

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

GABRIEL ALVES DE LIMA

**Indicadores no saneamento e análise de áreas de risco para arboviroses
(Dengue, Zika e Chikungunya) na gestão municipal**

**RECIFE - PERNAMBUCO
2025**

GABRIEL ALVES DE LIMA

**INDICADORES NO SANEAMENTO E ANÁLISE DE ÁREAS DE RISCO
PARA ARBOVIROSES (DENGUE, ZIKA E CHIKUNGUNYA) NA
GESTÃO MUNICIPAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Fernando Cartaxo Rolim Neto

Coorientador: Aldo Torres Sales

**RECIFE - PERNAMBUCO
2025**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Bibliotecário(a): Suely Manzi – CRB-4 809

L732i Lima, Gabriel Alves de.
Indicadores de saneamento e análise de áreas de risco para arboviroses (Dengue, Zika e Chikungunya) na gestão municipal / Gabriel Alves de Lima. – Recife, 2025.
80 f.; il.

Orientador(a): Fernando Cartaxo Rolim Neto.
Co-orientador(a): Aldo Torres Sales.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Recife, BR-PE, 2025.

Inclui referências.

1. Geoprocessamento . 2. Aedes aegypti. 3. Política pública. 4. Planejamento urbano 5. Sistemas de informação geográfica. I. Rolim Neto, Fernando Cartaxo, orient. II. Sales, Aldo Torres, coorient. III. Título

CDD 620.8

GABRIEL ALVES DE LIMA

**INDICADORES NO SANEAMENTO E ANÁLISE DE ÁREAS DE RISCO
PARA ARBOVIROSES (DENGUE, ZIKA E CHIKUNGUNYA) NA
GESTÃO MUNICIPAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 25 de fevereiro de 2025.

FERNANDO CARTAXO ROLIM NETO
Presidente da Banca e Orientador

BANCA EXAMINADORA:

ROBERTA DE MELO GUEDES ALCOFORADO
Membro Externo – Universidade de Pernambuco

ANILDO MONTEIRO CALDAS
Membro Interno – UFRPE

*Dedico a mim, a quem eu fui e,
principalmente, a quem eu hei de ser.*

*Aos que estão e estarão, dedico este e
tudo o que há de vir.*

AGRADECIMENTOS

É necessário criar raízes antes de criar galhos. Por isso, agradeço à minha mãe, Edilma Márcia Ribeiro de Lima, ao meu pai, Claudio Alves de Lima (*in memoriam*), à minha irmã, Maria Cláudia Virgínia de Lima, e ao meu irmão, Claudio Alves de Lima Júnior. Eles me ajudaram a conhecer quem eu sou, o que me permitiu saber quem eu quero ser.

Neste ciclo, agradeço, principalmente, à Geisa Freitas do Monte Silva, que me acompanhou nas andanças do mestrado, dividindo as experiências e as dores, e a Carlos Luiz da Silva, que me inspirou a ser uma pessoa e um cientista melhor.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Fernando Cartaxo Rolim Neto, e ao meu coorientador, Prof. Dr. Aldo Torres Sales, que me ajudaram a construir a pesquisa que eu almejei, e aos membros da banca de defesa da minha dissertação, que contribuíram ao resultado final desse processo e me permitiram finalizá-lo.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), pela oportunidade de realizar a pós-graduação, e aos que compõem a universidade, aqui representados pelo professor Marcus Metri Corrêa (coord.) e por Walquiria de Brito, cujas colaborações exemplificam a dedicação e o apoio presente na instituição.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Desta vez, por último, mas não menos importante, a mim. A ciência é um caminho dolorido no Brasil, mas é o caminho que eu escolhi e, com muito esforço, muita persistência ou por ser muito cabeça dura, que pretendo continuar trilhando.

“Algumas coisas, eu não posso mudar, mas, enquanto
eu não tentar, nunca saberei.”

Defying Gravity por *Stephen Schwartz (Wicked)*

RESUMO

LIMA, Gabriel Alves de, M.Sc., Universidade Federal Rural de Pernambuco, fevereiro de 2025. **Indicadores no saneamento e análise de áreas de risco para arboviroses (Dengue, Zika e Chikungunya) na gestão municipal.** Orientador: Fernando Cartaxo Rolim Neto. Coorientador: Aldo Torres Sales.

Comunidades de Interesse Social (CIS), no Recife-PE, são definidas como áreas ocupadas por uma população de baixa renda, em situação precária de moradia e de serviços de saneamento. A ausência de saneamento nessas áreas apresenta uma relação de causa e efeito com a proliferação de arboviroses. O objetivo da presente pesquisa foi de avaliar o uso de indicadores no contexto do saneamento e analisar a conexão entre arboviroses e a ausência de saneamento. A escolha do Recife-PE como área de estudo partiu da predefinição das áreas carentes de saneamento pela Prefeitura municipal, em 2015, o que permitiu testar a validade do indicador de forma geoespacial. Utilizou-se de Revisão Sistemática da Literatura (RSL) para compreender o estado da arte sobre a gestão do saneamento com uso de indicadores. Também foram conduzidas análises espaciais e estatísticas acerca da relação entre arboviroses e saneamento para os anos de 2015, 2017, 2019 e 2021. Foram usados os seguintes parâmetros: a estimativa de Densidade Kernel, para análise visual; o Índice de Moran, para avaliação de autocorrelação espacial entre saneamento e arboviroses, bem como para obtenção dos *clusters* de arboviroses; e o Modelo de Cadeia de Markov (MCM), para avaliar a probabilidade de evolução dos sistemas. Foi utilizada média ponderada das relações definidas pelos Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA), para definir as áreas prioritárias de ação. Em relação à RSL, foi observado um crescente interesse acadêmico sobre o tema, com grande número de publicações, tendo como principal assunto de pesquisa a análise da qualidade de água. O Índice de Moran apontou autocorrelação espacial positiva moderada entre os casos de arboviroses e as CIS. O MCM evidenciou baixas chances de melhora do estado sanitário. A maioria das áreas definidas como críticas estavam em Comunidades de Interesse Social. As áreas críticas identificadas fora das CIS estavam inseridas nas margens dessas regiões. Há uma estabilidade na escolha de indicadores no meio acadêmico, demonstrando uma possível necessidade de novas orientações e abordagens no campo acadêmico. Os resultados para o Índice de Moran e para os LISA no Recife indicam a possibilidade de uso da relação arboviroses/saneamento como possível indicadora ao estabelecer a existência de autocorrelação espacial.

Palavras-chave: Geoprocessamento; *Aedes aegypti*; Políticas públicas; Planejamento urbano.

ABSTRACT

LIMA, Gabriel Alves de, M.Sc., Universidade Federal Rural de Pernambuco, February, 2025. **Indicators in sanitation and analysis of risk areas for arboviruses (Dengue, Zika and Chikungunya) in municipal management.** Adviser: Fernando Cartaxo Rolim Neto. Co-adviser: Aldo Torres Sales.

Communities of Social Interest (CIS) in Recife-PE are defined as areas occupied by a low-income population, in precarious housing and sanitation services situations. The lack of sanitation in these areas presents a cause-and-effect relationship with the proliferation of arboviruses. The objective of this research was to evaluate the use of indicators in the context of sanitation and to analyze the connection between arboviruses and the lack of sanitation. The choice of Recife-PE as the study area was based on the predefinition of areas lacking sanitation by the city government in 2015, allowing geospatial validation of the indicator. A Systematic Literature Review (SLR) was used to understand the state of the art on sanitation management using indicators. Spatial and statistical analyses were also conducted on the relationship between arboviruses and sanitation for the years 2015, 2017, 2019, and 2021. The following parameters were used: the Kernel Density estimate, for visual analysis; the Moran Index, to assess spatial autocorrelation between sanitation and arboviruses, as well as to obtain arbovirus clusters; and the Markov Chain Model (MCM), to assess the probability of evolution of the systems. A weighted average of the relationships defined by the Local Indicators of Spatial Association (LISA) was used to define the priority areas for action. Regarding RSL, there was a growing academic interest in the topic, with a large number of publications, with the main research subject being the analysis of water quality. The Moran Index indicated moderate positive spatial autocorrelation between arbovirus cases and CIS. The MCM showed low chances of improving the sanitary status. Most of the areas defined as critical were in Communities of Social Interest. The critical areas identified outside the CIS were located on the margins of these regions. There is stability in the choice of indicators in the academic environment, demonstrating a possible need for new guidelines and approaches in the academic field. The results for the Moran Index and LISA in Recife indicate the possibility of using the arbovirus/sanitation relationship as a possible indicator when establishing the existence of spatial autocorrelation.

Keywords: Geoprocessing; *Aedes aegypti*; Public policies; Urban planning.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Definição de Favelas e Comunidades urbanas e Comunidades de Interesse Social	14
Figura 2 – Fatores que auxiliam a proliferação de vetores e arboviroses em CIS	15
Figura 3 – Distribuição da população em favelas e comunidades urbanas (aglomerados subnormais), total e proporção em relação à população total em favelas e comunidades urbanas, segundo as Regiões Metropolitanas nacionais, 2010.	19
Figura 4 - Hierarquia das principais legislações e acordos acerca do saneamento básico nas esferas internacional, federal, estadual e municipal.	21
Figura 5 – ODS organizados a partir dos 5 pilares do Desenvolvimento Sustentável	23
Figura 6 – Linha do tempo das arboviroses no mundo e em Pernambuco	28
Figura 7 - Fluxograma da metodologia aplicada, incluindo triagem de estudos e análises realizadas	31
Figura 8 – Sequência do Geoprocessamento	34
Figura 9 – Município do Recife, Pernambuco, Brasil.	34
Figura 10 - Etapas para a obtenção da unidade de análise de logradouros para centróides.	36
Figura 11 - Etapas para a obtenção da unidade de análise de centróides para áreas.	37
Figura 12 - Município do Recife dividido em malha	38
Figura 13 – Malha do Recife identificada por (1) Comunidades de Interesse Social e (2) Não Comunidades de Interesse Social	39
Figura 14 - Número de publicações voltadas aos temas de saneamento, gestão e indicadores por ano (n) e seu acumulado (n), 2003-2024	43
Figura 15 - Número de publicações produzidas em cada um dos países	44
Figura 16 - Visualização das Instituições e seus links em relação à autoria e à coautoria, 2003-2024	48
Figura 17 - Palavras-chave com no mínimo 10 ocorrências entre os documentos selecionados.	49
Figura 18 - Malha de coocorrências de citações, 2003-2024.	51
Figura 19 - Principal coocorrência de citações entre os artigos selecionados.	51
Figura 20 – Mapa da Estimativa de Densidade Kernel representando a concentração de casos de arboviroses para 2015, 2017, 2019 e 2021.	60
Figura 21 – Índice de Moran em 2015, representando a autocorrelação espacial entre o número de casos em uma mesma área e a presença de Comunidades de Interesse Social.....	61

Figura 22 – Índice de Moran em 2017, representando a autocorrelação espacial entre o número de casos em uma mesma área e a presença de Comunidades de Interesse Social.....	62
Figura 23 – Índice de Moran em 2019, representando a autocorrelação espacial entre o número de casos em uma mesma área e a presença de Comunidades de Interesse Social.....	62
Figura 24 – Índice de Moran em 2021, representando a autocorrelação espacial entre o número de casos em uma mesma área e a presença de Comunidades de Interesse Social.....	63
Figura 25 – Mapa de agrupamento do índice de Moran Local identificando os agrupamentos de casos em relação aos seus vizinhos em 2015	64
Figura 26 – Mapa de agrupamento do índice de Moran Local identificando os agrupamentos de casos em relação aos seus vizinhos em 2017	64
Figura 27 – Mapa de agrupamento do índice de Moran Local identificando os agrupamentos de casos em relação aos seus vizinhos em 2019	65
Figura 28 – Mapa de agrupamento do índice de Moran Local identificando os agrupamentos de casos em relação aos seus vizinhos em 2021	65
Figura 29 - Probabilidades de transição entre as diferentes caracterizações do Índice de Moran Local ao longo dos anos	67
Figura 30 - Classificação das zonas de risco com base na média ponderada do Índice de Moran para os anos de 2015, 2017, 2019 e 2021.....	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Porcentagem de casos de Dengue, de Zika e de Chikungunya em cada um dos anos observados em relação ao total de dados tratados e utilizados.....	36
Tabela 2 – Outros periódicos em relação à publicação de artigos na temática selecionada.....	46
Tabela 3 - Média, desvio padrão e coeficiente de variação dos índices de Moran de 2015, 2017, 2019 e 2021	63
Tabela 4 - Áreas com significância estatística de Alto-Alto, Baixo-Baixo, Baixo-Alto e Alto-Baixo em relação ao índice de Moran em áreas com ao menos um caso de arbovirose	66

