos, G. J., Cristofolini, R., & Cruz, A. C. (2019). Aplicação de métodos estatísticos com suavização exponencial dupla e tripla para previsão de demanda na gestão de estoques. *Revista Produção Online*, 19(3), 1001-1026. <http://doi.org/10.14488/1676-1901.v19i3.3539>.
- Anuniação, L., Portugal, A. C., & Landeira-Fernandez, J. (2021). Aspectos psicométricos de instrumentos neuropsicológicos: revisão conceitual, proposta de interpretação de percentis e classificações. *Interação em Psicologia*, 25(03). <http://doi.org/10.5380/riep.v25i3.71375>.
- Araújo, S. M. S. (2021). As secas e suas consequências sobre os recursos do semiárido brasileiro. *Revista de Geociências do Nordeste*, 7(1), 52-58. <http://doi.org/10.21680/2447-3359.2021v7n1ID21251>.
- Boscaglia, F. (2013). *Dinâmica populacional e consumo de água na Serra-ES: panorama atual e cenário futuro* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.
- Brasil. (1988, 5 de outubro). *Constituição da República Federativa do Brasil de 1988*. Brasília: Diário Oficial da União. Recuperado em 24 de maio de 2023, de https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm
- Brasil. (2020, 16 de julho). *Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei no 9.984, de 17 de julho de 2000*. Brasília: Diário Oficial da União. Recuperado em 10 de janeiro de 2023, de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm
- Brasil. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS. (2023a). *Série histórica*. Recuperado em 10 de janeiro de 2023, de <http://www.snis.gov.br/>
- Brasil. (2023b). *Projeto de mapeamento anual da cobertura e uso do solo do Brasil – MapBiomias*. Brasília: Plataforma MapBiomias Brasil. Recuperado em 10 de janeiro de 2023, de <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/>
- Brasil. Ministério do Desenvolvimento Regional – MDR. (2022). *Saneamento: SNIS - 2022*. Recuperado em 10 de janeiro de 2023, de <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis>
- Brito, F., Ciampi, M., Santos, H., Vasconcelos, R., & Amaral, L. (2018). A urbanização recente no Brasil e as aglomerações metropolitanas. *EasyChair Preprint*, (233), 1-6. <http://doi.org/10.29007/jx9r>.
- Cao, S., Yu, N., Wu, Y., Wang, Z., & Mi, J. (2020). The educational level of rural labor, population urbanization, and sustainable economic growth in China. *Sustainability*, 12(12), 4860. <http://doi.org/10.3390/su12124860>.
- Coelho, V. H. R., Bertrand, G. F., Montenegro, S. M. G. L., Paiva, A. L. R., Almeida, C. N., Galvão, C. O., Barbosa, L. R., Batista, L. F. D. R., & Ferreira, E. L. G. A. (2018). Piezometric level and electrical conductivity spatiotemporal monitoring as an instrument to design further managed aquifer recharge strategies in a complex estuarial system under anthropogenic pressure. *Journal of Environmental Management*, 209, 426-439. <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.12.078>. PMID:29309966.
- Cordão, M. J. S., Rufino, I. A. A., Alves, P. B. R., & Barros, M. N. M., Fo. (2020). Water shortage risk mapping: a GIS-MCDA approach for a medium-sized city in the Brazilian semi-arid region. *Urban Water Journal*, 17(7), 642-655. <http://doi.org/10.1080/1573062X.2020.1804596>.
- Costa, C. M. F. (2019). *Desenvolvimento de modelos de previsão de variáveis climáticas* (Dissertação de mestrado). Escola de Ciências, Universidade do Minho, Guimarães.
- Chen, G., Li, X., Liu, X., Chen, Y., Liang, X., Leng, J., Xu, X., Liao, W., Qiu, Y., Wu, Q., & Huang, K. (2020). Global projections of future urban land expansion under shared socioeconomic pathways. *Nature Communications*, 11(1), 537. <http://doi.org/10.1038/s41467-020-14386-x>. PMID:31988288.
- Chen, L., Ren, C., Zhang, B., Wang, Z., & Liu, M. (2018). Quantifying urban land sprawl and its driving forces in northeast China from 1990 to 2015. *Sustainability*, 10(1), 188. <http://doi.org/10.3390/su10010188>.

