ANÁLISE ESPACIAL DO CONSUMO DOMÉSTICO DE ÁGUA EM MACEIÓ: UMA ABORDAGEM BASEADA EM RENDA E DEMOGRAFIA

Geraldo Arthur Teodozio Boia[1]; Bianca Maria Lima Cruz Pereira [2]; Silmayko Gomes da Silva [3]; Eduarda Pinheiro Barbosa da Silva[4]; Alysson Matheus Pimentel de Morais[5]; Nélia Henriques Callado [6]; Manoel Mariano Neto[7]

RESUMO – A ausência de dados primários de consumo de água por bairro em Maceió dificulta o planejamento setorial e a universalização do acesso. Este trabalho estimou o consumo doméstico de água por bairro integrando dados demográficos e de renda média por meio de ferramentas de geoprocessamento. Foram testados os modelos exponencial e de potência para relacionar renda e consumo per capita. O modelo exponencial mostrou-se superior (R^2 = 0,9467) e foi adotado para as estimativas espaciais. O consumo médio resultante foi de 114,27 L/hab.dia, valor muito próximo ao relatado pelo SINISA (114,83 L/hab.dia), com diferença de apenas 0,49%. Os mapas gerados revelaram forte disparidade intraurbana: bairros da orla apresentaram os maiores consumos per capita (até 153 L/hab.dia), enquanto regiões periféricas e densamente povoadas, como Benedito Bentes, registraram os menores valores, porém alta demanda total (9.650 m³/dia). Os resultados permitem identificar gargalos prioritários para o sistema de abastecimento, alinhando-se às metas do ODS 6. A metodologia mostrou-se eficaz para contornar a ausência de dados primários, oferecendo subsídios à gestão pública e à redução das desigualdades hídricas.

ABSTRACT– The absence of primary water consumption data by neighborhood in Maceió hinders sectoral planning and universal access. This study estimated domestic water consumption per neighborhood by integrating demographic data and average income using geoprocessing tools (QGIS). Exponential and power models were tested to relate income and per capita consumption. The exponential model proved superior (R^2 = 0.9467) and was adopted for spatial estimates. The resulting average consumption was 114.27 L/cap/day, very close to the value reported by SINISA (114.83 L/cap/day), with a difference of only 0.05%. The generated maps revealed strong intra-urban disparities: coastal neighborhoods presented the highest per capita consumption (up to 153 L/cap/day), while peripheral and densely populated areas, such as Benedito Bentes, recorded the lowest values but high total demand (9,650 m³/day). The results allow the identification of priority bottlenecks for the water supply system, aligning with SDG 6 goals. The methodology proved

[1]) CTEC/ PPGRHS / UFAL. Campus A.C. Simões, Av. Lourival Melo Mota, s/n, Cidade Universitária, Maceió - AL, CEP 57072-900. (82) - 3214-1279. geraldo.boia@ctec.ufal.br
[2]) CTEC/ PPGRHS / UFAL. Campus A.C. Simões, Av. Lourival Melo Mota, s/n, Cidade Universitária, Maceió - AL, CEP 57072-900. (82) - 3214-1279. *bianca.pereira@ceca.ufal.br*
[3]) CTEC/ PPGRHS / UFAL. Campus A.C. Simões, Av. Lourival Melo Mota, s/n, Cidade Universitária, Maceió - AL, CEP 57072-900. (82) - 3214-1279. *silmayko.silva@delmiro.ufal.br*
[4]) CTEC/ PPGRHS / UFAL. Campus A.C. Simões, Av. Lourival Melo Mota, s/n, Cidade Universitária, Maceió - AL, CEP 57072-900. (82) - 3214-1279. *eduarda.silva@delmiro.ufal.br*
[5]) CTEC/ PPGRHS / UFAL. Campus A.C. Simões, Av. Lourival Melo Mota, s/n, Cidade Universitária, Maceió - AL, CEP 57072-900. (82) - 3214-1279. *alysson.morais@ctec.ufal.br*
[6]) CTEC/ PPGRHS / UFAL. Campus A.C. Simões, Av. Lourival Melo Mota, s/n, Cidade Universitária, Maceió - AL, CEP 57072-900. (82) - 3214-1279. *ncallado*@ctec.ufal.br
[7]) CTEC/ PPGRHS / UFAL. Campus A.C. Simões, Av. Lourival Melo Mota, s/n, Cidade Universitária, Maceió - AL, CEP 57072-900. (82) - 3214-1279. *manoel.mariano@ctec.ufal.br*

effective to overcome the lack of primary data, providing support for public management and reduction of water inequalities.