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

A.E.C.	Antes da Era Comum
AA	Alto-Alto
AB	Alto-Baixo
BA	Baixo-Alto
BB	Baixo-Baixo
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CF	Constituição Federal
CIS	Comunidades de Interesse Social
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
E.C.	Era Comum
ESIG	Sistema de Informações Geográficas da Prefeitura da Cidade do Recife
FIOCRUZ	Fundação Oswaldo Cruz
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISSN	<i>International Standard Serial Numbers</i>
LISA	Indicadores Locais de Associação Espacial
MCM	Modelo de Cadeia de Markov
nCIS	Não Comunidades de Interesse Social
NS	Não Significante
ODS	Objetivo de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PMSB	Política Municipal de Saneamento Básico
RMR	Região Metropolitana do Recife
RSL	Revisão Sistematizada da Literatura
SNIS	Sistema de Informações sobre Saneamento
SUS	Sistema Único de Saúde
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	OBJETIVOS.....	18
2.1	Objetivo geral	18
2.2	Objetivo específico	18
3	REVISÃO DE LITERATURA	19
3.1	Comunidades de Interesse Social (CIS)	19
3.2	Políticas públicas	20
3.3	Ordenamento legal do Saneamento	20
3.3.1	Acordos internacionais	21
3.3.2	Legislações nacional e estadual	23
3.3.3	Legislação municipal	25
3.4	Arboviroses na história.....	26
3.5	Geoprocessamento para gestão.....	28
3.6	Índices e Indicadores de saneamento.....	29
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	30
4.1	Revisão Sistematizada da Literatura por meio de Análise descritiva, cienciométrica e qualitativa.....	30
4.1.1	Triagem dos artigos	31
4.1.2	Análise descritiva e cienciométrica	32
4.1.3	Análise qualitativa	33
4.2	Uso de Geoprocessamento na análise de arboviroses	33
4.2.1	Escolha e caracterização da área de estudo	34
4.2.2	Aquisição de dados	35
4.2.3	Tratamento de dados.....	36
4.2.4	Análises espaciais e estatísticas.....	38
4.2.5	Identificação de áreas de risco.....	41
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
5.1	Análise descritiva, cienciométrica e qualitativa	43
5.1.1	Evolução de publicações	43
5.1.2	Distribuição geográfica.....	44
5.1.3	Principais periódicos e organizações relacionados ao tema	45
5.1.4	Cocorrência de palavras-chave.....	48

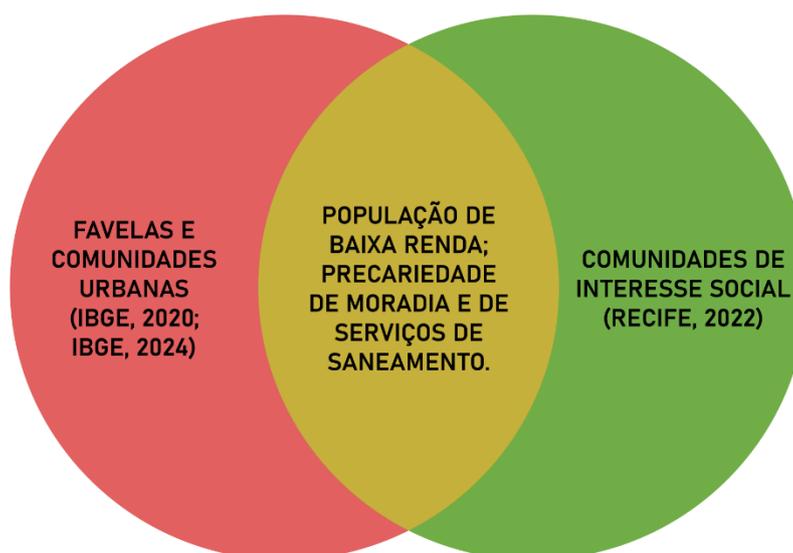
5.1.5	Coocorrência de citações	50
5.1.6	Análise qualitativa	51
5.2	Geoprocessamento.....	59
5.2.1	Análise visual por meio da Estimativa de Densidade Kernel.....	59
5.2.2	Índice de Moran.....	61
5.2.3	Modelo de Cadeia de Markov	66
5.2.4	Identificação de áreas de Risco	68
6	CONCLUSÕES	69
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	71
	REFERÊNCIAS	72

1 INTRODUÇÃO

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, nomeia como Favelas e Comunidades Urbanas (anteriormente Aglomerados Subnormais) as áreas urbanas caracterizadas por moradias fora dos padrões urbanísticos e de segurança e carentes dos serviços públicos essenciais, principalmente os de saneamento básico e ambiental (IBGE, 2020; IBGE, 2024). No Recife, em acordo com o IBGE (2024), existiam 362.041 (Trezentos e sessenta e dois mil e quarenta e um) domicílios ocupados nessas áreas. Estas ocupações são definidas como irregulares, existindo em função da busca por moradia de uma classe com condições socioeconomicamente precárias.

No âmbito nacional, a nomenclatura para estes espaços varia regionalmente, sendo as mais populares: “favelas”, “comunidades” e “invasões” (IBGE, 2020). Dentro da gestão da capital pernambucana, as favelas e comunidades urbanas foram denominadas como Comunidades de Interesse Social (CIS) (Recife, 2022). Adotando uma conceituação semelhante à já apresentada pelo IBGE (Figura 1), o termo CIS define as áreas ocupadas por comunidades de baixa renda e em situações precárias de infraestruturas urbanas, especialmente as de saneamento.

Figura 1 – Definição de Favelas e Comunidades urbanas e Comunidades de Interesse Social



Fonte: Adaptado pelo autor. IBGE (2020); IBGE (2024); Recife (2022).

A formação destas favelas e comunidades urbanas, delineadas pela falta de serviços de saneamento, é uma característica do crescimento urbano desordenado. Alinhadas a diversas

problemáticas sociais, econômicas e ambientais, as mazelas infraestruturais acrescentam à parcela da população que reside nestes locais um fator que é agravante e corroborador para a proliferação de diversas doenças, inclusive as arboviroses (Cysne, 2019; Salgado *et al.*, 2023).

Consoante com Almeida, Cota e Rodrigues (2020), locais com sistemas de saneamento ineficazes são ambientes propícios para a proliferação do *Aedes aegypti*, principal responsável pela proliferação das arboviroses (Figura 2). Frente a esta relação de causa e efeito, é a universalização destes serviços a real solução para a alta proliferação de doenças (Qureshi, 2020; Bobbins *et al.*, 2023).

Figura 2 – Fatores que auxiliam a proliferação de vetores e arboviroses em CIS



Fonte: Adaptado pelo autor. Almeida, Cota e Rodrigues (2020).

Em 2021, foram contabilizados 24.785 casos de Dengue, Zika (ZIKAV) e Chikungunya (CHIKV) no município do Recife, Pernambuco, sendo 15.035 só de Chikungunya (Recife, 2023). Tendo a proliferação de arboviroses ligada à ausência do saneamento, é necessário destacar que os Índices de coleta de esgoto para o município estudado foram de 74,89%, 75,22% e 75,3% em 2019, 2020 e 2021, respectivamente (SNIS, 2023). Isto representou um aumento absoluto (diferença) de 0,41%, com um crescimento percentual de apenas 0,54%. Mantendo o ritmo desses três anos, a universalização seria atingida entre os anos de 2141 e 2142.

Quanto ao Índice de Atendimento Total de Água na cidade, os valores são expressivamente melhores. Enquanto que, em 2019, o valor para tal índice era de 89,3%, o mesmo chegou ao patamar de 96,4% em 2021 (SNIS, 2023). Foi um aumento absoluto de 7,1% e um crescimento percentual de 7,94%. Apesar disto, o Índice de Perda na Distribuição para o Recife foi de 50,83% para o mesmo ano.

Salienta-se que estes valores são representativos para o município do Recife como um todo, porém não representam os índices de saneamento básico específicos de cada CIS, os quais diferem espacialmente, ou seja, de um lugar para outro. Estas diferenças ocorrem devido à dois

fatores: (i) a pluralidade de comunidades, isto é, o grande número de áreas definidas como Comunidades de Interesse Social; e (ii) ao crescimento desordenado e origem espontânea, significando que novas CIS surgem espontaneamente ou expandem seu território com o passar do tempo sem que haja um real controle sobre isso (Recife, 2015). Duas CIS localizadas em zonas diferentes da cidade irão apresentar índices diferentes entre si.

Ainda que o Recife apresente essas zonas deficitárias de saneamento, ressalta-se que a universalização desses serviços é um tratado mundial acordado, atualmente, a partir dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (ONU, 2015). De forma mais específica, a Organização das Nações Unidas (ONU) delimita o ODS 6 – Água potável e Saneamento como detentor das metas norteadoras para a generalização do acesso a esses sistemas, sendo papel das gestões locais apresentar metodologias para o cumprimento destas metas dentro do prazo estabelecido, que é de 2030.

Estas demandas e problemáticas do ambiente urbano já conhecidas pelas gestões, com ênfase nas gestões municipais, exigem a aplicação de novas tecnologias na tomada de decisões, atualizando as estratégias para o que chamam de “cidades inteligentes” (Leal da Silva; Silva Neto; Müller, 2023). Apesar de definições diferentes para este termo, as Cidades Inteligentes caracterizam-se pela implementação de tecnologias para melhorar a qualidade de vida da população, a competitividade e a eficiência dos sistemas urbanos, principalmente por meio da Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC), aprimorando infraestruturas das cidades, visando âmbitos sociais, econômicos, culturais e ambientais como constituintes do processo (Ojo; Dzhusupova; Curry, 2016; Li, Tæihagh; Tan, 2022).

Leal da Silva, Silva Neto e Müller (2023) explicitam que a inserção do conceito de Cidades Inteligentes a partir da incorporação de tecnologias dentro da gestão pública pode tornar-se ignição para mudança dos preceitos do antigo sistema de gerenciamento e a consequente melhoria da tomada de decisões. Nesse aspecto, as geotecnologias adequam-se ao conceito das TIC e podem ser utilizadas na obtenção de indicadores para auxílio e estruturação dos processos de gerenciamento urbano, inclusive na área do saneamento básico e ambiental.

Dentro da área do planejamento, indicadores são instrumentos capazes de mensurar fenômenos, descrevendo e avaliando informações ambientais e sendo capazes de direcionar a definição de metas, evidenciando dados e evidências necessários para a formulação de políticas, planejamento estratégico e aprendizagem (Heink; Kowarik, 2010; Lyytimäki *et al.*, 2013; Pires *et al.*, 2020).

Consoante com Silva *et al.* (2023), o geoprocessamento é formado por um conjunto de geotecnologias aplicáveis à determinados setores de gerenciamento. A partir desta ideia, surge a possibilidade de aplicação do geoprocessamento na espacialização de dados. Este processo oferta ao planejamento urbano uma análise racional e contextualizada, unindo os dados alfanuméricos aos seus locais no espaço e apontando possíveis indicadores gerenciais.

Dando ênfase à existência de áreas do Recife caracterizadas justamente pela falta de infraestruturas básicas de saneamento, é necessário orientar ações de universalização dos serviços para as áreas prioritárias. É neste contexto que a obtenção de ferramentas e indicadores que facilitem o gerenciamento e o direcionamento do âmbito, principalmente no campo de administração municipal, torna-se fundamental.

Segundo Morato e Kawakubo (2007), indicadores de risco podem ser utilizados para avaliar a dimensão das disparidades geográficas da distribuição de riscos ambientais. Nesse sentido, a relação de causa e efeito entre saneamento e arboviroses pode ser utilizada para além do escopo sanitário, funcionando como indicador no encaminhamento de ações resolutivas destas problemáticas a partir do uso espacial dos dados destas doenças, norteando a gestão do saneamento por meio de tecnologias. Para além, é imprescindível a articulação do uso de tecnologias, a exemplo das geoespaciais e suas metodologias, como análises temporais e estatísticas de identificação de correlação espacial e *clusters* no auxílio e orientação do processo evolutivo dos sistemas de saneamento na cidade, seguindo inclusive o conceito das Cidades Inteligentes.

Tendo estas ideias em mente, justifica-se, portanto, estudar a relação das arboviroses com a ausência do saneamento como um indicador de áreas prioritárias de ação na gestão do saneamento básico e ambiental a partir da espacialização dos casos de arboviroses (Dengue, Zika e Chikungunya), com uso de geoprocessamento, facilitando a condução de soluções aos locais onde as mesmas se mostram necessárias.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar a conexão entre a proliferação das arboviroses e a ausência do saneamento como um indicador de áreas prioritárias de ação na gestão do saneamento básico e ambiental, a partir da espacialização dos casos de arboviroses (Dengue, Zika e Chikungunya) com uso de geoprocessamento.

