XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8581

Dados de baixa resolução no consumo residencial de água: estado da arte e potencialidades

Low-Resolution Data in Residential Water Consumption: State of the Art and Potentialities

Lucas Salomão Rael de Morais
Universidade Federal de Goiás | Goiânia | Brasil | lucas.salomao@ufg.br
Universitat Politècnica de València | València | Espanha | lsraemor@doctor.upv.es
Ricardo Cobacho
Universitat Politècnica de València | València | Espanha | rcobacho@ita.upv.es
Marcus Andre Siqueira Campos
Universidade Federal de Goiás | Goiânia | Brasil | marcus_campos@ufg.br

Resumo

Embora dados em alta resolução ofereçam maior detalhamento para a caracterização e a previsão do consumo residencial de água, sua aplicação ainda enfrenta limitações de disponibilidade tecnológica, escalabilidade e generalização dos resultados. Nesse contexto, dados de baixa resolução constituem uma alternativa viável, acessível e escalável. O objetivo deste estudo é realizar um mapeamento sistemático da literatura sobre o uso de dados de baixa resolução em escala residencial, com resultados aplicados ao nível do domicílio, a fim de identificar o grau de exploração dessa abordagem, bem como suas potencialidades, limitações e aspectos ainda pouco explorados. Foram identificados 11 estudos aderentes ao escopo. Os resultados indicam que essa abordagem permanece relevante, mas que a menor granularidade temporal exige tratamentos estatísticos e técnicas de modelagem robustos. Observou-se uma dissociação entre estudos com modelagem mais sofisticada, que consideram menos variáveis, e estudos com maior número de fatores explicativos, que raramente avançam em previsão. Os achados apontam oportunidades para abordagens mais integradas de previsão e caracterização do consumo.

Palavras-chave: Consumo de água. Baixa resolução. Escala residencial. Mapeamento sistemático. Previsão de demanda.

Abstract

Although high-resolution data provide greater detail for the characterization and forecasting of residential water consumption, their application still faces limitations related to technological availability, scalability, and generalizability of results. In this context, low-resolution data constitute a viable, accessible, and scalable alternative. The aim of this study is to carry out a systematic mapping of the literature on the use of low-resolution data at the residential scale, with results applied at the household level, in order to identify the extent to which this approach has been explored, as well as its potential, limitations, and underexplored aspects. A total of 11 studies met the established scope. The results indicate that this approach remains relevant, but that lower temporal granularity requires more robust statistical treatments and modeling techniques. A dissociation was observed between studies using more sophisticated modeling approaches, which tend to consider fewer variables, and studies including a larger number of explanatory factors, which rarely advance toward forecasting. The findings point to opportunities for more integrated approaches to forecasting and consumption characterization.

MORAIS, L. S. R., COBACHO, R., CAMPOS, M. A. S. Dados de baixa resolução no consumo residencial de água: estado da arte e potencialidades. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 21, 2026, Goiânia. **Anais**... Goiânia: ANTAC, 2026.

Keywords: Water consumption. Low resolution. Residential scale. Systematic mapping. Demand forecasting.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de modelos para investigar o consumo de água a partir de dados históricos envolve, em geral, etapas de coleta, processamento, análise e interpretação dos resultados [1]. Nesse processo, a definição de parâmetros iniciais, como a escala espacial e a resolução temporal adotadas, influencia diretamente as estratégias de coleta, o tratamento das informações e a abordagem metodológica da pesquisa [2].

Nas últimas décadas, o avanço tecnológico e a rápida disseminação dos medidores inteligentes impulsionaram a construção de bancos de dados residenciais em alta resolução, coletados de forma não intrusiva em nível de residência [2]. Apesar disso, essa abordagem ainda enfrenta limitações importantes, como a necessidade de equipamentos especializados com custos associados [3], a maior complexidade de armazenamento e processamento de grandes volumes de dados [4] e a dificuldade de aplicação em larga escala e em condições reais de uso [5].

Além disso, mesmo com o desenvolvimento de tecnologias que facilitam a operação e o suporte técnico dos *smart meters*, esses equipamentos ainda não estão amplamente disponíveis [6]. Em larga escala, os registros de consumo residencial continuam sendo obtidos mensalmente ou em intervalos ainda maiores, muitas vezes por meio de operações manuais sujeitas a diferentes ocorrências que comprometem a qualidade dos dados, como erros de leitura, falhas em equipamentos, dados faltantes e valores anômalos [7,8].