Palavras-Chave – Consumo de água; Geoprocessamento; Desigualdade socioeconômica.

INTRODUÇÃO

A gestão dos sistemas de abastecimento de água no Brasil enfrenta desafios crescentes impostos pela urbanização acelerada e pelas profundas desigualdades socioeconômicas que resultam em uma distribuição espacial não uniforme dos serviços de saneamento. Para assegurar o acesso equitativo ao recurso, é fundamental compreender que as cidades sistemas heterogêneos e multivariados, onde os padrões de demanda são diretamente influenciados por fatores socioeconômicos e comportamentais (Paiva *et al.*, 2020; Santos *et al.*, 2024).

Nesse cenário, estudos apontam que, dentre as variáveis intervenientes no consumo: clima, tarifa, as características socioeconômicas da população, como a renda, adquirem papel central na qualidade da estimativa da demanda hídrica *per capita* nas cidades e, portanto, não podem ser ignoradas no planejamento dos sistemas de abastecimento (Lopes *et al*, 2024; Marçal *et al.*, 2024).

A literatura indica que a renda influencia tanto o volume consumido quanto os padrões de uso: em muitos contextos, famílias de maior renda apresentam maiores consumos totais e diferentes hábitos, como maior frequência e duração de usos internos e externos, devido a moradias maiores e com infraestrutura mais robusta, como piscinas e jardins, o que eleva a demanda por água (Dias; Ghisi, 2024; Grespa *et al.*, 2022; Hassein *et al*., 2016). Em contraste, domicílios de baixa renda frequentemente costumam ter consumo médio por pessoa inferior aos padrões adotados pelas companhias de abastecimento, revelando situações de escassez física e econômica; enquanto segmentos mais ricos têm a capacidade de garantirem segurança hídrica mediante pagamento, utilizando outras origens (Khan *et al.*, 2023; Mutono *et al*, 2021).

Pesquisas também mostram que indicadores como renda e perfil socioeconômico estão associados ao consumo de água. Dessa forma, a incorporação direta dessas variáveis, especialmente em situações de ausência de dados, torna-se essencial para projeções de demanda, definição de tarifas, dimensionamento de infraestruturas hídricas e políticas de conservação, de modo a evitar distorções nas estimativas de demandas em áreas vulneráveis e reforçar desigualdades no acesso à água (Abraha *et al.*, 2024; Abdellahi, 2025).

Embora o fator econômico seja considerado importante ao analisar o consumo hídrico, ainda há uma exclusão sistemática do componente associado à renda nos modelos de previsão empregados para a gestão de recursos hídricos (Groppo *et al.*, 2019; Ninkam *et al.*, 2022). Portanto, a integração de fatores espaciais e socioeconômicos é crucial para o planejamento de sistemas de abastecimento

que visem não apenas à eficiência operacional, como também à justiça hídrica e ao atendimento das metas de universalização estabelecidas no marco legal do saneamento (Lopes, 2024).

A situação de Maceió contextualiza essas disparidades em um cenário de necessidade de previsões de demanda baseadas em dados espaciais, com consumo médio estimado em 114,16 litros por habitante a cada dia. Enquanto a média nacional de consumo é de 180,04 litros diários por habitante, disparidades regionais persistem, com o Nordeste apresentando índices de atendimento e consumo inferiores aos das regiões Sul e Sudeste, 172,96 litros/hab.dia e 174,75 litros/hab.dia respetivamente (MCID, 2025).

Assim, o presente trabalho tem por objetivo estimar o consumo doméstico de água por bairro no município de Maceió, a partir da integração de dados demográficos e de renda média, utilizando ferramentas de geoprocessamento.

A pesquisa foca em contornar a ausência de dados primários de consumo por bairro em Maceió, oferecendo uma solução prática e imediatamente aplicável. Os resultados obtidos permitem identificar bairros com consumo *per capita* abaixo dos parâmetros usuais, indicando escassez ou restrição involuntária, e aqueles com padrões elevados de consumo. Esse diagnóstico é essencial para o dimensionamento de redes, a definição de metas de universalização e a priorização de programas de eficiência hídrica, contribuindo diretamente para o alcance do Objetivo de Desenvolvimento Social (ODS) 6: água potável e saneamento para todos (UNITED NATIONS, 2025).

