XVIII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE
XVIII ENCONTRO DE RECURSOS HÍDRICOS EM SERGIPE

SANEAMENTO E DOENÇAS DE VEICULAÇÃO HÍDRICA EM ALAGOAS: ANÁLISE ESPACIAL COMPARATIVA ENTRE 2010 E 2022

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

RESUMO – O saneamento básico é um dos principais determinantes sociais da saúde, e sua precariedade associa-se à ocorrência de doenças de veiculação hídrica. Este trabalho teve como objetivo correlacionar os indicadores de abastecimento de água, esgotamento sanitário e coleta de lixo com as taxas de incidência de dengue, leishmaniose, leptospirose e esquistossomose no estado de Alagoas, comparando os anos de 2010 e 2022. Foram utilizados dados do IBGE e do DATASUS, agregados por município, sobre os quais se aplicaram a correlação de Pearson e a análise de autocorrelação espacial local (LISA). Os indicadores de saneamento apresentaram forte correlação, evidenciando a persistência de condições mais precárias no Agreste Central, em contraste com a faixa litorânea. As correlações entre saneamento e doenças, fracas em 2010, tornaram-se negativas em 2022, com destaque para a dengue, cujos aglomerados de alta incidência passaram a se concentrar nas áreas urbanizadas e mais bem servidas do litoral. A leptospirose e a esquistossomose mantiveram aglomerados estáveis na zona da mata e nas várzeas. Conclui-se que os indicadores domiciliares de saneamento não captam plenamente o risco ambiental das doenças de veiculação hídrica. Sugere-se agregar, em estudos futuros, dados de renda, urbanização e políticas públicas de acesso à saúde.

ABSTRACT – Basic sanitation is one of the main social determinants of health, and its precariousness is associated with the occurrence of waterborne diseases. This study aimed to correlate indicators of water supply, sewage disposal, and garbage collection with the incidence rates of dengue fever, leishmaniasis, leptospirosis, and schistosomiasis in the state of Alagoas, comparing the 2010 and 2022 census. Data from IBGE and DATASUS, aggregated by municipality, were used, and Pearson's correlation and local spatial autocorrelation analysis (LISA) were applied. The sanitation indicators showed strong correlations with each other, with precariousness persistently concentrated in the Central Agreste Region, in contrast to the coastal strip. The correlations between sanitation and disease, weak in 2010, became negative in 2022, particularly for dengue fever, whose high-incidence clusters shifted to the more urbanized and better-served coastal areas. Leptospirosis and schistosomiasis maintained stable clusters in the Atlantic Forest and floodplains. It is concluded that household sanitation indicators do not fully capture the environmental risk of waterborne diseases. It is suggested that future studies should include data on income, urbanization, and public health access policies.

Palavras-Chave – Saneamento básico; Doenças de veiculação hídrica; Análise espacial.

[1]Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal de Alagoas (UFAL). E-mail: bianca.pereira@ceca.ufal.br
[2]Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal de Alagoas (UFAL). E-mail: geraldo.arthur.boia@gmail.com
[3]Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal de Alagoas (UFAL). E-mail: eduarda.silva@delmiro.ufal.br
[4]Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal de Alagoas (UFAL). E-mail: alysson.morais@ctec.ufal.br
[5]Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal de Alagoas (UFAL). E-mail: silmayko.silva@delmiro.ufal.br
[6]Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal de Alagoas (UFAL). E-mail: ncallado@ctec.ufal.br
[7]Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal de Alagoas (UFAL). E-mail: manoel.mariano@ctec.ufal.br

INTRODUÇÃO

O acesso aos serviços de saneamento básico é reconhecido como um dos mais importantes determinantes sociais da saúde. A precariedade ou a ausência de infraestruturas de abastecimento de água, esgotamento sanitário e manejo de resíduos sólidos está diretamente associada à persistência de doenças de veiculação hídrica, que afetam desproporcionalmente populações em situação de vulnerabilidade socioeconômica (Ferreira *et al.*, 2021; Sharma Waddington *et al.*, 2023).