Nesse contexto, dados de baixa e média resolução têm sido apontados como alternativas viáveis para a investigação do consumo residencial de água [9]. Embora não permitam o mesmo nível de detalhamento das assinaturas de vazão obtidas em intervalos de segundos ou minutos, esses dados podem fornecer informações suficientes para a caracterização e a previsão do consumo, além de constituírem uma solução mais econômica e escalável [5].

Diante desse cenário, este estudo tem como objetivo realizar um mapeamento sistemático da literatura sobre o uso de dados de baixa resolução coletados em escala residencial, com resultados aplicados ao nível do domicílio, a fim de identificar o grau de exploração dessa abordagem, sua distribuição ao longo do tempo e sua permanência ou perda de relevância frente às metodologias baseadas em dados de alta resolução.

METODOLOGIA

Para mapear o estado da arte do uso de dados de baixa resolução na caracterização e na previsão do consumo residencial de água, adotou-se um Mapeamento Sistemático da Literatura [10], conduzido segundo os princípios da estrutura PRISMA (*Preferred*

Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) [11] e com suporte da plataforma Parsifal [12].

Considerando o escopo do mapeamento, foram definidas duas expressões de busca: *“("water consumption" OR "water use") AND (domestic OR residential OR household) AND ("time series" OR timeseries OR "time-series" OR "temporal analysis")” e “("water consumption" OR "water use") AND (domestic OR residential OR household) AND ("low resolution" OR "low-resolution")”*. As buscas foram realizadas em janeiro de 2026 nas bases Scopus, ScienceDirect, Engineering Village e Web of Science. A pesquisa foi restrita aos campos de título, resumo e palavras-chave, considerando apenas artigos em língua inglesa, revisados por pares e com acesso ao texto completo.

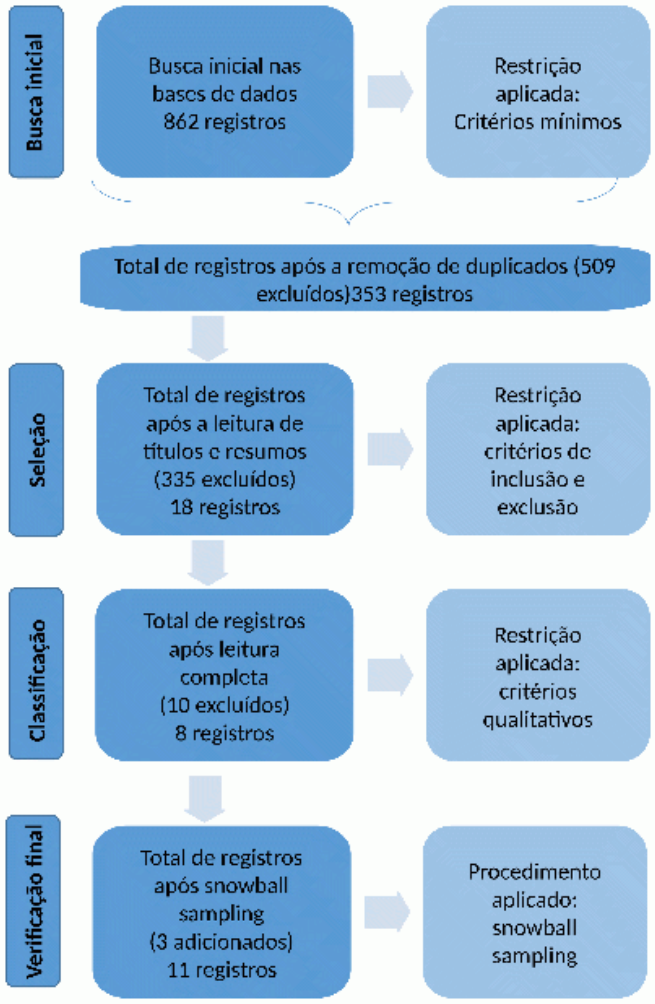
Os resultados foram exportados e importados para a plataforma Parsifal, na qual foram realizadas as etapas de remoção de duplicatas, seleção por leitura de títulos e resumos e classificação de qualidade após leitura completa dos textos (Figura 1). Após esse processo, 8 artigos atenderam aos critérios estabelecidos. Em seguida, aplicou-se o procedimento de *snowball sampling*, que adicionou 3 estudos ao banco final, totalizando 11 artigos incluídos no mapeamento. O detalhamento completo dos critérios de seleção e classificação encontra-se no Apêndice A.