METODOLOGIA

Caracterização da Área de Estudo

O estudo abrange a malha urbana do município de Maceió, capital do estado de Alagoas, com extensão territorial de 509.295 km² e uma população de 957.916 pessoas, segundo IBGE (2022). A análise espacial foi estruturada adotando como unidade territorial de referência os 50 bairros do município (Figura 1).

Esta subdivisão permite avaliar as heterogeneidades intraurbanas, contrapondo os bairros periféricos, marcados pelo adensamento populacional histórico, a insuficiência de abastecimento hídrico e menores rendimentos familiares (Villar *et al.*, 2023), como as zonas de expansão no Benedito Bentes, Antares e Tabuleiro dos Martins em detrimento da região costeira, que concentra os maiores indicativos de verticalização e especulação imobiliária (Cavalcanti *et al.*, 2015).

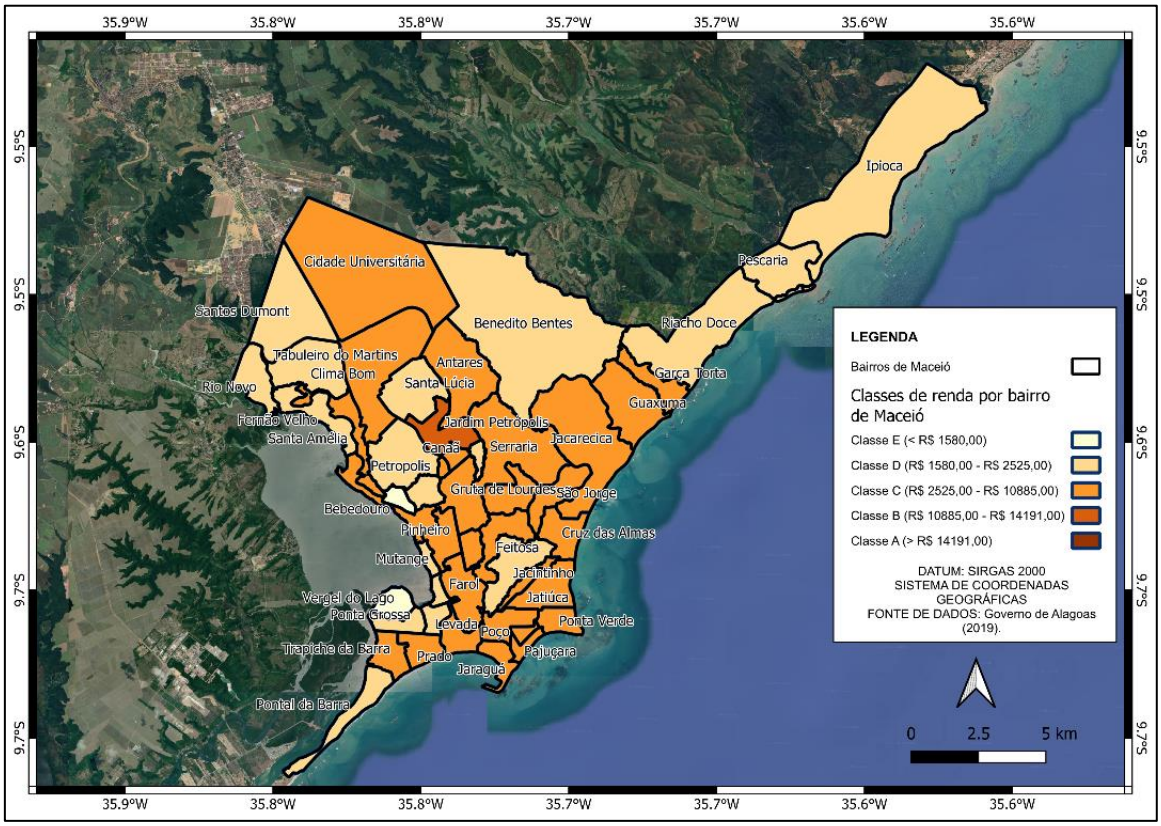


Figura 1 – Classes de renda em Maceió por Bairro.

Procedimentos Metodológicos

A Figura 2 sintetiza o desenvolvimento metodológico adotado em 5 etapas.