No Brasil, as desigualdades regionais no acesso ao saneamento permanecem profundas, refletindo processos históricos de ocupação e segregação espacial (Boing *et al.*, 2020). A literatura é consistente nessa associação: Leal *et al.* (2021) demonstraram que a proximidade de domicílios a esgotos a céu aberto e o acúmulo de lixo estão associados à transmissão de hepatite A no Pará, enquanto Carneiro e Ribeiro (2024) identificaram que bairros de Belém com piores índices de coleta de esgoto concentram os maiores números de casos de leptospirose e dengue.

O estado de Alagoas figura entre as unidades da federação com os piores indicadores de saneamento e as mais altas taxas de morbimortalidade por doenças relacionadas à água. O Nordeste brasileiro possui uma das menores coberturas de abastecimento hídrico do país (Araújo *et al.*, 2022), e Alagoas apresentou, em 2010, o menor IDHM da região (0,564) (Cavalcanti *et al.*, 2019). Estudos epidemiológicos apontam o estado como área de elevada endemicidade para esquistossomose e leptospirose (Paz *et al.*, 2020; Poague *et al.*, 2020), enquanto a dengue e a leishmaniose têm sua proliferação favorecida por práticas inadequadas de armazenamento de água e acúmulo de resíduos sólidos (Novaes *et al.*, 2022; Khalil *et al.*, 2021).

A maioria dos estudos que relacionam saneamento e saúde no Brasil utiliza unidades de análise municipais ou estaduais, que tendem a ocultar desigualdades intraurbanas. A análise em escala de município, aliada a técnicas de autocorrelação espacial, permite identificar com maior precisão os territórios onde a carência de infraestrutura sanitária coexiste com altas taxas de incidência de doenças (Rego *et al.*, 2013).

Diante desse contexto, este artigo tem como objetivo correlacionar os indicadores de abastecimento de água, esgotamento sanitário e coleta de lixo com as taxas de incidência de dengue, leishmaniose, leptospirose e esquistossomose no estado de Alagoas, utilizando dados censitários de 2010 e 2022 e análise de autocorrelação espacial local (LISA).

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

Alagoas, localizado na região Nordeste do Brasil (Figura 1), apresenta importantes desafios socioeconômicos e estruturais que influenciam diretamente as condições de saúde da população. O estado possuía, em 2022, uma população de aproximadamente 3,12 milhões de habitantes, com predominância urbana (73,6%), distribuída em 102 municípios (IBGE, 2024).



Figura 1 – Mapa de localização do Estado de Alagoas.

No estado de Alagoas, apenas 71,4% da população é atendida por redes de abastecimento de água, enquanto a cobertura por redes de esgoto atinge apenas 21,0%. Em relação ao manejo de resíduos sólidos, a coleta alcança 88,4% da população. Além disso, 65 localidades ainda não elaboraram seus planos de saneamento básico (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2024).

Em 2010, Alagoas apresentou o maior índice de vulnerabilidade infantil da região, evidenciando a persistência de desigualdades sociais e econômicas que impactam diretamente a qualidade de vida da população (Cavalcanti *et al.*, 2019).

Procedimentos metodológicos

Foram utilizados indicadores de saneamento básico disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para os anos de 2010 e 2022 (IBGE, 2012; IBGE, 2024). Os indicadores foram agrupados em três dimensões: abastecimento de água, esgotamento sanitário e manejo de resíduos sólidos.

Na dimensão abastecimento de água, considerou-se como condição favorável o atendimento por rede geral de distribuição, enquanto o abastecimento por poço ou nascente, água da chuva armazenada em cisterna e outras formas de abastecimento foram classificados como desfavoráveis.

Para o esgotamento sanitário, foram considerados favoráveis os domicílios atendidos por rede geral ou pluvial e por fossa séptica, sendo as demais categorias (fossa rudimentar, vala, lançamento em rio, lago ou mar, outro tipo de escoadouro e ausência de banheiro ou sanitário exclusivo) classificadas como desfavoráveis. Em relação ao manejo de resíduos sólidos, apenas os domicílios com lixo coletado foram considerados em condição favorável, enquanto a queima, o enterramento, o descarte em terrenos baldios, logradouros, corpos hídricos e outros destinos foram classificados como desfavoráveis. Essa classificação seguiu a metodologia adotada por Boing *et al.* (2020).