Com a definição do banco final, os estudos foram organizados em planilha-base e submetidos à extração de informações bibliográficas e metodológicas. Os dados foram tratados e padronizados para posterior processamento computacional, com o objetivo de realizar análises descritivas e comparativas da literatura selecionada. Essas análises incluíram: (i) a identificação e quantificação dos objetivos principais dos artigos; (ii) a classificação dos estudos quanto à inclusão de variáveis independentes; (iii) a avaliação da evolução temporal de aspectos metodológicos, como o período de análise, o intervalo de aquisição dos dados e o tamanho da amostra; e (iv) a análise da rede de coautoria entre autores e grupos de pesquisa. O propósito dessas etapas foi caracterizar o perfil metodológico da literatura, identificar tendências recentes e evidenciar lacunas temáticas e de colaboração científica.

Os nomes dos autores foram extraídos manualmente das publicações, harmonizados segundo a convenção de *sobrenome + iniciais abreviadas* e categorizados por artigo e ano de publicação. A análise dos dados foi realizada em Python, com apoio dos pacotes NumPy [13], Matplotlib [14] e pandas [15]. Para a análise dos agrupamentos de autores, os registros de autoria foram convertidos em um arquivo no formato GEXF, posteriormente importado para o Gephi 0.10 [16], onde foram realizados o processamento da rede, a detecção de clusters e a visualização do grafo.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8581

Figura 1: Fluxograma do mapeamento sistemático da literatura



Fonte: os autores.

RESULTADOS

Após todo o processo de execução do mapeamento sistemático da literatura sobre o uso de dados de baixa resolução, em escala residencial, para a caracterização e a previsão do consumo residencial de água, obteve-se um banco de dados composto por 11 artigos que atenderam a todos os requisitos e critérios estabelecidos no escopo da pesquisa. A Tabela 1 apresenta as informações bibliográficas e metodológicas de interesse dos estudos catalogados.

O banco de dados final reúne estudos publicados entre 2007 e 2024, sendo o trabalho mais antigo o de Jacobs [17], e observando-se maior concentração de publicações nos anos mais recentes, com 6 artigos publicados entre 2023 e 2024. Quanto à distribuição geográfica, os Estados Unidos concentraram o maior número individual de estudos (5). Ainda assim, destaca-se também a presença de 5 estudos realizados no Sul Global, sobretudo em países em desenvolvimento. Do ponto de vista metodológico, predominam os estudos de caso, com 7 artigos, embora os estudos de modelagem matemática também representem parcela relevante do conjunto analisado, com 4 ocorrências.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8581

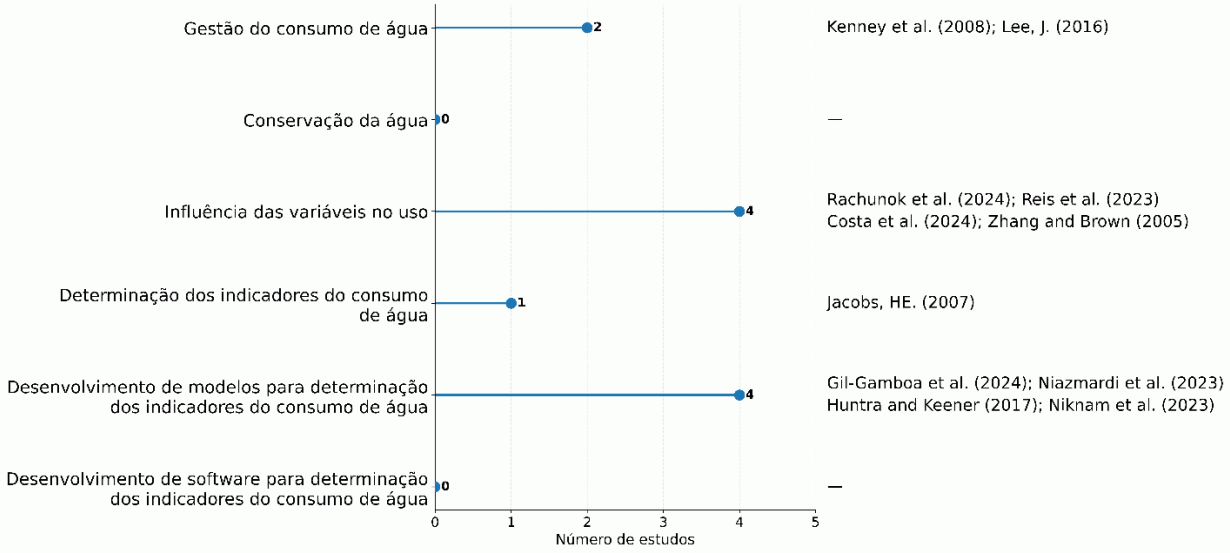
Tabela 1: Dados bibliométricos referentes aos artigos catalogados