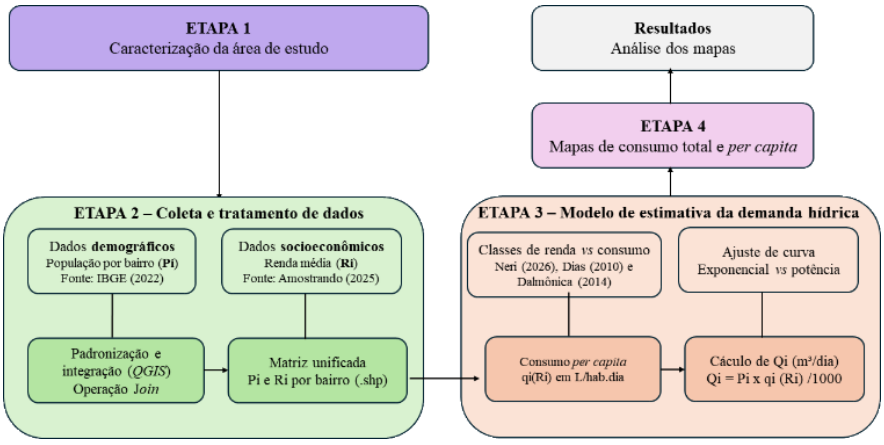


Figura 2 – Fluxograma de execução.

Para o desenvolvimento da estimativa, foram estabelecidas duas variáveis independentes principais: a população residente e a renda mensal média. A base de dados foi construída a partir da integração de duas fontes secundárias:

a) **Dados Demográficos:** A população residente em cada bairro (P_i) foi extraída dos microdados do Censo Demográfico mais recente disponibilizado por IBGE (2022).

b) **Dados Socioeconômicos**: A renda mensal média por bairro (R_i) foi obtida por meio do portal AMOSTRANDO (2025), o qual disponibiliza a renda mensal média por rua de Maceió, em arquivo georreferenciado, no formato .kml.

Antes da integração, realizou-se uma padronização manual das chaves de busca (nomes dos bairros). Esta etapa foi necessária para corrigir discrepâncias de nomenclatura entre as bases (como variações de acentuação, espaços extras ou abreviações), garantindo que um bairro citado no arquivo de renda correspondesse exatamente ao polígono geométrico no arquivo correspondente aos bairros.

A integração final ocorreu em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), por meio do *software Qgis*, onde os atributos de renda (provenientes do arquivo convertido .kml) foram vinculados à tabela de atributos do arquivo .shp dos bairros. Ao final deste procedimento, obteve-se uma matriz unificada contendo, para cada unidade territorial, as variáveis de população residente e renda média, permitindo a aplicação direta das equações de estimativa de consumo hídrico descritas na seção seguinte.

O cálculo da demanda hídrica doméstica partiu da distribuição de classes de renda proposta por Neri (2026) aplicada à parâmetros de consumo estabelecidos por Dias (2010) e Dalmônica (2014). A Tabela 1 traz a classificação atribuída a cada faixa de renda e a demanda hídrica correspondente.

Tabela 1 – Classes econômicas e demanda hídrica

Classe	Faixa de renda (R$)	Demanda hídrica (L/hab.dia)
A	(> 14.191,00)	189,6
B	(10.885,00 a 14.191,00)	135,2
C	(2.525,00 a 10.885,00)	127,8
D	(1.580,00 a 2.525,00)	114,0
E	(< 1.580,00)	106,3

Fonte: adaptado de Neri (2026), Dias (2010) e Dalmônica (2014).

Para encontrar a demanda total de cada bairro, foi definido um valor de consumo per capita (q_i), expresso em litros por habitante ao dia (L/hab.dia), que varia de acordo com a faixa de renda. O consumo total estimado para o bairro (Q_i), em metros cúbicos por dia (m^3/dia), foi calculado a partir da equação 1.

$$Q_i = \frac{P_i \times q_i(R_i)}{1000} \quad (1)$$

Onde:

- (P_i): População do bairro i (habitantes);
- Q_i (R_i): Consumo *per capita* para o bairro i, baseado em sua renda média R_i (L/hab.dia);
- 1000: Fator de conversão de litros (L) para metros cúbicos (m^3).