Quanto aos dados epidemiológicos, foram utilizadas as notificações de casos de dengue, leishmaniose, leptospirose e esquistossomose disponibilizadas pelo DATASUS para os anos de 2010 e 2022 (BRASIL, 2022). Adicionalmente, empregaram-se os dados vetoriais referentes aos limites municipais disponibilizados pelo IBGE (IBGE, 2023).

Os dados dos setores censitários foram organizados e agregados em escala municipal. Posteriormente, foram integrados aos dados epidemiológicos e associados à malha vetorial dos municípios por meio da vinculação do código municipal, possibilitando a espacialização e análise integrada das variáveis consideradas no estudo.

Em ambiente de planilha eletrônica, foram calculados indicadores percentuais relacionados às condições de saneamento, obtidos pela razão entre o número de domicílios atendidos por determinado serviço e o total de domicílios de cada município. Também foram calculadas as taxas de incidência das doenças, determinadas pela razão entre o número de casos notificados e a população residente. Posteriormente, as variáveis foram agrupadas em categorias classificadas como favoráveis ou desfavoráveis às condições de saneamento.

As análises estatísticas foram realizadas no software RStudio (R versão 4.5.2), por meio da correlação entre os indicadores de saneamento classificados como desfavoráveis e as taxas de casos por habitante das doenças analisadas, utilizando a biblioteca *corrplot*. Adicionalmente, foram elaborados mapas temáticos no QGIS para representação espacial das variáveis estudadas.

Também foi realizada análise de autocorrelação espacial local (LISA – *Local Indicators of Spatial Association*), utilizando o complemento R Spatial Analysis do QGIS. Os setores foram então classificados como *Alta-Alta* (valor alto cercado por vizinhos altos), *Baixa-Baixa* (valor baixo cercado por vizinhos baixos), *Alta-Baixa* (valor alto com vizinhos baixos), *Baixa-Alta* (valor baixo com vizinhos altos) ou não significativos. Os resultados foram incorporados à camada original e exportados

como um novo shapefile, posteriormente utilizado na elaboração dos mapas temáticos no QGIS.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Correlação entre os indicadores

A Figura 2 apresenta as correlações de Pearson entre os indicadores de saneamento desfavorável e as taxas de incidência das doenças para os anos de 2010 e 2022. Observam-se associações mais intensas entre os próprios indicadores de saneamento, com destaque para a correlação entre inadequações relacionadas ao manejo de resíduos sólidos e ao abastecimento de água (r = 0,72 em 2010; r = 0,60 em 2022). A manutenção dessas correlações positivas ao longo do período indica que as deficiências de saneamento tendem a ocorrer simultaneamente nos mesmos municípios, caracterizando áreas com maior vulnerabilidade sanitária.