2.2 Objetivo específico

Para atingir o objetivo geral, objetiva-se, especificamente:

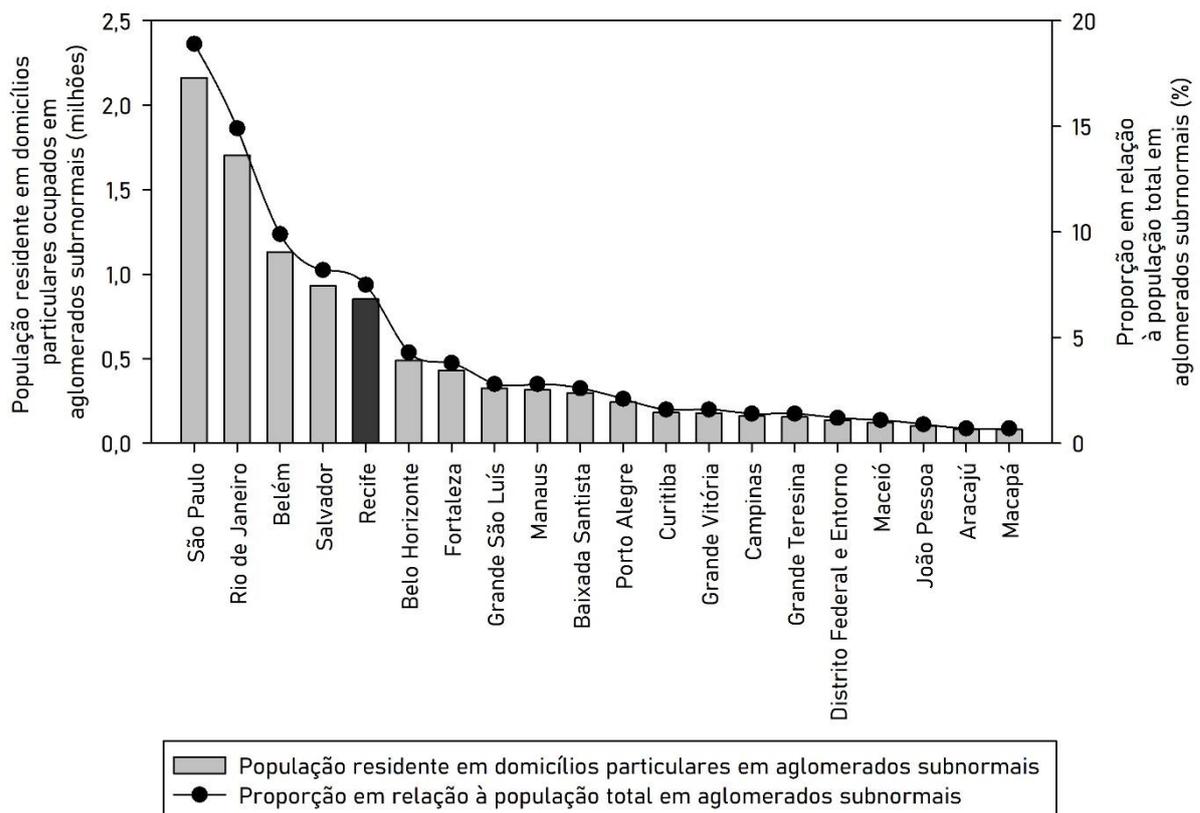
- I. Compreender o estado da arte acerca do uso de indicadores na gestão do saneamento a partir de revisão da literatura por meio de análises descritiva, cienciométrica e qualitativa;
- II. Espacializar e analisar a distribuição espaço-temporal das arboviroses no Recife, investigando sua dependência espacial com a ausência de saneamento, identificando ‘*clusters*’ e tendências por meio de análises espaciais.
- III. Classificar as áreas de intervenção prioritária, utilizando como indicadores os dados de arboviroses analisados espacialmente.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Comunidades de Interesse Social (CIS)

Até o ano de 2022, a população brasileira residindo em favelas e comunidades urbanas ultrapassava os 16 milhões, chegando ao patamar de 16.390.941 residentes nessas áreas (IBGE, 2024). Em 2010, essa população era de 11.425.644, com 7,5% desses residentes locados na Região Metropolitana do Recife (RMR), cuja concentração era a quinta maior do país (Figura 3) (IBGE, 2013).

Figura 3 – Distribuição da população em favelas e comunidades urbanas (aglomerados subnormais), total e proporção em relação à população total em favelas e comunidades urbanas, segundo as Regiões Metropolitanas nacionais, 2010.



Fonte: IBGE (2013).

Tendo em vista a identificação destas áreas no âmbito nacional e a evidente problemática do saneamento nestes locais, em 2014, a Prefeitura do Recife elaborou o Atlas das Infraestruturas Públicas em Comunidades de Interesse Social do Recife (Recife, 2015). O documento, construído pela gestão municipal, possuía o intuito de mapear as áreas críticas da

cidade, principalmente em relação aos serviços de saneamento, denominando as favelas e comunidades urbanas da cidade como Comunidades de Interesse Social (CIS) (Recife, 2015).

Apesar do mapeamento e identificação das áreas recifenses cujas características principais incluíam a ausência de infraestruturas básicas de saneamento ainda em 2015, consoante com o Plano Estratégico de Médio e Longo Prazo – Recife 500 anos (Recife, 2019), publicado em 2019, 53% da população do município ainda vivia em CIS. Este fato estabeleceu a ideia de que mais da metade dos recifenses ainda convivia com serviços de abastecimento de água, de esgotamento sanitário, de gestão de resíduos sólidos e/ou de drenagem urbana ineficazes ou inexistentes.

3.2 Políticas públicas

Segundo Santos e Martins (2024), políticas públicas são aquelas responsáveis por garantir direitos e deveres fundamentais à população. Essas intervenções surgem como programas de origem governamental, os quais são construídos tendo em vista solucionar problemas públicos, concretizando a cidadania das pessoas.

De acordo com Faria *et al.* (2022), a organização de políticas públicas no Brasil não leva em consideração a relação entre saneamento e arboviroses. Inclusive no que tange ao cenário sanitário brasileiro de alta proliferação de arboviroses, saneamento não é citado como uma medida de controle ou prevenção. Essa ausência de intersetorialidade se repete nas esferas federais, estaduais e municipais.

Consoante com a Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz, 2018), as políticas e práticas de saneamento mostram-se, em diversos direcionamentos, sem eficácia no que diz respeito à universalização dos serviços. Essa constatação se dá, dentre outras coisas, em função da visão setorial direcionada exclusivamente às soluções técnicas no campo do conhecimento voltado à execução de empreendimentos (Fiocruz, 2018).

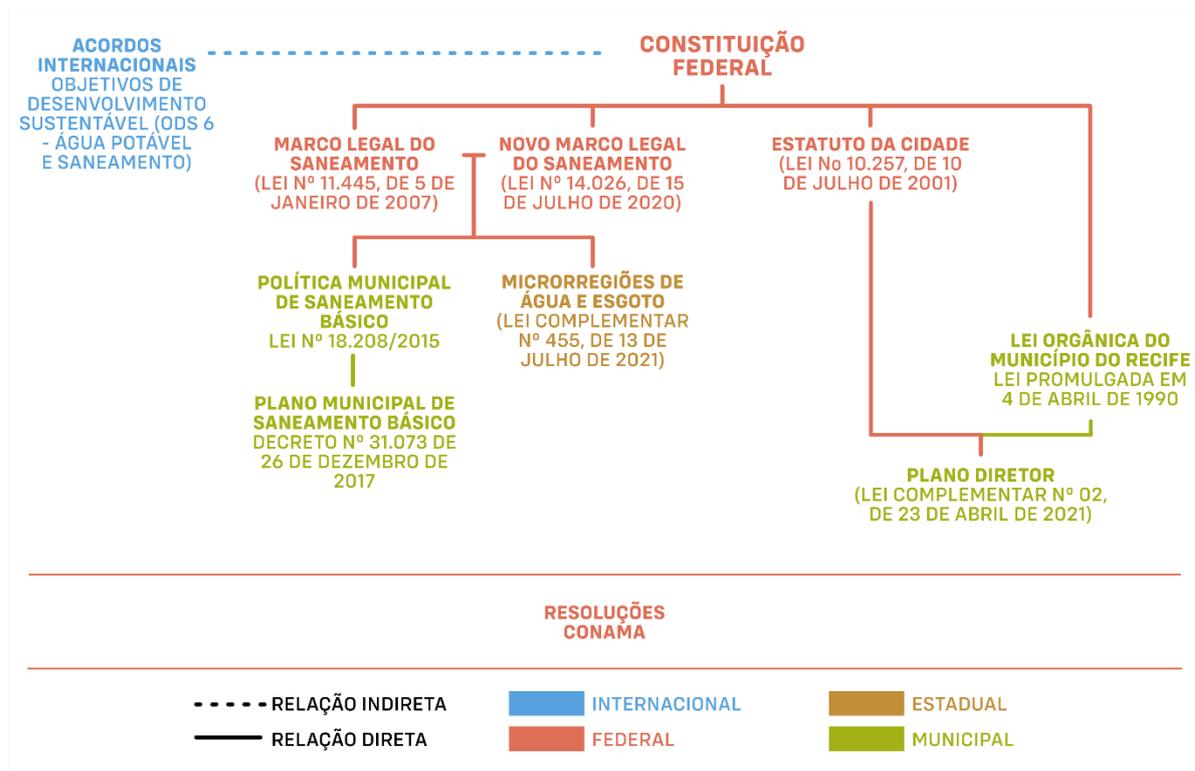
3.3 Ordenamento legal do Saneamento

De acordo com a Constituição Federal (CF) de 1988, a República Federativa do Brasil é formada pela união dos Estados, Municípios e pelo Distrito Federal, constituindo o Estado

Democrático de Direito (Brasil, 1988). Cada ente político possui autonomia político-administrativa para ordenar sobre setores, inclusive em relação ao saneamento (Brasil, 1988).

Ressaltando os acordos internacionais como possíveis norteadores para a organização legislativa nacional, a Constituição Federal é, segundo Sabóia (2024), o conjunto de leis fundamentais para o ordenamento jurídico nacional, estando no topo da hierarquia legislativa. Nesse sentido, as leis municipais estão subordinadas às leis estaduais que, por sua vez, estão subordinadas às leis federais e à CF (Figura 4).

Figura 4 - Hierarquia das principais legislações e acordos acerca do saneamento básico nas esferas internacional, federal, estadual e municipal.



3.3.1 Acordos internacionais

Internacionalmente, um dos mais evidentes acordos internacionais consolida-se por meio da Agenda 21 Global. Consoante com a Organização das Nações Unidas (ONU) (1992), a Agenda 21 tem como objetivo principal refletir não só o consenso global acerca das questões de desenvolvimento e cooperação ambientais, mas também o comprometimento político ao redor da questão.

De acordo com Raman *et al.* (2023), a Agenda 21 refinou o conceito do que seria considerado desenvolvimento sustentável, inserindo o princípio do tripé da sustentabilidade, ou seja, fatores econômicos, ambientais e sociais em harmonia, na construção de um desenvolvimento mundial pautado pela sustentabilidade.

Consoante com Sousa (2021), tecnologia e sociedade devem progredir juntas para que haja um real desenvolvimento econômico, porém esta evolução só é possível quando há sustentabilidade, ou seja, sem que haja prejuízo para o meio ambiente.

A Agenda 21 Global é dividida em 4 principais seções, sendo elas, em tradução livre, (i) Dimensões sociais e econômicas; (ii) Conservação e gestão dos recursos para o desenvolvimento; (iii) Fortalecendo o papel de grandes grupos e (iv) Meios de implementação (ONU, 1992). Dentre as seções presentes no documento, os capítulos 3 – Combatendo a pobreza e o 6 – Protegendo e promovendo condições de saúde humana possuem relação direta com saneamento.

O terceiro capítulo dos 40 presentes no acordo internacional define como papel do governo, com ajuda de organizações diversas, estabelecer medidas que proporcionem à população acesso à água potável e aos serviços de saneamento básico e ambiental (ONU, 1992). Em total ligação a este, o sexto capítulo da Agenda 21 Global estabelece o conceito de que saúde está diretamente ligada à correta implementação de saneamento.

A continuidade da Agenda 21 Global foi estabelecida com o início da Agenda 2030, cujos preceitos se estabeleceram a partir dos seus 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, também denominados como ODS, em vigor desde 2015 (ONU, 2015).