RESULTADOS

Foram testados dois modelos de relação entre renda média e consumo *per capita*: o modelo exponencial (equação 2) e o modelo de potência (equação 3). Ambos foram ajustados aos pontos representativos das cinco classes sociais apresentados na Tabela 1.

$$\text{Consumo } per\ capita = 103{,}23 \cdot e^{0{,}00029 \cdot Renda} \quad (2)$$

$$\text{Consumo } per\ capita = 30{,}64 \cdot Renda^{0{,}1717} \quad (3)$$

O modelo exponencial (R^2 = 0,9467) mostrou-se estatisticamente superior ao modelo de potência (R^2 = 0,7478), explicando melhor a variabilidade dos dados. Desse modo, o modelo exponencial fornece a melhor representação entre renda média e consumo *per capita* de água em Maceió.

Constatou-se que modelo exponencial captura um crescimento do consumo que, mantém uma taxa relativa aproximadamente constante dentro da faixa de renda observada, comportamento que pode refletir a realidade de uma cidade com forte desigualdade, onde aumentos de renda nas classes mais baixas rapidamente se traduzem em elevação do consumo, contudo o modelo potencial pode ser uma boa escolha nas classes mais altas, onde o consumo tende a se estabilizar próximo a um patamar de saturação. A Figura 3 apresenta os dois ajustes e suas respectivas linearizações.

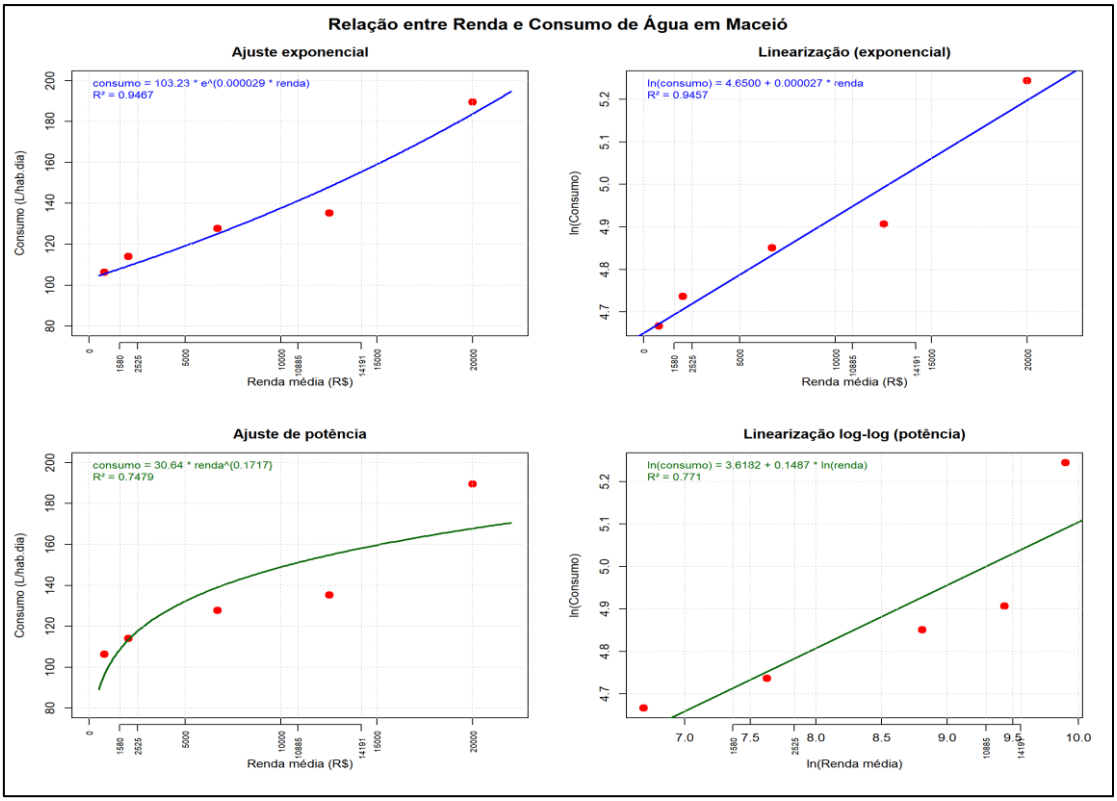
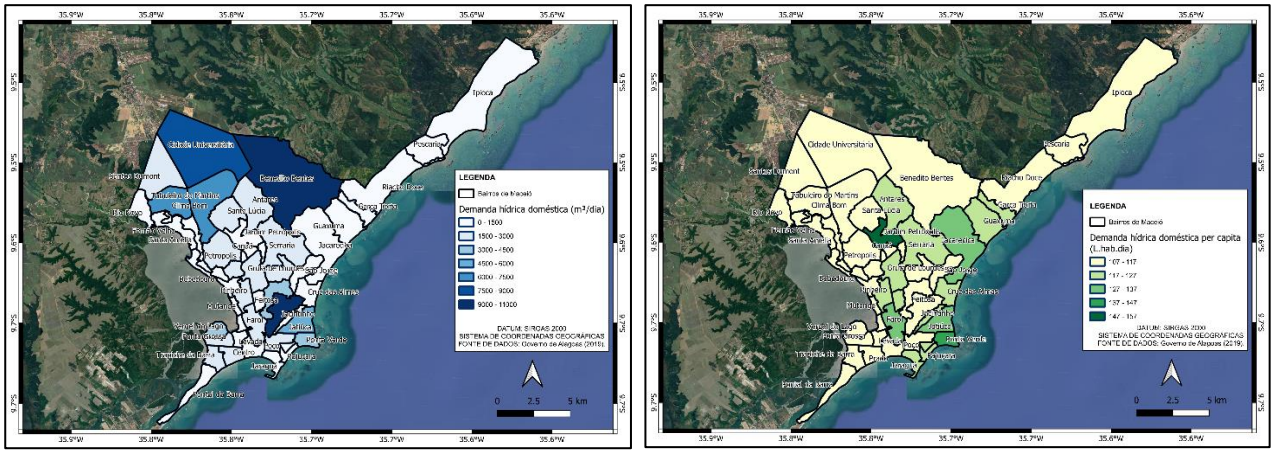