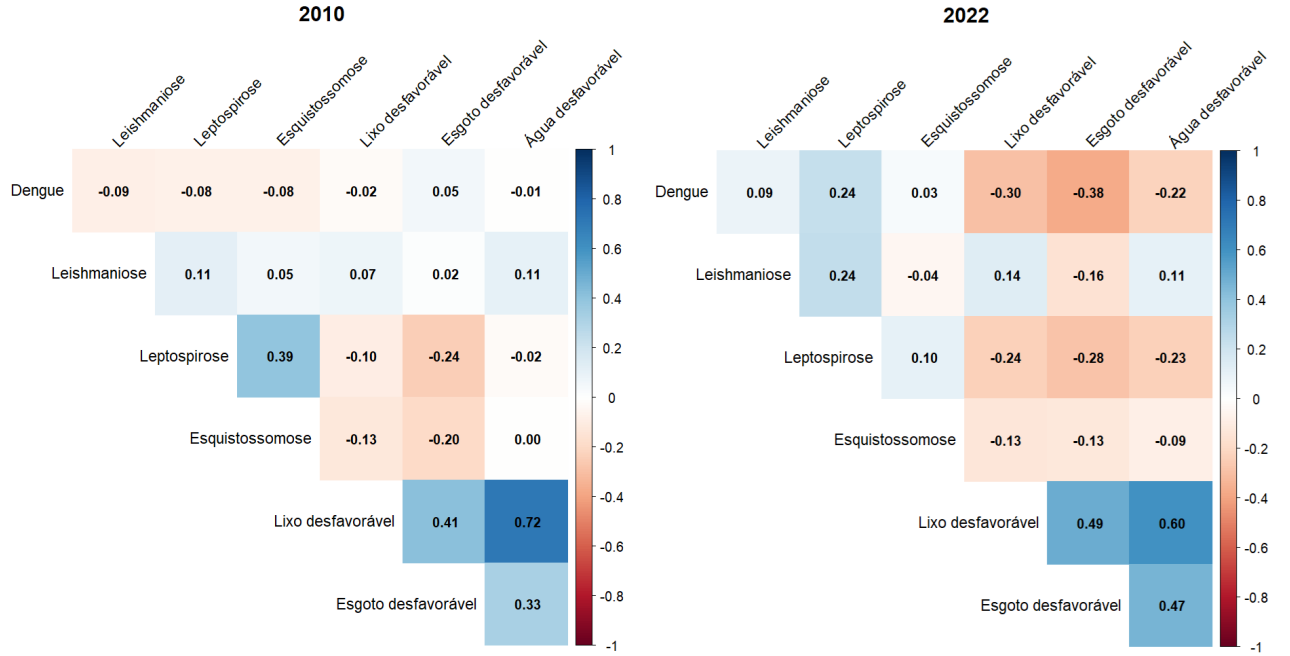


Figura 2 – Matriz de correlação de Pearson entre as variáveis de saneamento e de doenças, por ano.

Adicionalmente, a redução da intensidade da correlação entre resíduos sólidos e abastecimento de água, associada ao fortalecimento das relações envolvendo o esgotamento sanitário, sugere que os avanços observados ao longo da década ocorreram de maneira heterogênea entre os diferentes componentes do saneamento básico, com ritmos distintos de melhoria entre os serviços analisados.

As correlações entre as doenças e os indicadores de saneamento foram, em sua maioria, fracas em 2010 e passaram a apresentar valores predominantemente negativos em 2022. O caso mais expressivo foi o da dengue, que evoluiu de correlações próximas de zero para correlações negativas moderadas com os três indicadores (lixo: $-0,30$; esgoto: $-0,38$; água: $-0,22$). A leptospirose apresentou comportamento semelhante, enquanto a esquistossomose manteve correlações negativas fracas com esgoto e lixo nos dois períodos. Já a leishmaniose apresentou correlações fracas e sem direção consistente.

Embora esses resultados possam parecer contraintuitivos, sugerem um possível viés ecológico, e não uma relação causal direta entre melhores condições de saneamento e maior incidência das doenças (Sodré *et al.*, 2024). Isso ocorre porque os indicadores de saneamento desfavorável tendem a se concentrar em municípios mais rurais e menos adensados.

A correlação negativa entre lixo desfavorável e dengue ilustra esse padrão. Como a variável está associada à ausência de coleta direta, predominante em áreas rurais, municípios com piores condições de coleta tendem a apresentar menor urbanização e, consequentemente, menor incidência notificada da doença. Para a leptospirose, o padrão também foi negativo em 2022, resultado coerente com sua concentração espacial na Zona da Mata, região que apresenta melhores condições de saneamento em comparação ao Sertão. Nesse caso, fatores ambientais parecem exercer maior influência sobre a transmissão do que as condições domiciliares de saneamento. Esse comportamento é compatível com os achados de Khalil *et al.* (2021), que destacam o papel da exposição ambiental, e com os resultados observados por Carneiro e Ribeiro (2024), em Belém.

Para a esquistossomose, as correlações com abastecimento de água permaneceram praticamente nulas e apenas fracamente negativas com esgoto e lixo. Considerando que sua transmissão ocorre em corpos hídricos superficiais, os indicadores domiciliares de saneamento tendem a não representar adequadamente o risco de exposição. Nesse sentido, Rego *et al.* (2013) destacam que variáveis ambientais, como proximidade a coleções hídricas, apresentam maior capacidade explicativa para doenças de ciclo aquático.

Entre as próprias doenças, observou-se ainda uma reorganização das associações, com redução da correlação entre leptospirose e esquistossomose de 0,39 em 2010 para 0,10 em 2022.

Autocorrelação espacial

Devido à alta correlação verificada entre as variáveis de saneamento, optou-se por representar no mapa de autocorrelação espacial LISA (Figura 3) um único Indicador de Saneamento Desfavorável (ISD), formado pela soma das proporções dos três indicadores. A leishmaniose, embora incluída na matriz de correlação, não foi representada nos mapas LISA por não ter apresentado autocorrelação espacial global significativa (I de Moran não significativo, $p > 0{,}05$), o que indica ausência de padrão espacial detectável na escala municipal.