Título	Referência	Tipo de estudo	Objetivo principal	Local (país/região)	Período do estudo	Ano de publicação	Abordagem estatística
Residential water demand management: lessons from Aurora, Colorado	[18]	Estudo de caso	Gestão do consumo de água	Estados Unidos da América	1997–2005	2008	Análise econométrica de dados em painel com modelo de efeitos fixos e variáveis instrumentais (FE-IV).
Residential water demand analysis of a Low-Income Rate Assistance Program in California, United States	[19]	Estudo de caso	Gestão do consumo de água	Estados Unidos da América	2002–2011	2016	Comparação estatística com intervalos de tolerância não paramétricos para seleção e pareamento de amostras.
The first reported correlation between end-use estimates of residential water demand and measured use in South Africa	[17]	Estudo de caso	Determinação de indicadores do consumo de água	África do Sul	Não mencionado	2007	Análise baseada em correlação para comparação entre estimativas de uso final e consumo medido.
Predicting and understanding residential water use with interpretable machine learning	[20]	Estudo de caso	Influência das variáveis no uso	Estados Unidos da América	2010–2020	2024	Aprendizagem de máquina interpretável e modelagem estatística preditiva.
Influence of the number of residents and climatic factors on residential water consumption	[21]	Estudo de caso	Influência das variáveis no uso	Brasil	2019–2020	2023	Análise gráfica e estatística, incluindo curvas de tendência, matriz de correlação, boxplots e regressão linear múltipla.
Understanding residential water demand: insights from a survey in a Mediterranean city	[22]	Estudo de caso	Influência das variáveis no uso	Portugal	2022	2024	Análise estatística descritiva e comparativa entre grupos.
Medium-term water consumption forecasting based on deep neural networks	[23]	Modelagem matemática	Desenvolvimento de modelos para determinação de indicadores do consumo de água	Espanha	1999–2015	2024	Clusterização por k-means e modelagem com rede neural profunda feed-forward (DFFNN), com ajuste de hiperparâmetros.
Understanding urban residential water use in Beijing and Tianjin, China	[24]	Estudo de caso	Influência das variáveis no uso	China	1999–2000	2005	Análise estatística multivariada com modelos de regressão múltipla.
Analysis of spatiotemporal household water consumption patterns and their relationship with meteorological variables	[25]	Modelagem matemática	Desenvolvimento de modelos para determinação de indicadores do consumo de água	Irã	2016–2021	2023	Decomposição de séries temporais e análise estatístico-espacial com BEAST.
Evaluating the Impact of Meteorological Factors on Water Demand in the Las Vegas Valley Using Time-Series Analysis: 1990–2014	[26]	Modelagem matemática	Desenvolvimento de modelos para determinação de indicadores do consumo de água	Estados Unidos da América	1990–2014	2017	Previsão por séries temporais e análise multivariada com ARIMA/ARIMAX, análise de correlação, clusterização por k-means e redes neurais LSTM.
A hybrid approach combining the multi-dimensional time series k-means algorithm and long short-term memory networks to predict the monthly water demand according to the uncertainty in the dataset	[6]	Modelagem matemática	Desenvolvimento de modelos para determinação de indicadores do consumo de água	Irã	2011–2020	2023	Detecção de outliers, análise de correlação, clusterização por k-means e previsão com redes neurais LSTM.

Fonte: os autores.

Em relação ao objetivo principal dos artigos analisados (Figura 2), verificou-se que a maioria dos estudos se dedica à determinação de indicadores de consumo de água, seja por meio de estudos de caso, seja pelo desenvolvimento de modelagens matemáticas aplicáveis a dados de baixa resolução em nível residencial. De modo geral, esses estudos recorrem a abordagens estatísticas robustas, que podem envolver técnicas de aprendizagem de máquina supervisionada e não supervisionada, como métodos de clusterização [6,23], decomposições temporais avançadas [25,26] e técnicas de previsão baseadas em aprendizagem profunda e algoritmos mais complexos [6].

Figura 2: Gráfico *lollipop* com o principal objetivo dos trabalhos catalogados no mapeamento



Fonte: os autores.