Figura 3 – Ajustes exponencial e de potência e suas respectivas linearizações para a estimativa do consumo doméstico *per capita* a partir da renda média

Estimativas do consumo de água pelo modelo exponencial

A Figura 4 traz a demanda hídrica doméstica total (4a) e a demanda hídrica doméstica *per capita* (4b) por bairro. Percebe-se que bairros periféricos como Cidade Universitária e Benedito Bentes (4a), apesar de apresentarem um baixo consumo *per capita*, a análise corrobora que constituem grandes centros populacionais que necessitam de uma grande oferta hídrica.



(a) Demanda hídrica doméstica por bairro (m³/dia) (b) Demanda hídrica *per capita* (L/hab.dia)

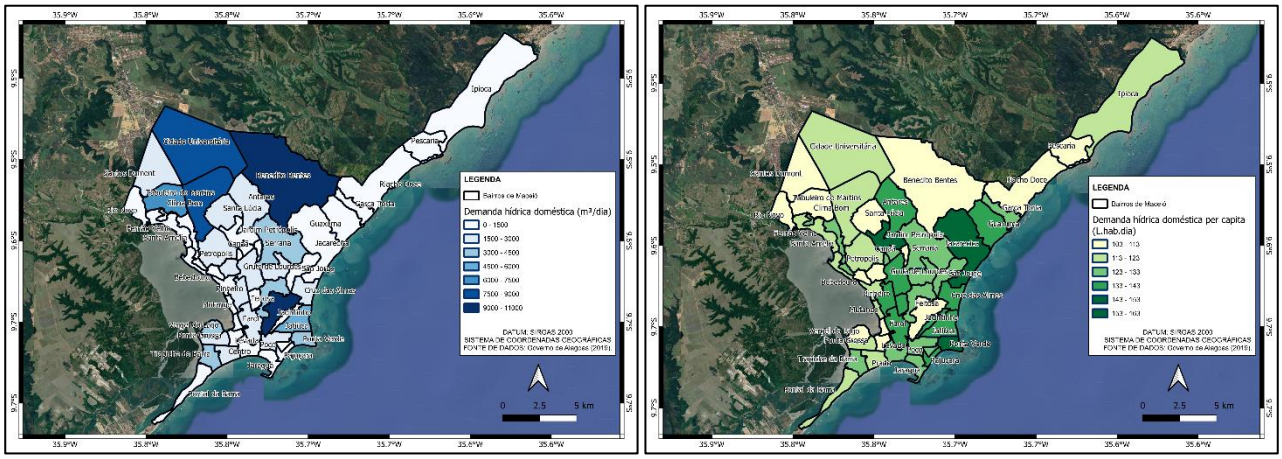
Figura 4 - Comparativo entre a demanda hídrica doméstica pelo ajuste exponencial