O ISD revela um núcleo de alta precariedade persistente no Agreste Central, enquanto a faixa litorânea da Região Metropolitana de Maceió concentra os aglomerados Baixa–Baixa, que se adensam no período. Arapiraca destaca-se como baixa precariedade cercada por vizinhos de alta, coerente com seu papel de polo urbano regional.

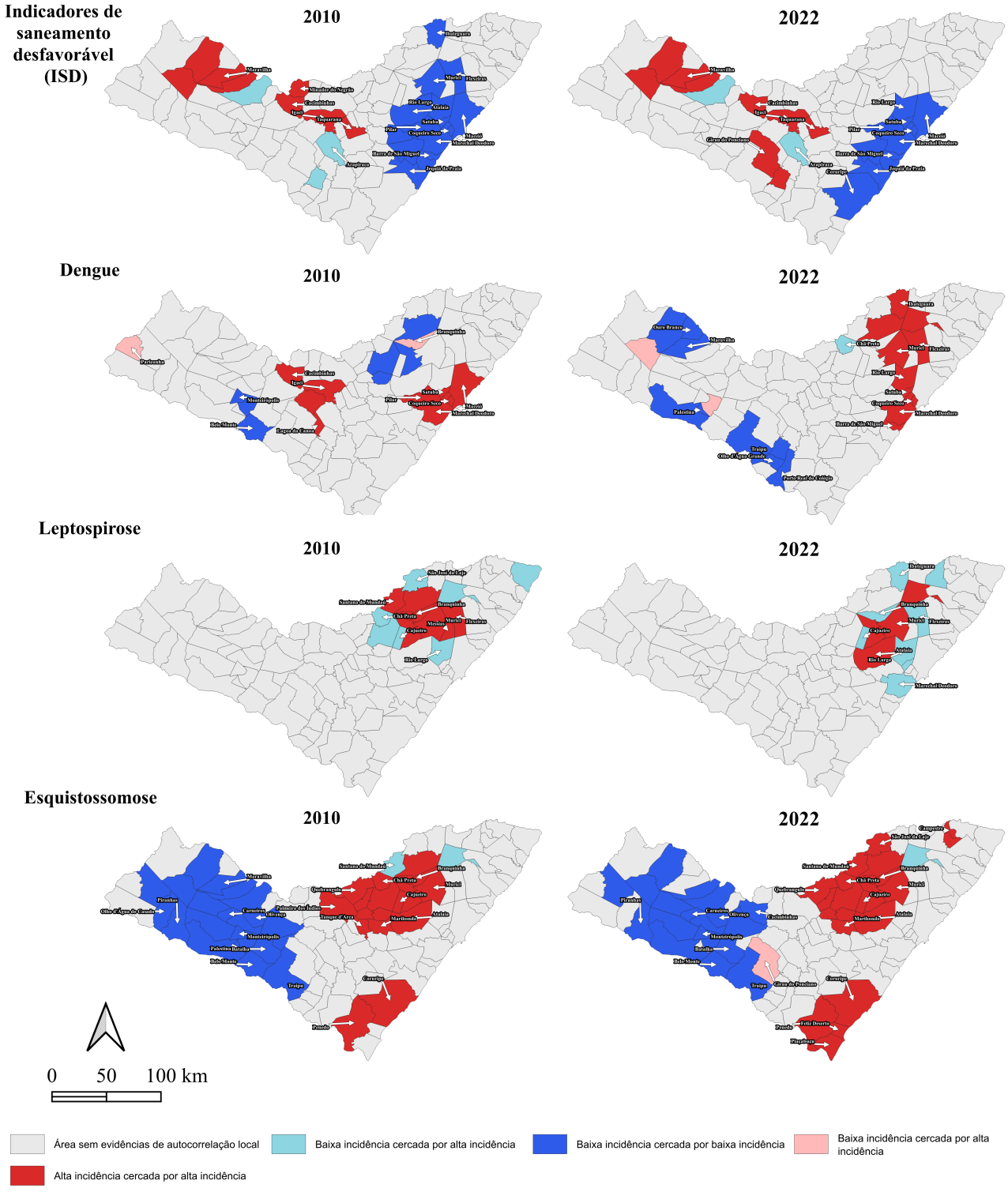


Figura 3 – Mapa de autocorrelação espacial LISA entre os indicadores de saneamento desfavorável (ISD) e locais com alta incidência de doenças, para 2010 e 2022.