- Chen, S. L., Liu, J. H., & Wang, H. (2016). Initial research on the theory and application of urban water demand field. *Kexue Tongbao*, 61(13), 1428-1435. <http://doi.org/10.1360/N972016-00058>
- Dadashpoor, H., Azizi, P., & Moghadasi, M. (2019). Land use change, urbanization, and change in landscape pattern in a metropolitan area. *The Science of the Total Environment*, 655, 707-719. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.267>. PMID:30476851.
- Dias, S. S., & Laschefski, K. (2019). Conflitos ambientais e gestão da água: problemas de abastecimento, urbanização e mineração em Viçosa, MG. *Boletín Geográfico*, 37(3), 105-122. <http://doi.org/10.4025/bolgeogr.v37i3.38296>.
- Farhan, S. L., Hashim, I. A. J., & Naji, A. A. (2019). The sustainable house: comparative analysis of houses in Al Kut Neighborhoods-Iraq. In *12th International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE)* (pp. 1031-1036). New York: IEEE. <http://doi.org/10.1109/DeSE.2019.00191>.
- Ghosh, R., Kansal, A., & Venkatesh, G. (2019). Urban water security assessment using an integrated metabolism approach: case study of the national capital territory of Delhi in India. *Resources*, 8(2), 62. <http://doi.org/10.3390/resources8020062>.
- Gomes, J. V. P., & Cubas, M. G. (2021). *Fundamentos do sensoriamento remoto* (1ª ed.). Curitiba: InterSaberes.
- Hammer, Y., Harper, D., & Ryan, P. D. (2001). Past: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1), 4. Recuperado em 24 de maio de 2023, de http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm
- Heidari, H., Arabi, M., Warziniack, T., & Sharvelle, S. (2021). Effects of urban development patterns on municipal water shortage. *Front. Water*, 3, 694817. <http://doi.org/10.3389/frwa.2021.694817>.
- Huang, Z., Liu, J. H., Mei, C., Wang, H., Shao, W. W., & Li, Z. J. (2020). Analysis of driving forces of water demand in Jing-Jin-Ji district in recent years based on water demand field theory. *Science China. Technological Sciences*, 63(12), 2593-2605. <http://doi.org/10.1007/s11431-020-1592-6>.
- International Organization for Migration – IOM. (2015). *World migration report 2015: urbanization, rural–urban migration and urban poverty*. Geneva: IOM.
- Jiao, L., Mao, L., & Liu, Y. (2015). Multi-order Landscape Expansion Index: characterizing urban expansion dynamics. *Landscape and Urban Planning*, 137, 30-39. <http://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.10.023>.
- Khatun, N. (2021). Applications of normality test in statistical analysis. *Open Journal of Statistics*, 11(1), 1-10. <http://doi.org/10.4236/ojs.2021.111006>
- Kuang, W., Chi, W., Lu, D., & Dou, Y. (2014). A comparative analysis of megacity expansions in China and the U.S.: patterns, rates and driving forces. *Landscape and Urban Planning*, 132, 121-135. <http://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.08.015>.
- Levin, J., Fox, J. A., & Forde, D. R. (2012). *Estatística para ciências humanas* (11ª ed.). São Paulo: Pearson Education do Brasil.
- Li, W., Hai, X., Han, L., Mao, J., & Tian, M. (2020). Does urbanization intensify regional water scarcity? Evidence and implications from a megaregion of china. *Journal of Cleaner Production*, 244, 118592. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118592>.
- Li, X., Zhou, W., & Ouyang, Z. (2013). Forty years of urban expansion in Beijing: what is the relative importance of physical, socioeconomic, and neighborhood factors? *Applied Geography*, 38, 1-10. <http://doi.org/10.1016/j.apgeog.2012.11.004>.
- Liang, W., & Yang, M. (2019). Urbanization, economic growth and environmental pollution: evidence from China. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 21, 1-9. <http://doi.org/10.1016/j.suscom.2018.11.007>.
- Liu, X., Li, X., Chen, Y., Tan, Z., Li, S., & Ai, B. (2010). A new landscape index for quantifying urban expansion using multi-temporal remotely sensed data. *Landscape Ecology*, 25(5), 671-682. <http://doi.org/10.1007/s10980-010-9454-5>.

- Lordelo, L. M. K., Hongyu, K., Borja, P. C., & Porsani, J. M. (2018). Análise fatorial por meio da matriz de correlação de Pearson e policórica no campo das cisternas. *Engineering and Science*, 7(1), 58-70. <http://doi.org/10.18607/ES201875266>
- Martins, D. G. M., & Cabral, E. H. S. (2021). Panorama dos principais estudos sobre ciência cidadã. *ForScience*, 9(2), e01030. <http://doi.org/10.29069/forscience.2021v9n2.e1030>.