Os resultados convergiram para um consumo médio *per capita* de 114,27 L/hab.dia muito próximo do valor de 114,83 encontrado por MCID (2025), apenas 0,49% de variação. O maior consumo *per capita* (153,16 L/hab.dia) deu-se no Jardim Petrópolis devido à presença de residências de alto padrão nessa região, por outro lado, a menor taxa individual (106,87 L/hab.dia) ocorre na região da Chã de bebedouro. Também é possível observar uma clara tendência de demanda *per capita* mais elevada nos bairros costeiros mais centralizados como Ponta Verde, Jatiúca e Jacarecica.

Quanto à demanda hídrica diária por bairro, Benedito Bentes e Jacintinho se destacam como os maiores consumidores, com 9.650 e 9.380 m³/dia, respectivamente. O consumo médio deu-se em torno de 4.636,7 m³/dia por bairro, tendo os menores consumos nos entornos da orla lagunar, região que sofre com uma alta diáspora populacional, e no litoral norte, em ambas os valores não superam 3.000 m³/dia.

Estimativas do consumo de água pelo modelo potencial

Analogamente ao que foi feito no modelo exponencial, a Figura 5 traz a demanda hídrica doméstica total (5a) e a demanda hídrica doméstica per capita (5b) por bairro. Os resultados convergiram para um consumo médio *per capita* de 120,94 L/hab.dia, 5,3% acima do consumo médio da cidade. A principal variação em relação ao modelo anterior foi a reacomodação de classes intermediárias para mais segmentos da cidade, mantendo-se a distribuição entre as classes extremas.



(a) Demanda hídrica doméstica por bairro (m³/dia) (b) Demanda hídrica *per capita* (L/hab.dia)

Figura 5 - Comparativo entre a demanda hídrica doméstica pelo ajuste potencial

Quanto à demanda hídrica diária por bairro, Benedito Bentes e Jacintinho se destacam como os maiores consumidores, com 9.990 e 9500 m³/dia, respectivamente. O consumo médio deu-se em torno de 4.856,52 m³/dia por bairro. Ademais, manteve-se o mesmo padrão dentre as classes de consumo, com um leve sobressalto de valores com a elevação de classificação do bairro do Tabuleiro dos Martins.

CONCLUSÃO

O objetivo do trabalho consistiu em estimar o consumo doméstico de água por bairro em Maceió, a partir da integração de dados demográficos e de renda média. Para tanto, foram utilizados dois modelos matemáticos: exponencial e potencial. O modelo exponencial ($R^2 = 0,9467$) mostrou-se superior ao de potência e o consumo médio estimado (114,27 L/hab.dia) praticamente coincide com o valor de referência do SINISA (114,83 L/hab.dia), validando a metodologia.

Os mapas evidenciaram forte contraste intraurbano: bairros da orla apresentam consumo *per capita* elevado (até 153 L/hab.dia), enquanto periferias densas como Benedito Bentes exibem baixo consumo *per capita*, porém, alta demanda total (9.650 m³/dia).

A identificação de gargalos prioritários permite direcionar investimentos para redução de perdas, regularização do abastecimento e universalização do acesso, contribuindo para mitigar a insegurança hídrica, conforme o ODS 6. Ademais, a metodologia mostra-se replicável em outros municípios com escassez de dados primários.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL).

REFERÊNCIAS

ABDELLAHI, E. A. S. *et al*. (2025). "*Forecasting urban water demand in Ben Guerir Morocco using statistical and machine learning methods*". Discover Sustainability, [*s. l.*], v. 6, n. 1, id. 1205, pp. 1-20. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s43621-025-02086-9. Acesso em: 28 mai. 2026.

AMOSTRANDO (2025). "*Mapa de renda de Maceió - Alagoas: dados IBGE*". [*S. l.*]: Amostrando. Disponível em: https://rendaibge.amostrando.com.br/. Acesso em: 10 mai. 2026.

CAVALCANTI, V.; FARIA, G.; COSTA, V.; DA SILVA, L.; DE MOURA, L. (2015). "*Empreendimentos e ações públicas e privadas em Maceió/AL no início do milênio*". Paisagem e Ambiente. pp. 11-33. Disponível: https://doi.org/10.11606/issn.2359-5361.v0i36p11-33. Acesso em: 03 maio 2026.