A dengue apresenta a transformação espacial mais marcante. Em 2010, os poucos aglomerados Alta–Alta situavam-se no entorno de Maceió e no Agreste. Em 2022, o núcleo Alta–Alta desloca-se e expande-se para o litoral norte e a Zona da Mata, ao passo que os aglomerados Baixa–Baixa migram para o Sertão e o Sul. A leptospirose, por sua vez, mantém um núcleo Alta–Alta estável na Zona da Mata nos dois períodos, não tendo registrado nenhuma área de precariedade Baixa–Baixa. A esquistossomose apresenta o maior número de aglomerados e o padrão mais estável: dois núcleos Alta–Alta, um na Zona da Mata Norte e outro no litoral Sul, contrastando com um extenso núcleo Baixa–Baixa no Sertão e no Médio São Francisco, com pouca variação de ano a ano.

Em síntese, os resultados indicam que a distribuição espacial do saneamento desfavorável está associada à desigualdade socioterritorial, enquanto leptospirose e esquistossomose respondem predominantemente a condicionantes ambientais. A dengue, por outro lado, apresentou associação mais estreita com a urbanização. Dessa forma, as correlações negativas identificadas podem ser interpretadas como associações ecológicas em escala municipal, sujeitas à falácia ecológica, o que reforça a necessidade de estudos que incorporem variáveis como urbanização, renda e acesso aos serviços de saúde (Carneiro e Ribeiro, 2024; Leal *et al.*, 2021).

CONCLUSÕES

Os três indicadores de saneamento mostraram-se fortemente correlacionados entre si nos dois períodos, e os mapas LISA confirmaram a concentração dessa precariedade em um núcleo persistente no Agreste Central, em contraste com a faixa litorânea da Região Metropolitana de Maceió. Esse padrão evidencia que o déficit sanitário se agrupa territorialmente e acompanha a desigualdade socioeconômica do estado.

As correlações entre saneamento e doenças, por outro lado, foram em geral fracas em 2010 e tornaram-se negativas em 2022. A dengue foi o caso mais expressivo: a sobreposição entre seus aglomerados de alta incidência e as áreas de melhor saneamento, no litoral, indica que sua transmissão acompanha a urbanização e a densidade populacional, e não a carência de infraestrutura sanitária. A leptospirose e a esquistossomose, por sua vez, mantiveram aglomerados espaciais estáveis na Zona da Mata e nas várzeas, sugerindo uma determinação ambiental que os indicadores domiciliares de saneamento não captam.

Por fim, destaca-se que as associações aqui descritas são de natureza correlacional e ecológica, não estabelecendo relação causal: a coincidência espacial entre saneamento e doenças indica áreas prioritárias para investigação, mas a confirmação de mecanismos causais exige estudos com dados individualizados. Recomenda-se, para trabalhos futuros, o uso de dados individualizados e de indicadores ambientais diretos, capazes de desagregar o efeito de cada componente do saneamento sobre doenças específicas e de subsidiar políticas públicas focalizadas nos territórios mais vulneráveis.

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

ARAÚJO, L., CAMARGO, F., TORRES NETTO, A., VERNIN, N.S. e ANDRADE, R. (2022). "Analysis of the coverage of supply and of the water quality distributed in different regions of Brazil in 2019" *Ciência & Saúde Coletiva* 27(7), pp. 2935–2947. DOI: 10.1590/1413-81232022277.16472021.

BOING, A.F., BOING, A.C. e SUBRAMANIAN, S.V. (2020). "Inequalities in the access to healthy urban structure and housing: an analysis of the Brazilian census data" *Cadernos de Saúde Pública* 36. Informações extraídas das páginas 5, 9–10, e00233119.

BRASIL (2022). *Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN): dengue – casos prováveis por município de residência, Alagoas*. Dados referentes aos anos de 2010 e 2022. Acesso em: 25 maio 2026. Ministério da Saúde. Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS). https://tabnet.datasus.gov.br/.