Consoante com Biswas e Mhetre (2020), em acréscimo ao estabelecido na Agenda 21, a Agenda 2030 traz um novo conceito para a configuração do sistema de desenvolvimento sustentável. Para além dos conceitos já estabelecidos no tripé da sustentabilidade, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável podem ser reorganizados em função de dois novos pilares, transformando o arranjo do desenvolvimento sustentável em Cinco Pilares do Desenvolvimento Sustentável ou os 5 P's: (i) Pessoas (sociedade), (ii) Planeta (meio ambiente), (iii) Prosperidade (economia), (iv) Paz e (v) Parceria (governança).

Os novos pilares, Paz e Parceria, este último também chamado de Governança é capaz de englobar todos os outros objetivos e os conceitos de sustentabilidade já firmados anteriormente, isto em função da sua conexão fixada num conceito macro (Figura 5).

Figura 5 – ODS organizados a partir dos 5 pilares do Desenvolvimento Sustentável



Fonte: Adaptado pelo autor. ONU (2023).

Dentro dos seus ODS, a Agenda 2030 traz o ODS 6 – Água Potável e Saneamento, cuja ideia é a de assegurar a acessibilidade e a gestão sustentável da água e do saneamento representado pela universalização dos serviços e de outras metas estabelecidas em sua formatação (ONU, 2015).

3.3.2 Legislações nacional e estadual

A Carta Magna brasileira cita o termo “saneamento básico”, principalmente, por 3 vezes, iniciando a proposição ainda no Título III, Capítulo II, Art. 21, sobre as competências da União (Brasil, 1988). No trecho, a CF define como função federal definir diretrizes para o desenvolvimento do saneamento básico no país.

Como parte do Art. 23, também do Título III, Capítulo II, saneamento é tratado como competência tanto da União, quanto dos Estados, do Distrito Federal e dos próprios Municípios, sendo função de todos promover a melhoria das condições de saneamento básico no país (Brasil, 1988).

No Título VIII, Capítulo II, Seção II, Art. 200, que tratam da saúde, saneamento vem atrelado à questão sanitária, atrelando ao Sistema Único de Saúde (SUS) a atribuição de participar da formulação da política e da execução das ações de saneamento básico (Brasil, 1988).

Ainda no âmbito nacional, as Leis Federais nº 10.257, de 10 de julho de 2001 (Estatuto da Cidade), nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007 (Marco Legal do Saneamento) e nº 14.026, de 15 de julho de 2020 (Novo Marco Legal do Saneamento) trataram de outros direcionamentos da área, com ênfase aos marcos legais (Brasil, 2001; Brasil, 2007; Brasil, 2020).

O Estatuto da Cidade estabelece diretrizes gerais da política urbana, trazendo, no Capítulo I, Art. 2, Saneamento ambiental como um direito da sociedade para a obtenção de cidades sustentáveis (Brasil, 2001). Para além, o mesmo artigo traz obras de abastecimento de água e de saneamento como prioridade. Em concordância com CF de 1988, o Art. 3 do Capítulo I do Estatuto da Cidade reitera a competência comum à União, aos Estados, ao Distrito Federal e aos Municípios de promover programas de melhoria das condições de saneamento básico, além de delimitar à União a função de instituir diretrizes para desenvolvimento urbano, como as de saneamento básico, que incluam regras de acessibilidade aos locais de uso público (Brasil, 2001).

O Marco Legal do Saneamento é uma lei voltada integralmente à regularização da área do saneamento no Brasil, estipulando prazos para cumprimento de metas, unificando normativas e estabelecendo as diretrizes nacionais do saneamento básico, materializando o estabelecido pela CF (Brasil, 2007). O Novo Marco Legal do Saneamento, de 2020, visou, principalmente, atualizar a normativa de 2007 (Brasil, 2020). É com base nestas leis que diferentes normativas estaduais e municipais foram elaboradas.

Instrumentalizando políticas nacionais voltadas à gestão do saneamento, as resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) representam importantes regulamentos no setor. Uma das principais Resoluções para o setor é a Resolução Conama nº 357/2005, responsável pela normatização do procedimento de lançamento de efluentes (CONAMA, 2005).

No Estado de Pernambuco, a principal lei sobre saneamento, a Lei complementar nº 455, de 13 de julho de 2021, refere-se à instituição das Microrregiões de Água e Esgoto do Sertão e da RMR Pajeú e de suas respectivas estruturas de governança (Pernambuco, 2021). Na lei em questão, está definido o município do Recife como parte integrante da microrregião da

RMR Pajeú, junto com o Estado de Pernambuco e outros municípios, a exemplo de Abreu e Lima, Bezerros, Cabo de Santo Agostinho, Moreno e Olinda (Pernambuco, 2021).

3.3.3 Legislação municipal

No âmbito municipal, as Leis Orgânicas funcionam para as cidades como a Constituição Federal funciona para a União, sendo caracterizadas como constituições municipais (Lenza, 2022). Situada neste contexto, a Lei Orgânica do Município do Recife foi promulgada em 4 de abril de 1990, legislando sobre temas pertinentes à cidade, inclusive o saneamento.

A Lei fala sobre saneamento em diversas vezes. Presente no Título I, Capítulo II, Seção II, Art 7º, inciso IX, está estabelecido como função de competência comum ao município, em conjunto com a União e o Estado, realizar a promoção de programas de saneamento básico (Recife, 1990). Em acréscimo, no Título III, capítulo IV, Art. 70, inciso II define-se o processo de cooperação intergovernamental e intermunicipal com o propósito de criar, implantar, operar e manter obras e serviços locais de saneamento básico.

O Capítulo IV do Título V da Lei Orgânica municipal do Recife é inteiramente voltado à Política do Saneamento Ambiental Integrado (Recife, 1990). Os Artigos 123 e 124 detalham as ações do município frente a este plano, como ampliar a responsabilidade local pela prestação de serviços de saneamento e executar programas de saneamento em áreas de baixa renda, além de definir a forma de execução dos serviços, através de concessão ou permissão.

Saneamento também está presente na Política do Meio Ambiente, sendo tratado no Título V, Capítulo V, Art. 125, inciso I, como parte das atribuições do município para efetivação da participação de segmentos sociais na promoção da conscientização e da divulgação de normas técnicas pertinentes ao saneamento ambiental integrado (Recife, 1990).

Atrelado a outras vertentes sanitárias da Lei Orgânica municipal, saneamento surge no Título V, Capítulo XII, Art. 146, Parágrafo 1º, inciso I como uma ferramenta de promoção da saúde da Política de Saúde da cidade do Recife (Recife, 1990). No mesmo capítulo, Art. 149, inciso IV, a participação da formulação da política e da execução de ações voltadas ao saneamento básico é referenciada como uma competência do Sistema Único de Saúde (SUS).

Já o Plano Diretor é um instrumento da política urbana estipulado em lei pelo Estatuto da Cidade, Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001 (Brasil, 2001), sendo uma obrigatoriedade para o município do Recife em função de suas características. No município, o atual Plano Diretor foi instituído pela Lei Complementar nº 02, de 23 de abril de 2021 (Recife, 2021). Em princípio, no Título I, Capítulo II, Art. 3 desta lei, o igual acesso saneamento básico é citado como um direito de todos os munícipes do Recife, tendo este direito reafirmando em diferentes Artigos dos Capítulo III e IV do mesmo Título (Recife, 2021).

Dando continuidade, no Título II, Capítulo I, Art. 19, alínea b), inciso III, o sistema de saneamento ambiental é tratado como um elemento fundamental para a melhoria das condições de habitabilidade dentro do ambiente urbano. Vale destacar o Título III, Capítulo IV, indo do Art. 165 ao Art. 167, que tratam especificamente da Política de Saneamento Ambiental do município do Recife. Destacando o Art. 166, o mesmo delimita os objetivos da política urbana de saneamento ambiental, como é o caso do equilíbrio do meio ambiente e a redução das desigualdades locais e inclusão social, citando as Comunidades de Interesse Social como áreas principais para ações de implementação e ampliação dos serviços de saneamento básico (Recife, 2021).

O Art. 167 traz em seu inciso XII a diretriz de adoção de indicadores e parâmetros sanitários e epidemiológicos como norteadores das ações de saneamento. No total, o Plano Diretor do município do Recife cita saneamento por 50 vezes no decorrer do seu texto (Recife, 2021).

A Lei nº 18.208, de 30 de dezembro de 2015 (Recife, 2015), dispõe sobre a Política Municipal de Saneamento Básico (PMSB). Em suma, a PMSB define os princípios, objetivos e outras diretrizes para a ordenação do saneamento e a construção de instrumentos para sua real implementação e expansão dentro da cidade do Recife, inclusive sobre o Plano Municipal de Saneamento Básico como parte do Sistema Municipal de Saneamento Básico.

3.4 Arboviroses na história

Paralela à história do saneamento e à ausência desses serviços, casos de arboviroses surgiram em diversos locais e épocas, infectando seres vertebrados e invertebrados (Saeed; Asif, 2020; Pourzangiabadi *et al.*, 2025).

O vírus da dengue (DENV), da Zika (ZIKV) e da Chikungunya (CHIKV) apresentam riscos para a saúde pública em diferentes partes do mundo, possuindo características parecidas em relação aos sintomas e à forma de transmissão (Maneerattanasak *et al.*, 2024).

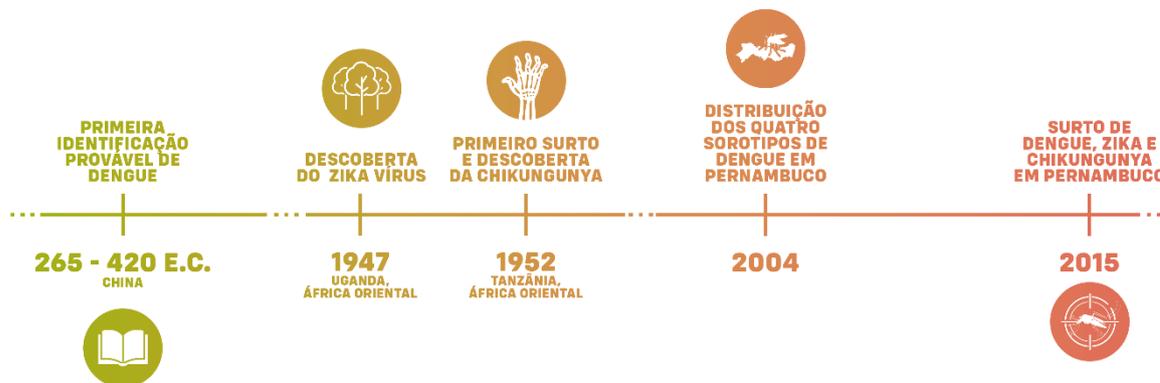
A primeira notificação em relação ao que, provavelmente, seria a Dengue foi feita em uma enciclopédia chinesa publicada entre os anos 265 e 420 E.C. Ainda de acordo com Saeed e Asif (2020), após o primeiro registro, é possível construir uma vasta linha do tempo de notificações, principalmente na América do Sul, na África e na Ásia.

As primeiras notificações de Chikungunya e Zika foram mais recentes. O Zika Vírus foi identificado em Uganda, África Oriental, no final da década de 1940, recebendo seu nome em função da floresta onde foram obtidas as amostras de estudo, a floresta Zika (Powers, 2018). O vírus da Zika foi descoberto em estudos científicos voltados à febre amarela, uma outra arbovirose. De acordo com Yang *et al.* (2025), teve seu maior pico mundial em 2016. Diferente do Zika Vírus, a Chikungunya foi descoberta em função de uma súbita incidência de casos de uma doença até então desconhecida. Em 1952, na atual Tanzânia, África Oriental, foi registrado o primeiro surto conhecido de Chikungunya (Powers, 2018; Suhana *et al.*, 2019). Sua nomenclatura foi definida em função do dialeto local, onde o termo seria traduzido para “Aqueles que se curvam ou contorcem” em função das fortes dores sentidas pelos acometidos por tal doença.

Em Pernambuco, a circulação do vírus da dengue vem sendo notificada há décadas, entretanto, os quatro sorotipos desta arbovirose só passou a circular no estado a partir do ano de 2004, isto segundo o Perfil socioeconômico, Demográfico e Epidemiológico de Pernambuco (Pernambuco, 2016).

No ano de 2015, Pernambuco viveu um dos maiores surtos de arboviroses já registrados no Brasil. À época dos fatos, os casos foram diagnosticados como dengue devido ao histórico significativo de notificações da doença no estado em anos anteriores. No entanto, com o surgimento de alguns sintomas diferentes dos já conhecidos clinicamente, grande parte dos diagnósticos iniciais foram posteriormente convertidos em Zika ou Chikungunya (Pernambuco, 2016). Sendo este mais um evento da linha do tempo de arboviroses no mundo e em Pernambuco (Figura 6).