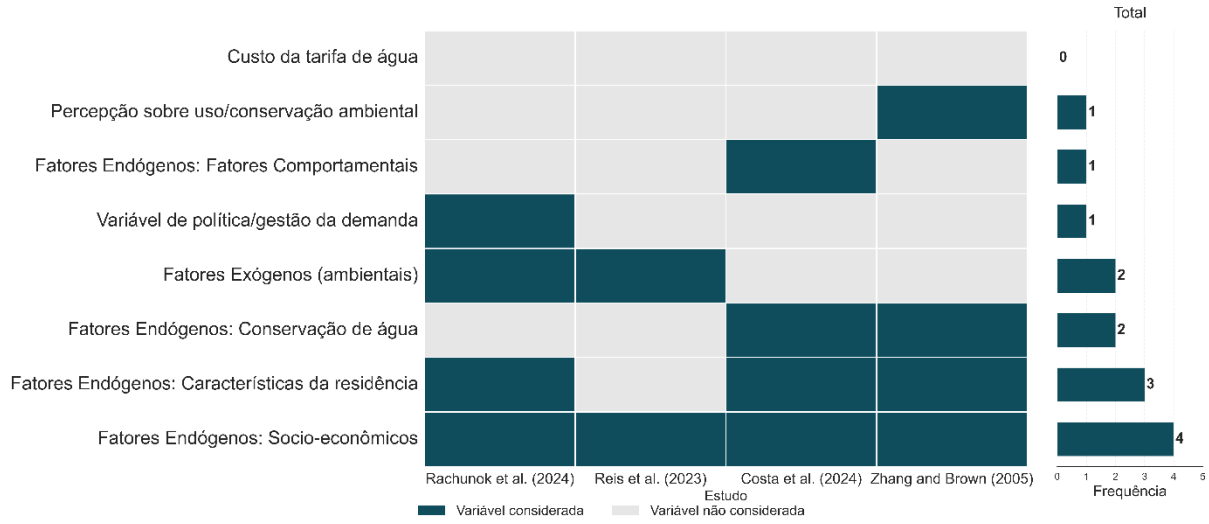
Por outro lado, os estudos cujo objetivo principal foi analisar a influência de variáveis sobre o consumo residencial de água apresentaram escopo explicativo mais amplo. Nesses casos, o consumo residencial de água foi considerado como variável dependente, enquanto diferentes conjuntos de variáveis independentes foram incorporados às análises. Zhang e Brown [24], por exemplo, analisaram 28 variáveis de influência; Costa et al. [22], 22; Rachunok et al. [20], 20; e Reis et al. [21], 4 variáveis.

No conjunto analisado, os estudos classificados como voltados à modelagem matemática apresentam maior ênfase em procedimentos preditivos, de clusterização ou decomposição temporal, enquanto a incorporação ampla de variáveis explicativas aparece com maior destaque nos estudos dedicados à análise de fatores de influência. Assim, os resultados sugerem uma separação entre abordagens predominantemente preditivas e abordagens predominantemente explicativas no uso de dados de baixa resolução para o consumo residencial de água.

Ao se avaliar os grupos de variáveis abordados (Figura 3), observou-se que o grupo mais explorado corresponde aos aspectos endógenos relacionados a fatores socioeconômicos, presentes nos quatro estudos analisados. Esses fatores dizem respeito a características dos usuários, como número de moradores, renda, número

de crianças ou idosos, nível de escolaridade, entre outras. A influência dos custos e das tarifas de água ao longo dos anos não foi explorada por nenhum dos artigos incluídos no levantamento. Aspectos relacionados à autopercepção sobre o consumo de água, ao comportamento de consumo e às variações associadas à gestão da demanda também permanecem pouco explorados, com apenas um estudo abordando cada um desses temas.

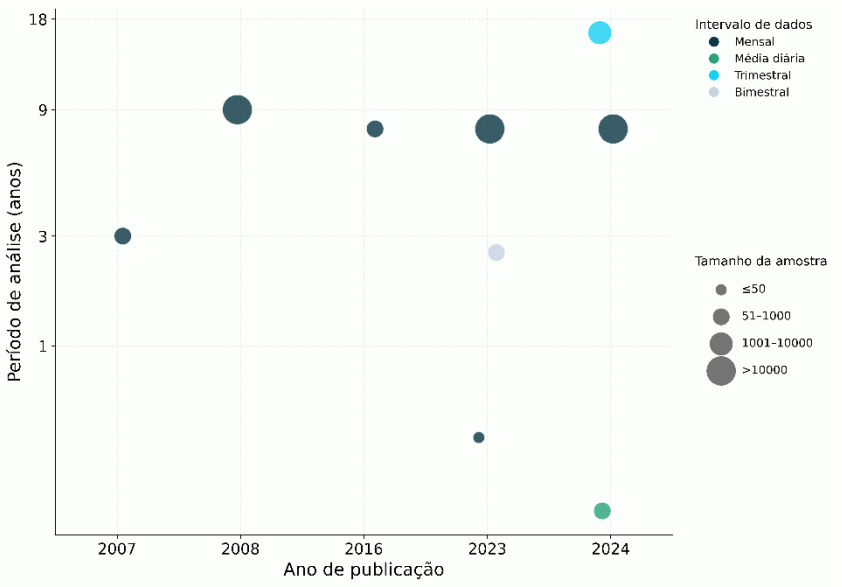
Figura 3: *Heatmap* com o recorte dos artigos referentes à influência de variáveis no uso: grupos de variáveis independentes consideradas na análise