CARNEIRO, C.R.d.O. e RIBEIRO, H.M.C. (2024). "Doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado: um cenário pela ótica de Belém do Pará" *Revista de Gestão Social e Ambiental* 18(12). Informações extraídas das páginas 3–4, 9–11, 14–15, pp. 1–20.

CAVALCANTI, A., TEIXEIRA, A. e PONTES, K. (2019). "Regression Model to Evaluate the Impact of Basic Sanitation Services in Households and Schools on Child Mortality in the Municipalities of the State of Alagoas, Brazil" *Sustainability*. DOI: 10.3390/su11154150.

FERREIRA, D.C., GRAZIELE, I., MARQUES, R.C. e GONCALVES, J. (2021). "Investment in drinking water and sanitation infrastructure and its impact on waterborne diseases dissemination: The Brazilian case" *Science of the Total Environment* 779, p. 146279.

IBGE (2012). *Censo Demográfico 2010*. Acesso em: maio 2026. Rio de Janeiro. https://censo2010.ibge.gov.br/.

IBGE (2023). *Malha municipal digital do Brasil*. Acesso em: maio 2026. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html.

IBGE (2024). *Censo Demográfico 2022*. Acesso em: maio 2026. Rio de Janeiro. https://censo2022.ibge.gov.br/.

KHALIL, H., SANTANA, R., OLIVEIRA, D.d., PALMA, F., LUSTOSA, R., EYRE, M.T., CARVALHO-PEREIRA, T., REIS, M.G., KO, A.I., DIGGLE, P.J. *et al.* (2021). "Poverty, sanitation, and *Leptospira* transmission pathways in residents from four Brazilian slums" *PLoS Neglected Tropical Diseases* 15(3), e0009256.

LEAL, P.R., GUIMARÃES, R.J.d.P.S.e. e KAMPEL, M. (2021). "Associations Between Environmental and Sociodemographic Data and Hepatitis-A Transmission in Pará State (Brazil)" *GeoHealth* 5. Informações extraídas das páginas 2–3, 10–12, e2020GH000327.

MINISTÉRIO DAS CIDADES (2024). *Painel de Indicadores do SINISA*. Acesso em: maio 2026. Brasília. https://indicadores-sinisa-2025.cidades.gov.br/.

NOVAES, C., SILVA PINTO, F. e MARQUES, R.C. (2022). “Aedes Aegypti Insights on the impact of water services” *GeoHealth* 6(11), e2022GH000653.

PAZ, W.S.d., GOMES, D.S., RAMOS, R.E.S., CIRILO, T.M., SANTOS, I.G.A., RIBEIRO, C.J.N., ARAÚJO, K.C.G.M.d., JESUS, A.M.R.d., SANTOS, A.D.d. e BEZERRA-SANTOS, M. (2020). “Spatiotemporal clusters of schistosomiasis mortality and association with social determinants of health in the Northeast region of Brazil (1980–2017)” *Acta Tropica* 212, p. 105668.

POAGUE, K.I.H.M., MINGOTI, S.A. e HELLER, L. (2020). “Water, sanitation and schistosomiasis mansoni: a study based on the Brazilian National Prevalence Survey (2011–2015)” *Cadernos de Saúde Pública* 36. Informações extraídas das páginas 5–8, e00015019.

REGO, R.F., LIMA, V.C., LIMA, A.C., BARRETO, M.L., PRADO, M.S. e STRINA, A. (2013). “Environmental indicators of intra-urban heteroregency” *Cadernos de Saúde Pública* 29(6). Informações extraídas das páginas 1176–1183, pp. 1173–1185.

SHARMA WADDINGTON, H., MASSET, E., BICK, S. e CAIRNCROSS, S. (2023). “Impact on childhood mortality of interventions to improve drinking water, sanitation, and hygiene (WASH) to households: Systematic review and meta-analysis” *PLoS Medicine* 20(4), e1004215.

SODRÉ, N.S., PÉRICO, E., SCHRÖDER, N.T. e SILVEIRA, E.F.d. (2024). “Sanitation and public health: space-temporal analysis of morbidity and mortality in the state of Rio Grande do Sul, Brazil” *Cuadernos* 110. Informações extraídas das páginas 11–13.