Figura 6 – Linha do tempo das arboviroses no mundo e em Pernambuco



Fonte: Adaptado pelo autor. Pernambuco (2016); Powers (2018); Saeed e Asif (2020).

3.5 Geoprocessamento para gestão

O geoprocessamento ou as geotecnologias podem ser utilizados em diversos momentos dentro da administração pública. Consoante com Freitas Júnior, Silva e Moura (2020), estas ferramentas são cruciais e aplicáveis desde as etapas iniciais, como no levantamento de dados, até às etapas de execução e medição de resultados. A espacialização de informações facilitaria o entendimento dos problemas e a adoção de soluções racionalizadas em menor tempo.

Para além de sua participação em diversas etapas de um mesmo processo administrativo, vale salientar as diversas ramificações das geotecnologias dentro da gestão ambiental e sanitária. Sakti *et al.* (2023) utilizaram de análise espacial integrada para definir um modelo de distribuição de sistemas de tratamento de esgoto em Bandung, na Indonésia. Para tal, os autores utilizaram de três determinantes para definir as áreas com maior prioridade para implementação das plantas: adequação, volume potencial de tratamento de águas residuais e vulnerabilidade de inundações.

Em outra ramificação, o geoprocessamento de dados é incorporado à gestão sanitária da Colômbia (Feged-Rivadeneira *et al.*, 2022). Segundo os autores, no âmbito da saúde pública, a análise espacial acerca da distribuição de casos de doenças facilitou a identificação de áreas de risco no país, isto em função dos padrões geográficos de notificação encontrados, com configurações diferentes para cada doença estudada.

Análises espaciais também foram estabelecidas para avaliar as relações entre os níveis e padrões de risco e o uso e ocupação do solo e o desenvolvimento socioeconômico no que tange à gestão de águas subterrâneas na China (Jianbing *et al.*, 2020).

3.6 Índices e Indicadores de saneamento

Consoante com Nirazawa e Oliveira (2018), no Brasil, inexistente estrutura para a criação de indicadores que englobem todas as áreas do saneamento definidas em lei com o propósito de mensurar e monitorar a adequação do saneamento no Brasil. Este fator se agrava na esfera municipal.

O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) traz, anualmente, diversos “índices” relacionados às atividades de saneamento, entretanto, tratam de indicadores voltados ao cobertura dos serviços prestados e valores operacionais e financeiros. Exemplo desses dados são os índices de atendimento total de água, de coleta de esgoto, de arrecadação e outros números percentuais (SNIS, 2023). O principal resultado destes valores é a caracterização do saneamento básico nacional, inexistindo um direcionamento em escala municipal, sem parâmetros comparativos ou faixas classificatórias para definição de áreas prioritárias.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O material e métodos foi dividido em dois tópicos: I. Revisão Sistematizada da Literatura; II. Uso do Geoprocessamento na análise de arboviroses

4.1 Revisão Sistematizada da Literatura por meio de Análise descritiva, cienciométrica e qualitativa

Em conformidade com Soares, Melo e Camargo (2023), a Revisão Sistematizada de Literatura (RSL) funciona por meio de estratégias de busca e processos analíticos pré-definidos. Para além, possibilita resultados específicos, como é o caso da identificação do número de publicações voltadas ao tema e os artigos mais citados, além de dados geográficos sobre estes documentos. Segundo as autoras, estes dados possibilitam identificar tendências ao longo do tempo e lacunas científicas na área.

Uma forma de realizar a RSL é por meio da análise cienciométrica que, segundo Tague-Sutcliffe (1992), é o estudo quantitativo da ciência. Esta metodologia possibilita a caracterização da ciência em relação a uma determinada área de estudo e a análise do papel desempenhado pelos cientistas na construção do setor (Valencia; Chaves; Miranda, 2022). Em outras palavras, a ciencimetria seria caracterizada como a mensuração e a quantificação sistematizada da evolução científica de um tema, levando em consideração indicadores bibliométricos quantitativos (Parra; Coutinho; Pessano, 2019).

Segundo Parra, Coutinho e Pessano (2019), os indicadores cienciométricos podem ser o número médio de citações obtidas por cada artigo, o país de publicação, o número de trabalhos, entre outros.

A Revisão Sistematizada da Literatura do presente estudo dividiu-se em três etapas, com base na metodologia apresentada por Oliveira *et al.* (2023), Rahmawaty *et al.* (2024) e Li e Zhang (2024): I. Triagem dos artigos; II. Análise descritiva e cienciométrica; e III. Análise qualitativa. A metodologia foi resumida no fluxograma abaixo (Figura 7).

Figura 7 - Fluxograma da metodologia aplicada, incluindo triagem de estudos e análises realizadas



Fonte: Autor (2025).

4.1.1 Triagem dos artigos

A seleção de artigos foi direcionada por meio do banco de dados *Scopus*. Para tal, foram definidas as palavras-chave no idioma inglês: “*Sanitation*”, “*Management*” e “*Indicators*”. Para que todos os documentos possuíssem todas as palavras-chave em seus títulos, em suas palavras-chave ou em seus resumos, foi utilizado do operador booleano AND, combinando os termos da seguinte forma: “*Sanitation*” AND “*Management*” AND “*Indicators*”.

Ao tentar inserir as palavras-chave “*Arbovirus*” ou “*Arboviruses*”, apenas um artigo foi encontrado, intitulado “*Density of Aedes aegypti (Diptera: Culicidae) in a low-income Brazilian urban community where dengue, Zika, and chikungunya viruses co-circulate*”, de

Souza *et al.* (2023), o qual utilizou a densidade de criadouros do mosquito *A. aegypti* em uma comunidade da Bahia como indicador de gestão. Como o número de artigos nesse cenário foi pequeno (1), o mesmo foi descartado.

Os resultados foram refinados a partir dos seguintes filtros: I. Tipo – com a escolha de análise apenas para artigos originais; II. temporalidade – com artigos publicados dentro do intervalo de 2003 a 2024; III. *Open Access* – com artigos de consulta aberta/livre; e IV. Idioma – a partir de artigos exclusivamente em inglês, português ou espanhol. A busca foi realizada no dia 04 de novembro de 2024 e nenhuma outra filtragem foi realizada.

4.1.2 Análise descritiva e cienciométrica

Como estabelecido por Rahmawaty *et al.* (2024), a análise descritiva baseia-se nos valores quantitativos e geográficos dos documentos publicados, avaliando o número de publicações por ano (n), seu acumulado (n) e a origem desses artigos, incluindo os países, os periódicos de publicação e as universidades associadas aos autores.

Em relação aos periódicos, foi identificado o fator de impacto de cada um deles a partir da plataforma *Journal Citation Reports*, que define o funcionamento da relação entre artigos publicados e artigos citados por um periódico. De mesmo modo, foi identificada a classificação Qualis Periódicos das revistas, que afere o nível de qualidade de veículos de divulgação de periódicos científicos com viés acadêmico de pós-graduação com base em critérios pré-definidos.

A análise cienciométrica visou analisar as tendências, as citações e as citações cruzadas dos artigos. Esta etapa foi realizada através do software VOSViewer, versão 1.6.20, em associação com o software QGIS, versão 3.34.7, para construção da representação de distribuição geográfica.

Os resultados do VOSViewer foram representados a partir de estruturas interligadas de elementos circulares. Quanto maior for o tamanho de cada círculo, mais forte é a importância daquele dado em relação a uma variável, como palavra-chave mais recorrente, autor mais citado ou com maior número de publicações. Os elementos são conectados por linhas, as quais também podem ser mais grossas ou mais finas, a depender do nível de conexão entre os dados ou o número de vezes que aquela conexão aconteceu em artigos diferentes. Dentro dessa rede, *subclusters* podem ser criados e são diferenciados por cores (Chen *et al.*, 2024).

4.1.3 Análise qualitativa

Foram escolhidos os 10 artigos mais citados de cada período de 10 anos (2003-2013 e 2014-2024) para realizar análise de conteúdo, totalizando 20 artigos analisados. Segundo Li e Zhang (2024), a complementação da análise cienciométrica com uma abordagem qualitativa possibilita uma compreensão mais profunda sobre a literatura e o estado da arte de um tema em específico.

Nesse contexto, foram avaliados os indicadores utilizados nos 10 artigos selecionados e a aplicação ou objetivo dos mesmos em relação à gestão do saneamento, dentro do escopo das publicações.

4.2 Uso de Geoprocessamento na análise de arboviroses

Para construção das narrativas, foi feito o uso de séries temporais, observando de um mesmo dado em função de diferentes épocas de ocorrência.

No contexto da presente pesquisa, o dado temporal traduziu-se em casos oficiais de arboviroses, notificados no município de Recife, em Pernambuco (espaço), ao longo dos anos de 2015, 2017, 2019 e 2021 (tempo), sendo esta uma análise bienal. Esta metodologia possibilitou a análise da existência ou não de um padrão estabelecido para os locais estudados, crescimento de casos e outras variáveis pertinentes.

Os processos de análise foram realizados a partir do uso de geoprocessamento partindo em concordância com as seguintes etapas (Figura 8):

- I. Aquisição de dados:
- II. Tratamento de dados: exclusão de dados não pertinentes, como dados de sexo biológico, ocupação dos pacientes, sintomas e outros, além dos casos sem informações espaciais de bairro e/ou logradouro; unificação de bancos de dados em função de variáveis em comum, como localização no espaço; e construção de base unificada de dados referentes ao município do Recife, seus bairros e suas Comunidades de Interesse Social;
- III. Análises estatísticas espaciais: Inserção dos dados tratados no software QGIS Desktop 3.16.16 with GRASS 8.8.5 e no software GeoDa; Produção, utilizando

da união de dados alfanuméricos e geográficos, de mapas e representações que destaquem o seguinte: as áreas com maiores notificações de casos notificados das arboviroses Zika vírus, Dengue e Chikungunya; as regiões com a presença de Comunidades de Interesse Social do Recife; a sobreposição espacial de dados entre arboviroses e CIS; e outras representações que se mostrarem pertinentes. Análises de distribuição espacial, de estatísticas espaciais e produção de mapas e representações.

IV. Classificação de risco.

Figura 8 – Sequência do Geoprocessamento

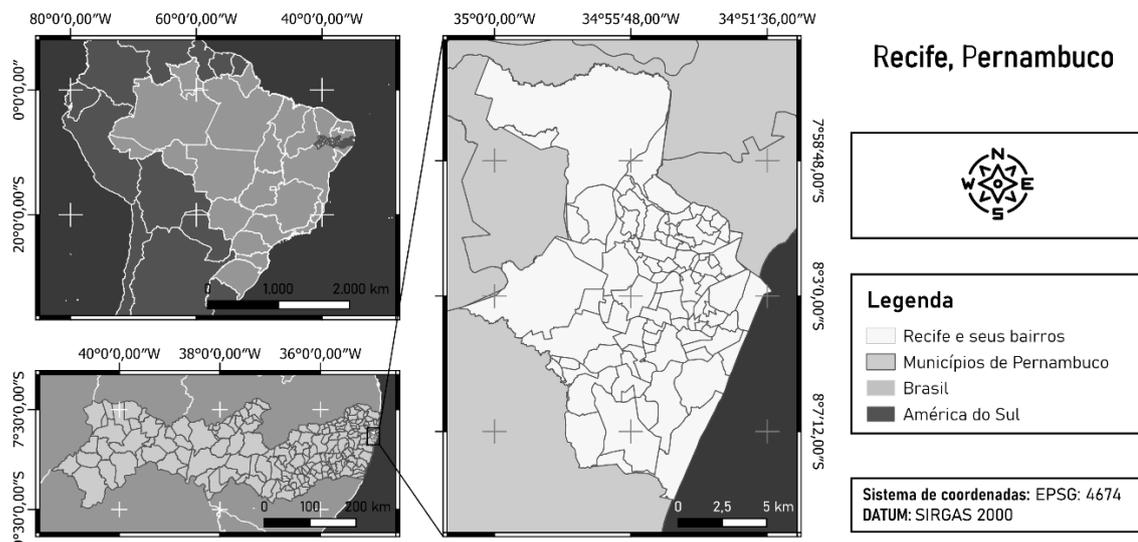


Fonte: Autor (2025).

4.2.1 Escolha e caracterização da área de estudo

Dividida em 94 bairros, a cidade do Recife (Figura 9), capital do estado de Pernambuco, está localizada na região Nordeste do Brasil. Consoante com Souza Leão, Andrade e Nascimento (2021), possui o clima tropical úmido, com temperaturas médias de 30 °C no verão e superiores aos 18 °C no restante do ano.