Fonte: os autores.

A Figura 4 apresenta, por sua vez, as características metodológicas dos estudos em função do ano de publicação, considerando o período de análise (anos), o tamanho da amostra (unidades) e o intervalo de coleta de dados (variável categórica). Observa-se que a maioria dos estudos utilizou dados mensais de faturamento como insumo para a investigação, frequentemente associados a longos períodos de monitoramento, próximos de 9 anos. Esse resultado reforça o papel dos dados de baixa resolução em estudos que trabalham com séries históricas mais extensas e com abordagens voltadas à caracterização e à previsão do consumo em horizontes temporais mais amplos.

Figura 4: *Bubble plot* com a avaliação do período de análise, do intervalo de coleta de dados e do tamanho da amostra considerados nos artigos em função do ano de publicação

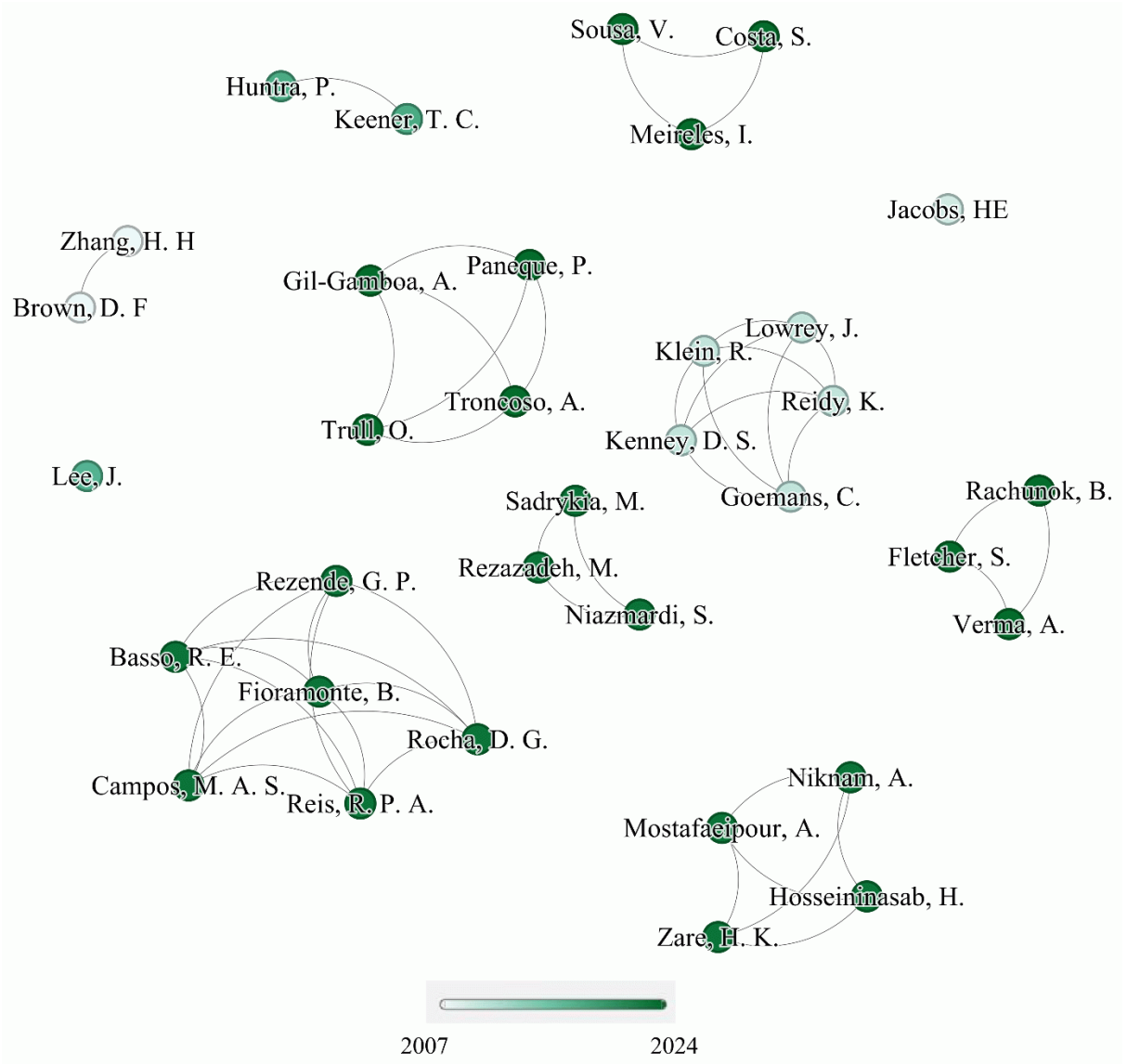


Fonte: os autores.

Em relação ao agrupamento de autores identificado a partir dos artigos levantados, observa-se a ausência de uma rede efetiva de colaboração entre os pesquisadores da área, conforme ilustrado na Figura 5. Nessa representação, cada cluster corresponde aos autores de um único artigo publicado, sem a detecção de conexões entre diferentes clusters, o que evidencia a inexistência de uma rede compartilhada de coautoria entre os pesquisadores incluídos no mapeamento.

Observa-se, ainda, que todos os nós apresentaram o mesmo tamanho, correspondente a uma única publicação por autor. Esse resultado sugere que cada autor contribuiu com apenas um artigo relacionado ao tema de interesse deste levantamento, o que pode indicar certa descontinuidade das pesquisas voltadas ao uso de dados de baixa resolução em nível residencial por parte dos autores envolvidos.

Figura 5: Rede de coautoria dos estudos catalogados



Fonte: os autores.

CONCLUSÕES

O mapeamento sistemático permitiu identificar 11 estudos aderentes ao escopo definido, isto é, trabalhos que utilizaram dados de baixa resolução em escala espacial residencial, com resultados voltados ao nível de domicílio. Esse número reduzido de estudos evidencia que o uso desse tipo de dado na caracterização e na previsão do consumo residencial de água ainda constitui um campo específico e pouco consolidado.