- McDonald, R. I., Mansur, A. V., Ascensão, F., Colbert, M., Crossman, K., Elmquist, T., Gonzalez, A., Güneralp, B., Haase, D., Hamann, M., Hillel, O., Huang, K., Kahnt, B., Maddox, D., Pacheco, A., Pereira, H. M., Seto, K. C., Simkin, R., Walsh, B., Werner, A. S., & Ziter, C. (2020). Research gaps in knowledge of the impact of urban growth on biodiversity. *Nature Sustainability*, 3(1), 16-24. <http://doi.org/10.1038/s41893-019-0436-6>.
- Medeiros, A. M. T., & Brito, A. C. (2017). A seca no Estado da Paraíba: impactos e ações de resiliência. *Parcerias Estratégicas*, 22(44), 139-154.
- Mendes, R. G. B. (2021). Curvas de distribuição de dados sobre germinação do feijão: Uso para estudo sobre o formato das curvas da pandemia de covid-19. *Revista do Professor de Física*, 5(2), 61-70. <http://doi.org/10.26512/rpf.v5i2.36833>.
- Miot, H. A. (2017). Avaliação da normalidade dos dados em estudos clínicos e experimentais. *Jornal Vascular Brasileiro*, 16(2), 88-91. <http://doi.org/10.1590/1677-5449.041117>. PMID:29930631.
- Miot, H. A. (2018). Análise de correlação em estudos clínicos e experimentais. *Jornal Vascular Brasileiro*, 17(4), 275-279. <http://doi.org/10.1590/1677-5449.174118>. PMID:30787944.
- Nunes, D. M. (2017). *Gestão das águas pluviais urbanas e elementos da infraestrutura verde: estudo de caso da bacia hidrográfica do rio Morto, Rio de Janeiro* (Dissertação de mestrado). Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Omurakunova, G., Bao, A., Xu, W., Duulatov, E., Jiang, L., Cai, P., Abdullaev, F., Nzabarinda, V., Durdiev, K., & Baiseitova, M. (2020). Expansion of impervious surfaces and their driving forces in highly urbanized cities in Kyrgyzstan. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(1), 362. <http://doi.org/10.3390/ijerph17010362>. PMID:31948082.
- Osumanu, I. K., & Ayamdo, E. A. (2022). Has the growth of cities in Ghana anything to do with reduction in farm size and food production in peri-urban areas? A study of Bolgatanga municipality. *Land Use Policy*, 112, 105843. <http://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105843>.
- Paiva, A. C. E., Nascimento, N., Rodriguez, D. A., Tomasella, J., Carriello, F., & Rezende, F. S. (2020). Urban expansion and its impact on water security: The case of the Paraíba do Sul River Basin, São Paulo, Brazil. *The Science of the Total Environment*, 720, 137509. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137509>. PMID:32325571.
- Paraíba. (2021). *Plano Municipal de Saneamento Básico da Paraíba (PMSB): Produto C (Diagnóstico Técnico-Participativo)*. Campina Grande. Recuperado em 24 de maio de 2023, de <https://onedrive.live.com/?authkey=%21ABRkearKgyEDtBw&id=7BD67C08C88DD85%2177158&cid=7BD67C08C88DD85>
- Parra, H. Z. M. (2015). Ciência cidadã: modos de participação e ativismo informacional. In S. Albagli, M. L. Maciel, & A. H. Abdo (Eds.), *Ciência aberta, questões abertas* (pp. 121-141). Rio de Janeiro: UNIRIO.
- Ragsdale, C. T. (2017). *Spreadsheet modelling and decision analysis: a practical introduction to business analytics* (8th ed.). Boston: Cengage Learning.
- Razali, N. M., & Yap, B. W. (2011). Power Comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling Tests. *Journal of Statistical Modeling and Analytics*, 2(1), 21-33.
- Rosa, M., Shimbo, J. Z., & Azevedo, T. (2019). MapBiomias: mapeando as transformações do território brasileiro nas últimas três décadas. In *Anais do VIII Simpósio de Restauração Ecológica: Desafio do Processo Frente à Crise Ambiental*. São Paulo: Instituto de Botânica.