Figura 9 – Município do Recife, Pernambuco, Brasil.



Fonte: Autor (2025).

Localizada na costa brasileira, apesar de estar inserida no bioma Mata Atlântica, 65% do seu território está urbanizado, 142 km² da área total de 218,843 km² (IBGE, 2025). Ressalta-se que toda a população do Recife, até o ano de 2021, estava localizada em zona urbana (SNIS, 2023).

Mais da metade (53%) da população do município estava inserida em regiões caracterizadas pela precariedade de infraestruturas de saneamento e pela baixa renda da população (Recife, 2019). Esse tipo de estrutura social advém da busca desenfreada por moradia, comum em metrópoles brasileiras, como é o caso do Recife.

Regiões como a do Recife, de clima tropical ou subtropical, apresentam alto índice de casos relacionados a arboviroses como Chikungunya (CHIKV) e dengue (DENV) (Fischer *et al.*, 2021). Além do clima, zonas urbanas também são facilitadoras para a proliferação do mosquito *A. aegypti*, principal vetor de transmissão dessas doenças (Almeida; Cota; Rodrigues, 2020).

As CIS do Recife foram definidas em 2015 a partir do Atlas de Comunidades de Interesse Social (CIS). A escolha do município como área de estudo foi feita em função da prévia definição das áreas com precariedade de saneamento pela Prefeitura do Recife, o que permite testar a validade do indicador, e da disponibilidade de dados sobre as arboviroses. Com a validação do indicador, o mesmo pode ser aplicado em áreas sem a prévia definição.

4.2.2 Aquisição de dados

Por serem capazes de armazenar dados alfanuméricos e dados geográficos, foram obtidos arquivos com extensão ‘shapefile’ com os dados geográficos de Pernambuco, do município do Recife e das Comunidades de Interesse Social da cidade. Tais arquivos foram copiados do site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e do Sistema de Informações Geográficas da Prefeitura da Cidade do Recife (ESIG).

Em relação às arboviroses, a fonte foi a Secretaria de Saúde do Recife, consultada a partir do portal Dados Recife, o qual disponibiliza o número de casos em função do endereço de residência dos pacientes (bairro e logradouro) para os anos de 2015 a 2021.

Foram utilizados 64.405 casos de arbovirose no Recife, divididos entre 2015, 2017, 2019 e 2021, dos quais 73,6% foram diagnosticados como dengue, 1,8% como Zika e 24,6% como Chikungunya (Tabela 1).

Tabela 1 - Porcentagem de casos de Dengue, de Zika e de Chikungunya em cada um dos anos observados em relação ao total de dados tratados e utilizados

Dados sobre as arboviroses no município do Recife				
Ano	Dengue	Zika	Chikungunya	Total
2015	30.291 (98,5%)	385 (1,3%)	67 (00,2%)	30.743
2017	2.187 (67,5%)	120 (3,7%)	935 (28,8%)	3.241
2019	6.495 (81,5%)	193 (2,4%)	1.287 (16,1%)	7.975
2021	8.415 (37,5%)	492 (2,2%)	13.539 (60,3%)	22.446
Média	11.847 (71,25%)	297,5 (2,4%)	3.957 (26,35%)	16.101,25
Total	47.388 (73,6%)	1.190 (1,8%)	15.828 (24,6%)	64.405

Fonte: Autor (2025).

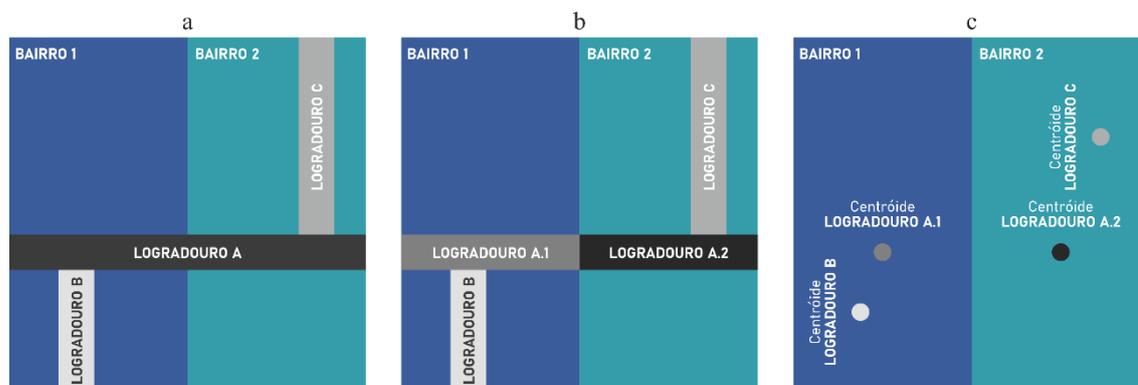
4.2.3 Tratamento de dados

Os dados de arboviroses foram disponibilizados pela Prefeitura do Recife com duas informações espaciais: Bairro e Logradouro de residência do paciente.

Os logradouros foram utilizados como unidades fundamentais de análise. Para tal, adotou-se a seguinte sequência (Figura 10):

- I. Os logradouros (ruas, avenidas, travessas, etc.) foram divididos por trechos em função do limite de cada um dos bairros do Recife. Um mesmo logradouro poderia existir em dois bairros distintos, tendo o direcionamento dos casos feito ao trecho localizado no bairro de moradia informado pelo paciente (Figuras 10.a e 10.b).
- II. Foi identificado um centróide para cada logradouro, representando o centro sua trajetória (Figura 10.c).

Figura 10 - Etapas para a obtenção da unidade de análise de logradouros para centróides.



Fonte: Autor (2025).

A quantidade anual de casos identificados em um logradouro foi, manualmente, atrelada ao centróide deste. O uso de centróides poderia induzir a erros, uma vez que grandes logradouros em um mesmo bairro teriam seus casos reduzidos a uma área específica, aumentando a concentração de casos em uma mesma área. O índice de Moran, utilizado no presente estudo, ameniza este problema ao analisar estatisticamente a relação das áreas com seus vizinhos.

Num segundo momento, a região do Recife foi dividida em uma grade regular de 300m x 300m, adaptando a metodologia adotada por Gedamu, Plank-Wiedenbeck e Wodajo (2024). Os dados dos centróides foram transferidos para as respectivas áreas que estavam sobrepostos. Essa conversão de linhas (logradouros) para centróides e de centróides para polígonos foi necessária para a realização das análises, como é o caso da aplicação do Índice de Moran (Figura 11).

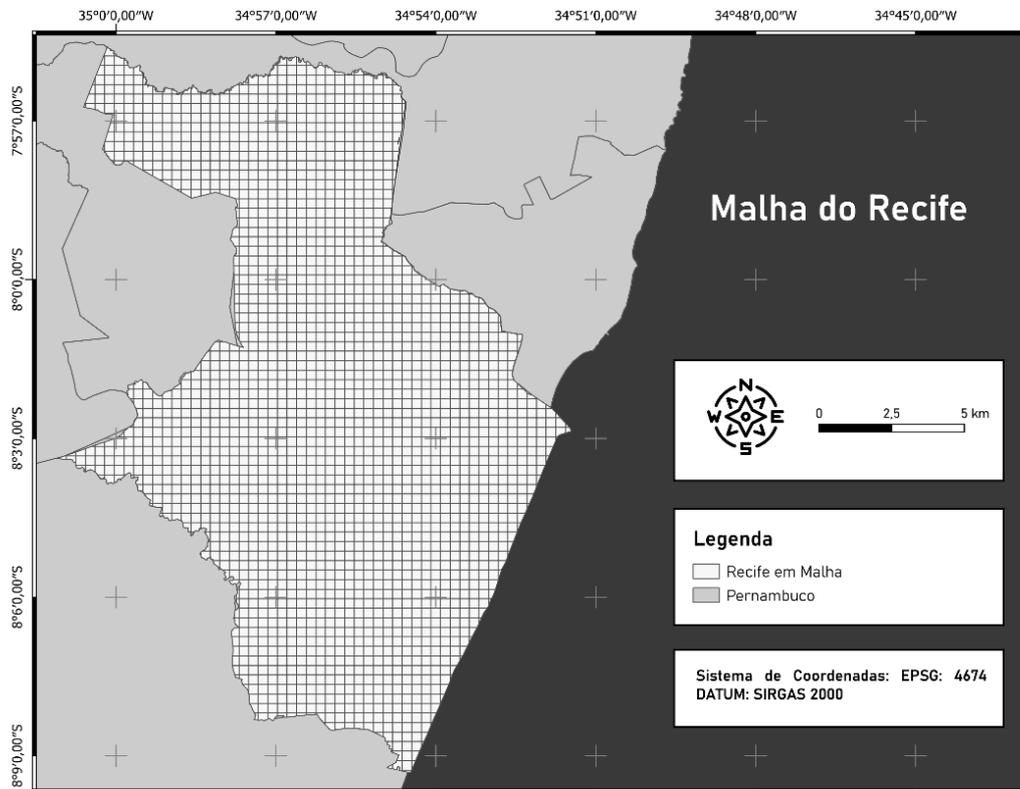
Figura 11 - Etapas para a obtenção da unidade de análise de centróides para áreas.



Fonte: Autor (2025).

Os casos notificados que não possuíam informação de bairro e/ou de logradouro foram removidos durante o levantamento dos dados pela impossibilidade de identificação do local de moradia. A Figura 12 representa a malha real utilizada para subdividir o município do Recife.

Figura 12 - Município do Recife dividido em malha



Fonte: Autor (2025).

4.2.4 Análises espaciais e estatísticas

4.2.4.1 Estimativa de Densidade Kernel

Para identificação dos *hotspots* e criação dos mapas de calor, foi utilizado o algoritmo da Estimativa de Densidade Kernel, nativo do software QGIS. De acordo com Makumbura *et al.* (2024), o objetivo primário deste algoritmo é o de criar uma superfície de densidade contínua de eventos pontuais através do espaço.

No presente estudo, esta metodologia foi utilizada para avaliar a densidade de casos de arboviroses dentro da malha de regiões com possibilidade de ocorrência de casos de arboviroses. Esse procedimento permite uma avaliação visual dos dados.

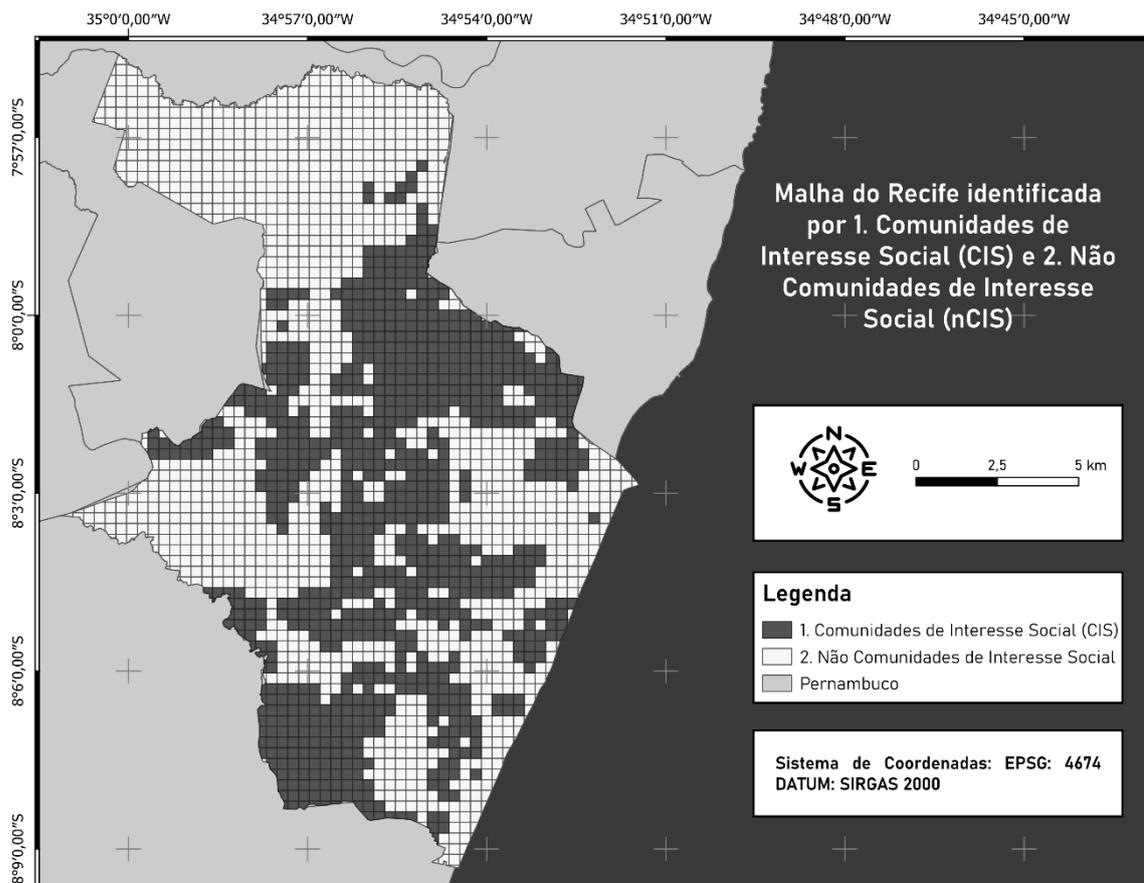
A distância de influência ou largura de banda (*bandwidth*) adotada ao redor de cada ponto foi de 150m, com uma resolução de grade raster de pixels de 0,15x0,15. Segundo Barrier *et al.* (2025), a largura de banda define o nível de suavização da distribuição da densidade.