Considerando a presença de publicações recentes, conclui-se que os dados de baixa resolução permanecem relevantes para a investigação do consumo residencial de água, sobretudo por sua viabilidade, acessibilidade e potencial de aplicação em contextos em que dados em alta resolução não estão amplamente disponíveis. Entretanto, sua menor granularidade temporal demanda procedimentos estatísticos e

técnicas de modelagem mais robustos, capazes de lidar com lacunas, inconsistências e menor detalhamento dos registros disponíveis.

Os achados também indicam que a integração entre as abordagens preditivas e explicativas ainda é limitada. Enquanto uma parte dos estudos se concentra no desenvolvimento de modelos matemáticos e técnicas de previsão, outra parcela dedica-se à análise dos fatores que influenciam o consumo. Além disso, a ausência de uma rede consolidada de coautoria e a baixa continuidade temática e metodológica entre os trabalhos reforçam a fragmentação do campo. Dessa forma, conclui-se que há oportunidades para pesquisas futuras que integrem modelos preditivos robustos e variáveis explicativas de forma mais articulada na caracterização e na previsão do consumo residencial de água.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Brasil, e da Universitat Politècnica de València, Espanha.

DECLARAÇÃO

Durante a preparação deste artigo, o primeiro autor utilizou o ChatGPT 5.5 para melhorar a linguagem, a legibilidade e a organização do texto. Após a utilização da ferramenta, os autores revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo do artigo publicado.

REFERÊNCIAS

[1] CARDELL-OLIVER, R. Water use signature patterns for analyzing household consumption using medium resolution meter data. **Water Resources Research**, v. 49, n. 12, p. 8589–8599, dez. 2013.

[2] DI MAURO, A. et al. **Urban water consumption at multiple spatial and temporal scales. A review of existing datasets**. **Water (Switzerland)** MDPI AG, 1 jan. 2021.

[3] DUERR, I. et al. Forecasting urban household water demand with statistical and machine learning methods using large space-time data: A Comparative study. **Environmental Modelling and Software**, v. 102, p. 29–38, 1 abr. 2018.