DALMÔNICA, Alice Henrique. (2014) "*Análise de fatores influenciadores do consumo de água em Uberlândia: o caso do Setor Sul*". Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 85 p.

DIAS, David Montero; MARTINEZ, Carlos Barreira; LIBÂNIO, Marcelo. (2010). "*Avaliação do impacto da variação da renda no consumo domiciliar de água*". Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, pp. 155-166.

DIAS, T. F.; GHISI, E. (2024). "*Urban Water Consumption: A Systematic Literature Review"*. Water, [s. l.], v. 16, n. 6. Disponível em: https://doi.org/10.3390/w16060838. Acesso em: 27 maio 2026.

GROPPO, Gustavo de Souza; COSTA, Marcelo Azevedo; LIBÂNIO, Marcelo. Predicting water demand: a review of the methods employed and future possibilities. Water Supply, [in press], 2019. Disponível em: https://iwaponline.com/ws/article-pdf/doi/10.2166/ws.2019.122/600584/ws2019122.pdf. Acesso em: 25 maio 2026. DOI: https://doi.org/10.2166/ws.2019.122.

GRESPAN, Alice; GARCIA, Janine; BRIKALSKI, Miqueias Paulo; HENNING, Elisa; KALBUSCH, Andreza. (2022). *"Assessment of water consumption in households using statistical analysis and regression trees"*. Sustainable Cities and Society, v. 87, 104186. pp. 1-13. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104186. Acesso em: 27 maio 2026.

HUSSIEN, Wa'el A.; MEMON, Fayyaz A.; SAVIC, Dragan. (2016). "*Assessing and Modelling the Influence of Household Characteristics on Per Capita Water Consumption*. Water Resources Management, v. 30. pp. 2931-2955. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s11269-016-1314-x. Acesso em: 27 maio 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). "*Maceió: panorama: Censo 2022"*. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/al/maceio.html. Acesso em: 23 maio 2026.

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". 2024. 65 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Recursos Hídricos) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2024.

MARCAL, Juliana; *et al*. (2024). "*Assessing inequalities in urban water security through geospatial analysis".* PLOS Water, v. 3, n. 2, e0000213. Disponível em: https://doi.org/10.1371/journal.pwat.0000213. Acesso em: 24 maio 2026.

MINISTÉRIO DAS CIDADES (MCID). Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (2025). "*Relatório dos serviços de abastecimento de água*: SINISA 2025 ano de referência 2024". Brasília: Ministério das Cidades. 35 p.

NIKNAM, Azar et al. "*A Critical Review of Short-Term Water Demand Forecasting Tools-What Method Should I Use?"*. Sustainability, v. 14, n. 9, 5412, p. 1-25, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su14095412. Acesso em: 25 mai. 2026.

LOPES, T. M. X. M.; SILVA; S. M. O., SAMPAIO, L. S.; SOARES, R. B. (2024). *"Water and socioeconomic inequalities: spatial analysis of water consumption in Brazil". Urban Water Journal*, *21*(9), pp. 1056–1070. Disponível em: https://doi.org/10.1080/1573062X.2024.2397791 Acesso em: 25 mai. 2026.

PAIVA, A. C. E. *et al.* (2020) "*Urban expansion and its impact on water security: the case of the Paraíba do Sul River Basin, São Paulo, Brazil"*. Science of the Total Environment, v. 720. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137509 Acesso em: 24 mai. 2026.

SANTOS, Vanessa Silva; GADEA, Anderson; COHIM, Eduardo. (2024). "*Stochastic model applied to water demand management in Brazil*". Water Supply, v. 24, n. 3, pp. 692-706. Disponível em: https://doi.org/10.2166/ws.2024.011. Acesso em: 24 mai. 2026.

UNITED NATIONS. (2025). "*The Sustainable Development Goals Report*". Department of Economic and Social Affairs, Sustainable Development. Disponível em: https://sdgs.un.org/goals/goal6. Acesso em: 28 maio 2026.

VILLAR, I., De Lima; E., CALIXTER, A.; ROMERO, M. (2023). "*Racial social inequalities in the mapping of COVID-19 in Maceió, Alagoas, Brazil"*. Concilium. Disponível em: https://doi.org/10.53660/clm-1362-23f35. Acesso em: 22 maio 2026.