Maiores valores para esse parâmetro resultam em estimativas mais suavizadas, enquanto menores valores para a bandwidth ocasionam estimativas mais detalhadas.

4.2.4.2 Índice de Moran

A malha representante da área do Recife recebeu os dados “1” para definir se os polígonos representam Comunidades de Interesse Social ou “2”, quando não representam (Figura 13). A análise de correlação espacial a partir do Índice de Moran foi aplicada por meio do GeoDa, um sistema Geográfico de Informação de acesso livre e gratuito (Ren; Cao, 2022). No software, os dados de arboviroses foram definidos como variável de evento (variando de 0 a n) e a identificação de CIS foi definida como Variável base (variando de 1 a 2).

Figura 13 – Malha do Recife identificada por (1) Comunidades de Interesse Social e (2) Não Comunidades de Interesse Social



Fonte: Autor (2025).

As análises estatísticas foram realizadas em função do o Índice de Moran (Moran, 1950), cuja função é de identificar correlações espaciais entre as áreas vizinhas. No presente

estudo, o Índice de Moran foi utilizado para avaliar a existência de autocorrelação espacial estatisticamente significativa entre as áreas caracterizadas pela ausência de saneamento e os casos de arboviroses, construindo os mapas de Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA).

O Índice de Moran varia de -1 a +1, onde valores negativos indicam autocorrelação espacial negativa e valores positivos indicam a presença de autocorrelação positiva, enquanto que o valor 0 indica distribuição espacial aleatória com ausência de autocorrelação espacial (Tan *et al.*, 2022). No contexto do presente estudo, valores positivos para o Índice de Moran indicariam autocorrelação entre os casos de arboviroses e as áreas com saneamento deficitário, enquanto que valores negativos do mesmo índice indicariam que os casos de arboviroses não estão espacialmente ligados às áreas sem infraestruturas suficientes de saneamento.

De acordo com Liu *et al.* (2025), o Índice de Moran é capaz de caracterizar áreas como críticas, frias ou espacialmente discrepantes, identificando os respectivos *clusters*. Áreas críticas são definidas como aquelas que possuem altos valores de uma variável e estão cercadas por outras áreas também detentoras de altos valores, sendo identificadas por Alto-Alto ou AA. Do mesmo modo, áreas frias são aquelas com baixo valor de uma variável rodeadas de outras áreas com a mesma característica, nomeadas por Baixo-Baixo ou BB. Enquanto isso, áreas espacialmente discrepantes estão cercadas por áreas cuja característica é oposta à sua própria, isto é, áreas com baixos valores para uma variável estão rodeadas por áreas com altos valores para a mesma variável ou o contrário, sendo estas definidas por Baixo-Alto (BA) ou Alto-Baixo (AB), respectivamente. Uma outra classificação para áreas a partir do LISA é a de Não significativa ou NS, cujas áreas não apresentam um padrão espacial em relação aos seus vizinhos (Tan *et al.*, 2022).

O Índice de Moran trabalha com valores para a significância estatística p de até 0,05. Este valor indica que é improvável que os valores espaciais obtidos sejam consequência do acaso uma vez que existe baixa probabilidade de randomização (5%), apresentando significância estatística para os resultados (Soltani; Askari, 2017).

Para tal avaliação, foi utilizada a matriz rainha para definição dos pesos no software, levando em consideração os vizinhos dos vizinhos mais próximos para analisar a relação de autocorrelação espacial, contanto que os distritos sejam geograficamente adjacentes (Lin *et al.*, 2021; Dey; Ray; Majumder, 2024).

O software Qgis foi utilizado para construção de mapas e visualização de dados obtidos. A partir da elaboração de todos os mapas e representações, foi feita, então, a última etapa, que consistirá da análise de dados para possibilitar as tomadas de decisões voltadas à gestão do saneamento básico e ambiental, em função do direcionamento da aplicabilidade do geoprocessamento e das arboviroses como indicadores.

4.2.4.3 *Modelo de Cadeia de Markov*

Com base nas relações espaciais estabelecidas pelo Índice de Moran para os anos de 2015, 2017, 2019 e 2021, foi utilizado o Modelo de Cadeia de Markov para avaliar a probabilidade de evolução dos sistemas, definindo a probabilidade de uma relação permanecer como está ou ser substituída por outra.

O modelo de cadeia de Markov tem como função analisar o funcionamento de um processo, porém levando em consideração que seu estado futuro depende, unicamente, do seu estado atual (Franco *et al.*, 2021). Para a aplicação dessa metodologia, foi utilizada a linguagem de programação R por meio do software RStudio. O banco de dados foi organizado em três colunas em uma planilha do software Excel com extensão .csv, contando com os seguintes dados: **I.** ID (1 ID para cada área da malha do Recife); **II.** ANO (2015, 2017, 2019 e 2021) e **III.** LISA_CL (Índice de Moran Local variando de 0 a 4).

O banco de dados foi carregado no software RStudio e foi calculada a matriz de transição, que definiu a probabilidade de manutenção ou alteração da relação LISA_CL. O resultado foi plotado em uma imagem para melhor visualização.

4.2.5 Identificação de áreas de risco

Com base nos resultados obtidos por meio das análises espaciais e estatísticas, as áreas do Recife foram classificadas em quatro categorias de prioridade de ação: baixa, média, alta e crítica. Essa classificação foi fundamentada com base nos valores obtidos a partir do Índice de Moran.

Para tal, foi atribuído um peso para cada relação, variando de 1 a 4. Os pesos foram atribuídos com base no nível de condição sanitária da relação, sendo peso 4 para a pior relação e 1 para a melhor (Quadro 1).

Quadro 1 - Pesos atribuídos às relações obtidas a partir do Índice de Moran

Relação	Peso
Alto-Alto (AA)	4
Alto-Baixo (AB)	3
Baixo-Alto (BA)	2
Baixo-Baixo (BB)	1

Fonte: Autor (2025).

A relação Não Significante (NS) foi retirada da equação, uma vez que não apresenta um padrão estatisticamente significativo. Anos cuja área recebeu essa identificação foram definidos como relações inválidas para fins de cálculo.

Para determinar o nível de risco, foi utilizada uma média ponderada. Nesta abordagem, a frequência com que uma área apresentou cada relação espacial (AA, AB, BA ou BB) foi multiplicada pelo peso atribuído à relação, o somatório deste resultado foi dividido pela quantidade de anos com relações válidas (\neq NS) (Equação 1).

Equação 1 - Média Ponderada para atribuição dos níveis de risco

$$\frac{\sum_{i=1}^n (\text{Frequência da Relação} * \text{Peso da Relação})}{\text{Quantidade de Anos com Relações válidas}}$$

Fonte: Autor (2025).

A média ponderada final, a prioridade de ação que o resultado representa e sua respectiva definição foram resumidos no Quadro 2 abaixo.

Quadro 2 – Classificação de risco das áreas do Recife

Média Ponderada (X)	Prioridade de ação	Definição	Identificação
$0,00 < X \leq 1,00$	Baixa	A área apresenta baixa necessidade de ações voltadas ao saneamento em relação ao indicador arbovirose.	
$1,00 < X \leq 2,00$	Média	A área apresenta média necessidade de ações voltadas ao saneamento em relação ao indicador arbovirose.	
$2,00 < X \leq 3,00$	Alta	A área apresenta alta necessidade de ações voltadas ao saneamento em relação ao indicador arbovirose.	
$3,00 < X \leq 4,00$	Crítica	A área apresenta necessidade crítica de ações voltadas ao saneamento em relação ao indicador arbovirose.	

Fonte: Autor (2025).

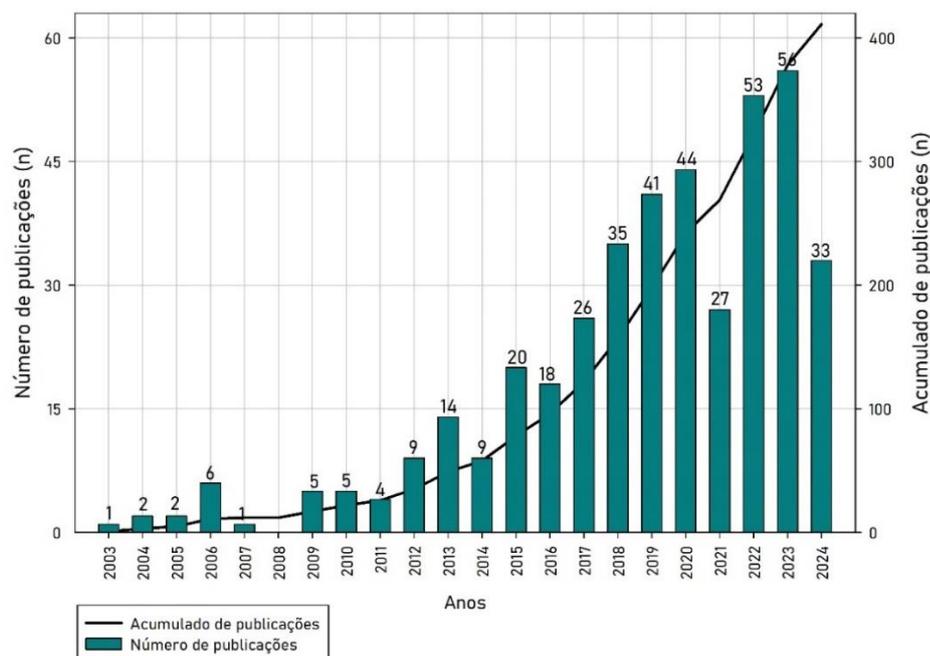
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise descritiva, cienciométrica e qualitativa

5.1.1 Evolução de publicações

Foram identificadas, por meio das palavras chave “*Sanitation*”, “*Management*” e “*Indicators*” e da aplicação de filtros, 411 publicações entre 2003 e 2024. Houve uma média de 18,7 publicações por ano. O maior pico de artigos foi no ano de 2023, com um total de 56 documentos, representando 13,62% da amostra total (Figura 14).

Figura 14 - Número de publicações voltadas aos temas de saneamento, gestão e indicadores por ano (n) e seu acumulado (n), 2003-2024



Fonte: Autor (2025).

A análise do gráfico de número de publicações por ano pode ser separada em dois estágios distintos. O período inicial de análise, de 2003 a 2011, indica uma estabilidade de artigos publicados, variando de 0 a 6 artigos publicados anualmente, com uma média de 2,88 manuscritos ao ano. A partir de 2012 e até 2024, é possível observar que o tema passa a apresentar uma crescente no número de publicações, indicando um maior nível de interesse pela academia, chegando aos seus maiores valores em 2022 (53 artigos) e 2023 (56 artigos).