[4] DI NARDO, A. et al. Divide and Conquer Partitioning Techniques for Smart Water Networks. **Procedia Engineering**, v. 89, p. 1176–1183, 2014.

[5] NGUYEN, K. A.; STEWART, R. A.; ZHANG, H. Transforming residential water end use analysis: unleashing insights from widespread low-resolution smart metering data. **Water Research**, v. 278, 15 jun. 2025.

[6] NIKNAM, A. et al. A hybrid approach combining the multi-dimensional time series k-means algorithm and long short-term memory networks to predict the monthly water demand according to the uncertainty in the dataset. **Earth Science Informatics**, v. 16, n. 2, p. 1519–1536, 1 jun. 2023.

[7] RAZAVI-FAR, R.; SAIF, M. Imputation of missing data using fuzzy neighborhood density-based clustering. **2016 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)**, p. 1834–1841, 2016.

[8] ARISTIAWATI, K. et al. **Missing values imputation based on fuzzy C-Means algorithm for classification of chronic obstructive pulmonary disease (COPD)**. 2019.

[9] ABU-BAKAR, H.; WILLIAMS, L.; HALLETT, S. H. An empirical water consumer segmentation and the characterisation of consumption patterns underpinning demand peaks. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 174, 1 nov. 2021.

[10] FINK, A. **Conducting Research Literature Reviews: From the Internet to Paper**. 4th. ed. [s.l.] SAGE: Newcastle upon Tyne, 2014.

[11] PAGE, M. J. et al. PRISMA 2020 explanation and elaboration: updated guidance and exemplars for reporting systematic reviews. **BMJ**, p. n160, 29 mar. 2021.

[12] **Parsifal. Perform Systematic Literature Reviews**. , 2025. Disponível em: <https://parsif.al/>. Acesso em: 24 out. 2025.

[13] HARRIS, C. R. et al. Array programming with NumPy. **Nature**, v. 585, n. 7825, p. 357–362, 17 set. 2020.

[14] HUNTER, J. D. Matplotlib: A 2D Graphics Environment. **Computing in Science & Engineering**, v. 9, n. 3, p. 90–95, 2007.

[15] ZENODO. **The pandas development team**. Zenodo, , 1 mar. 2026.

[16] BASTIAN, M.; HEYMANN, S.; JACOMY, M. Gephi: An Open Source Software for Exploring and Manipulating Networks. **Proceedings of the International AAAI Conference on Web and Social Media**, v. 3, n. 1, p. 361–362, 19 mar. 2009.

[17] JACOBS, H. The first reported correlation between end-use estimates of residential water demand and measured use in South Africa. **Water SA**, p. 549–558, 2007.

[18] KENNEY, D. S. et al. Residential water demand management: Lessons from Aurora, Colorado. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 44, n. 1, p. 192–207, fev. 2008.

[19] LEE, J. Residential water demand analysis of a Low-Income Rate Assistance Program in California, United States. **Water and Environment Journal**, v. 30, n. 1–2, p. 49–61, 1 mar. 2016.

[20] RACHUNOK, B.; VERMA, A.; FLETCHER, S. Predicting and understanding residential water use with interpretable machine learning. **Environmental Research Letters**, v. 19, n. 1, 1 jan. 2024.

[21] REIS, R. P. A. et al. Influence of the number of residents and climatic factors on residential water consumption. **Water Supply**, v. 23, n. 4, p. 1626–1640, 1 abr. 2023.

[22] COSTA, S.; MEIRELES, I.; SOUSA, V. Understanding residential water demand: insights from a survey in a Mediterranean city. **Urban Water Journal**, v. 21, n. 4, p. 521–537, 2024.

[23] GIL-GAMBOA, A. et al. Medium-term water consumption forecasting based on deep neural networks. **Expert Systems with Applications**, v. 247, 1 ago. 2024.

[24] ZHANG, H. H.; BROWN, D. F. Understanding urban residential water use in Beijing and Tianjin, China. **Habitat International**, v. 29, n. 3, p. 469–491, 2005.

[25] NIAZMARDI, S.; SADRYKIA, M.; REZAZADEH, M. Analysis of spatiotemporal household water consumption patterns and their relationship with meteorological variables. **Urban Climate**, v. 52, 1 nov. 2023.

[26] HUNTRA, P.; KEENER, T. C. **Evaluating the impact of meteorological factors on water demand in the Las Vegas valley using time-series analysis: 1990-2014**. **ISPRS International Journal of Geo-Information** MDPI AG, 1 ago. 2017.