- Rufino, I. A. A., & Silva, S. T. (2017). Análise das relações entre dinâmica populacional, clima e vetores de mudança no Semiárido Brasileiro: uma abordagem metodológica. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 23(1), 166-181. <http://doi.org/10.1590/s1982-21702017000100011>.
- Rufino, I., Djordjević, S., Costa de Brito, H., & Alves, P. B. R. (2021). Multi-temporal built-up grids of Brazilian cities: how trends and dynamic modelling could help on resilience challenges? *Sustainability*, 13(2), 748. <http://doi.org/10.3390/su13020748>.
- Santos, K. A., Rufino, I. A. A., & Barros, M. N. M., Fo. (2017). Impactos da ocupação urbana na permeabilidade do solo: o caso de uma área de urbanização consolidada em Campina Grande – PB. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 22(5), 943-952. <http://doi.org/10.1590/s1413-41522016146661>.
- Silva, L. P., & Faria, G. G. (2019). Análise multitemporal da expansão urbana em Paranaguá/PR a partir do sensoriamento remoto: 1986-2017. *Revista Científica Interdisciplinar*, 5(1), 91-111.
- Sousa, I. C. N., Menzori, I. D., & Braga, R. (2021). Urbanização sustentável: métricas espaciais e tipologias de crescimento. *Caminhos de Geografia*, 22(84), 36-55. <http://doi.org/10.14393/RCG228456557>.
- Souza, C. M., Jr., Shimbo, Z., Rosa, M. R., Parente, L. L., Alencar, A., Rudorff, B. F. T., Hasenack, H., Matsumoto, M., Ferreira, L., Souza-Filho, P. W. M., Oliveira, S. W., Rocha, W. F., Fonseca, A. V., Marques, C. B., Diniz, C. G., Costa, D., Monteiro, D., Rosa, E. R., Vélez-Martin, E., Weber, E. J., Lenti, F. E. B., Paternost, F. F., Pareyn, F. G. C., Siqueira, J. V., Viera, J. L., Ferreira L. C. F., No., Saraiva, M. M., Sales, M. H., Salgado, M. P. G., Vasconcelos, R., Galano, S., Mesquita, V. V., & Azevedo, T. (2020). Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomas with Landsat Archive and Earth Engine. *Remote Sensing*, 12(17), 2735. <http://doi.org/10.3390/rs12172735>.
- Terfa, B. K., Chen, N., Liu, D., Zhang, X., & Niyogi, D. (2019). Urban expansion in Ethiopia from 1987 to 2017: characteristics, spatial patterns, and driving forces. *Sustainability*, 11(10), 2973. <http://doi.org/10.3390/su11102973>.
- Wandl, A., & Magoni, M. (2017). Sustainable planning of peri-urban areas: introduction to the special issue. *Planning Practice and Research*, 32(1), 1-3. <http://doi.org/10.1080/02697459.2017.1264191>.
- Wofuru-Nyenke, O., & Briggs, T. (2022). Predicting demand in a bottled water supply chain using classical time series forecasting models. *Journal of Future Sustainability*, 2(2), 65-80. <http://doi.org/10.5267/j.jfs.2022.9.006>.
- Woldesemayat, E. M., & Genovese, P. V. (2021). Monitoring urban expansion and urban green spaces change in addis ababa: directional and zonal analysis integrated with landscape expansion index. *Forests*, 12(4), 389. <http://doi.org/10.3390/f12040389>.
- Yomo, M., Mourad, K. A., & Gnazou, M. D. T. (2019). Examining water security in the challenging environment in Togo, West Africa. *Water*, 11(2), 231. <http://doi.org/10.3390/w11020231>.
- Zilberstein, B., Santo, M. A., & Carvalho, M. H. (2019). Análise crítica das técnicas de tratamento cirúrgico da obesidade mórbida. *Arquivos Brasileiros de Cirurgia Digestiva*, 32(3), e1450.
- Zubaidi, S. L., Al-Bugharbee, H., Muhsen, Y. R., Hashim, K., Alkhaddar, R. M., & Hmeesh, W. H. (2019). The prediction of municipal water demand in Iraq: a case study of Baghdad Governorate. In *12th International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE)* (pp. 274-277). New York: IEEE. <http://doi.org/10.1109/DeSE.2019.00058>.

Editor: Luciene Pimentel da Silva

Recebido: Fev. 13, 2023

Aprovado: Jul. 10, 2024