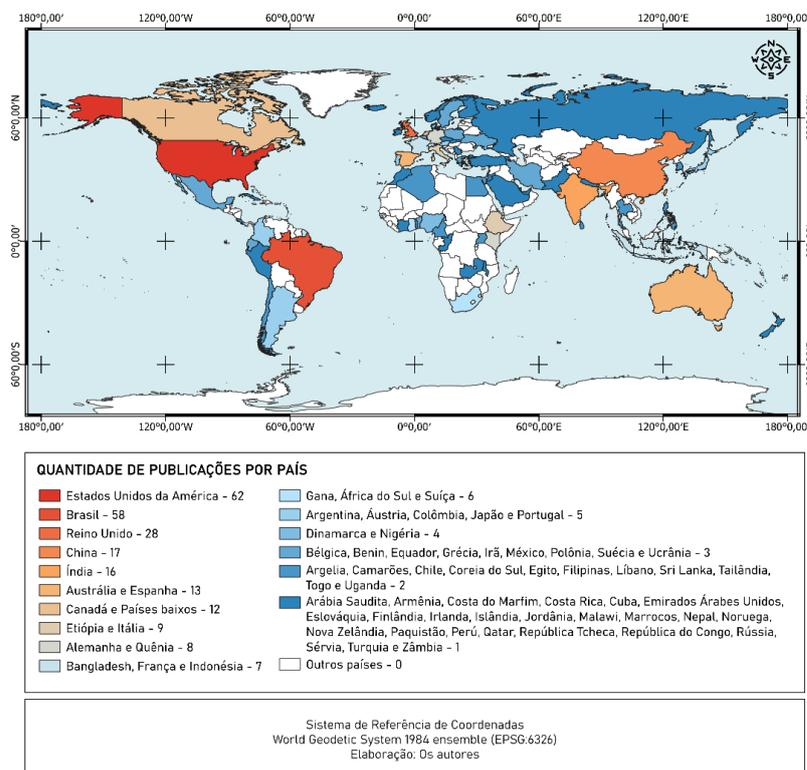
Esse crescente número de publicações de 2012 a 2024 pode estar ligado ao reconhecimento da área do saneamento como uma questão crítica às questões ambientais atuais, além do período estar situado paralelo a um importante acordo internacional, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), de 2015, com o ODS 6 – Água Potável e Saneamento sendo parte integrante do documento.

5.1.2 Distribuição geográfica

A distribuição geográfica dos países responsáveis pelos artigos analisados pode ser vista na Figura 15. Países em tons mais quentes representam aqueles com o maior número de publicações entre 2003 e 2024, enquanto que aqueles com cores mais frias publicaram menos. O número de publicações variou de 62 a 0 artigos.

Os países com maior número de publicações foram Estados Unidos da América e Brasil, com 62 e 58 artigos, respectivamente. Outros países como Reino Unido (Inglaterra, Escócia, País de Gales e Irlanda do Norte), China (China e Taiwan), Índia, Austrália e Espanha apresentaram alto número de publicações (Figura 15).

Figura 15 - Número de publicações produzidas em cada um dos países



Fonte: Autor (2025).

5.1.3 Principais periódicos e organizações relacionados ao tema

O Quadro 3 apresenta as 10 revistas com maior número de publicações, seus respectivos *International Standard Serial Numbers* (ISSN), o Qualis CAPES do período 2017-2020 e o Fator de Impacto. As dez principais revistas somam 129 artigos, 31,40% do total. A principal revista dentre os artigos selecionados foi a PLoS One, com um total de 19 artigos publicados, ou seja, um total de 4,62% do total. As cinco primeiras revistas, em ordem de nº de publicações e de fator de impacto, são de origem estadunidense, suíça, neerlandesa, estadunidense e brasileira, respectivamente.

Quadro 3 - Os 10 principais periódicos em relação à publicação de artigos na temática selecionada.

ISSN	Título	País de Origem	Nº de publicações	Fator de impacto atual ¹	Qualis CAPES (2017-2020)
1932-6203	<i>PLoS One</i>	Estados Unidos da América	19	2,9	A1
1660-4601	<i>International Journal of Environmental Research and Public Health</i>	Suíça	17	4,614	A1
0048-9697	<i>Science of the total environment</i>	Países Baixos	14	8,2	A1
2043-9083	<i>Journal of water, sanitation and hygiene for development</i>	Estados Unidos da América	14	1,6	A4
1413-4152 1809-4457	Engenharia Sanitária e Ambiental	Brasil	14	0,4	A4
2071-1050	<i>Sustainability</i>	Suíça	13	3,3	A2
1477-8920	<i>Journal of water and health</i>	Reino Unido	13	2,5	A3
1471-2458	<i>BMC Public Health</i>	Reino Unido	9	3,5	A1
2073-4441	<i>Water</i>	Suíça	9	3,0	A3
0273-1223	<i>Water science and technology</i>	Reino Unido	7	2,5	A3

¹ Com autocitações.

Fonte: Autor (2025).

Todas as revistas foram caracterizadas com Qualis A, indicando alta qualidade acadêmica. Com exceção da revista “Engenharia Sanitária e Ambiental”, com fator de impacto 0,4, todas as outras obtiveram fator de impacto acima de 1, ou seja, com boa proporção entre número de citações dos itens publicados e número de publicações.

Os periódicos identificados como os que mais publicam sobre o tema tratam de diferentes assuntos, como saúde pública, desenvolvimento sustentável e qualidade ambiental.

O PLoS One publica artigos voltados às ciências naturais, à medicina e às áreas da engenharia, enquanto que o *International Journal of Environmental Research and Public Health* foca em tópicos voltados à promoção da saúde e à prevenção de doenças, temática similar à da *BMC Public Health*, que lida com a epidemiologia de doenças e com a compreensão de todos os aspectos da saúde pública. Por sua vez, a *Science of the total environment* enfoca na qualidade ambiental e em seus impactos nos ecossistemas e na saúde humana.

A revista científica *Journal of water, sanitation and hygiene for development* aborda ciência, política e práticas voltadas aos serviços de saneamento e higiene, mesmo tema tratado pelo periódico brasileiro Engenharia Sanitária e Ambiental. O periódico *Sustainability* trata de estudos relacionados à sustentabilidade e ao desenvolvimento sustentável. Voltados à questão da água, o *Journal of water and health* explora as implicações para a saúde e o controle de microrganismos e substâncias químicas transmitidas pela água, enquanto que a revista *Water* lida com a ciência e a tecnologia da água, tema também discutido na revista *Water science and technology*.

Em relação aos outros 207 periódicos que publicaram sobre o tema, a maioria apresenta fator de impacto entre 2 e 4 (37,68%) e Qualis A1 (27,54%) (Tabela 2).

Tabela 2 – Outros periódicos em relação à publicação de artigos na temática selecionada.

Journal Impact Factor pelo Journal Citation Reports			Classificação pelo Qualis Periódicos		
Fator de impacto (x)	Quantidade de documentos (n)	Porcentagem (%)	Classificação	Quantidade de documentos (n)	Porcentagem (%)
$0 \leq x < 1$	24	11,59	A1	57	27,54
$1 \leq x < 2$	24	11,59	A2	35	16,91
$2 \leq x < 4$	78	37,68	A3	29	14,01
$4 \leq x < 6$	20	9,66	A4	17	8,21
$6 \leq x < 8$	12	5,80	B1	9	4,35
$8 \leq x < 10$	5	2,42	B2	11	5,31
$10 \leq x < 20$	7	3,38	B3	8	3,86
$20 \leq x < 50$	3	1,45	B4	2	0,97
$50 \leq x < 100$	2	0,97	C	6	2,90
Sem Fator de Impacto	32	15,46	Sem Qualis	33	15,94

Fonte: Autor (2025).

Em relação às organizações, foram identificadas 1.325 atreladas aos autores. Dessas, 22 publicaram 2 artigos e 1 publicou 3 artigos. A organização com o maior número de artigos (3) foi o *Department of International Health*, da *Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health*, sendo citada 87 vezes (Quadro 4).

Quadro 4 – 10 maiores Instituições em questão de publicações e/ou citações, 2003-2024

Organização (País)	País	Número de documentos	Número de citações
<i>Department of International Health, Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health</i>	Estados Unidos da América	3	87
<i>Norwegian Institute of Public Health</i>	Noruega	2	112
<i>Department of Global Health, University of Washington</i>	Estados Unidos da América	2	103
<i>London School of Hygiene & Tropical Medicine</i>	Inglaterra, Reino Unido	2	91
<i>Faculty of Health, Engineering and Science, Victoria University</i>	Austrália	2	90
<i>School of Engineering and Science, Victoria University</i>	Austrália	2	90
<i>School of Environment and Technology, University of Brighton</i>	Inglaterra, Reino Unido	2	88
<i>Department of Population Science and Human Resource Development, University of Rajshahi</i>	Bangladesh	2	81
<i>Stockholm International Water Institute (SIWI)</i>	Suécia	2	54
<i>Woods Institute for The Environment, Stanford University</i>	Estados Unidos da América	2	47

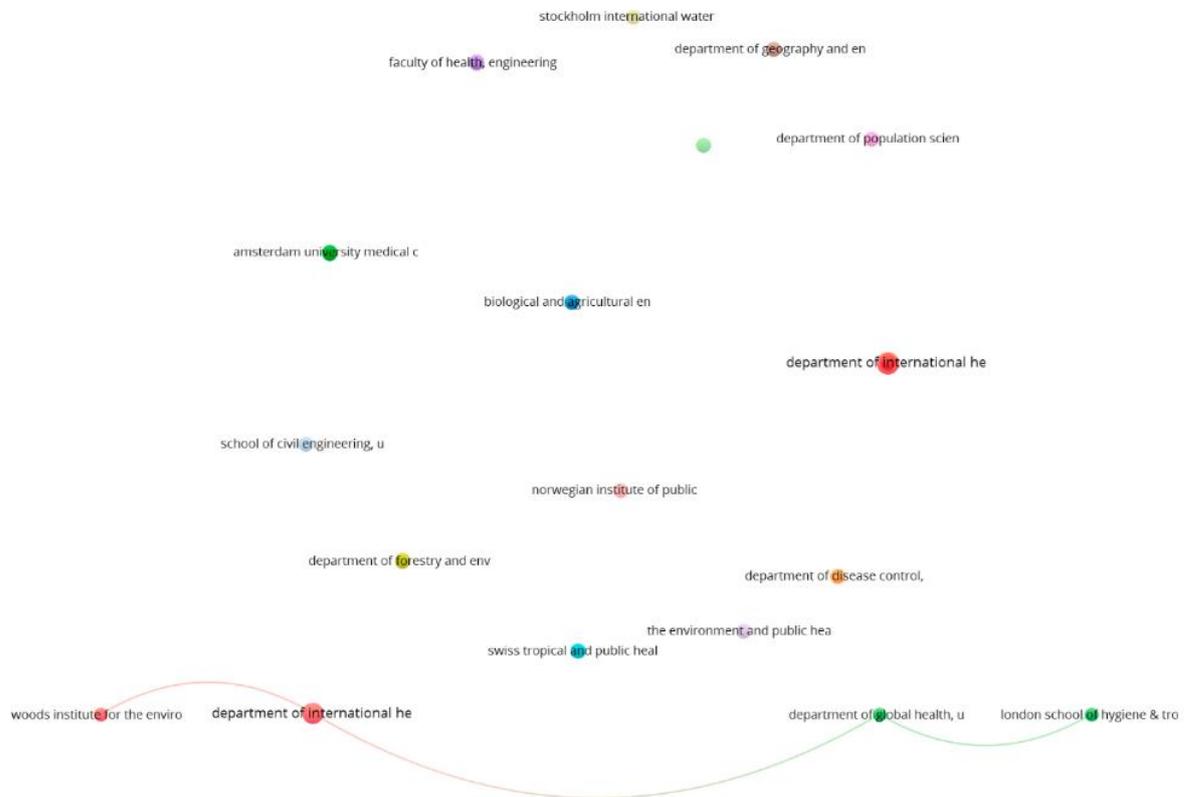
Fonte: Autor (2025).

Assim como em relação aos países e periódicos que mais publicam, os Estados Unidos da América aparecem no topo da lista de departamentos com mais publicações por meio do *Department of International Health, Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health*. Além disso, o país possui outras duas instituições com alto número de documentos ou de citações, o *Department of Global Health, University of Washington* e o *Woods Institute for The Environment, Stanford University*.

Apesar do maior número de instituições com mais de 1 documento publicado e com grande nível de citações, a organização com os artigos mais citados é a *Norwegian Institute of Public Health*, da Noruega, com 112 citações em suas publicações. Todas as instituições entre as 10 com mais documentos estão voltadas a questões de saúde, engenharia e/ou meio ambiente.

Com no máximo 25 organizações em um mesmo documento, foram identificadas 23 instituições com ao menos 2 documentos publicados em relação à autoria e à coautoria. A maior ligação está entre as instituições *Department of International Health, Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health* e *Woods Institute for the environment da Stanford University* (no cluster 1, em vermelho) e o *Department of Global Health da University of Washington* e a *London School of hygiene & Tropical Medicine (Cluster 2, em verde)*. Os links mostram as instituições que trabalharam juntas em um ou mais documentos (Figura 16).

Figura 16 - Visualização das Instituições e seus links em relação à autoria e à coautoria, 2003-2024



Fonte: Autor (2025).

5.1.4 Coocorrência de palavras-chave

A análise de coocorrência dos 411 artigos selecionados evidenciou que, do total de 4.341 palavras-chave contidas nos documentos, 1328 aparecem pelo menos duas vezes. Dessas, com o mínimo de 10 ocorrências, foram identificadas 159 palavras-chave separadas em quatro *clusters* (Figura 17).

e “*World Health Organization*”. O tema tratado por esse agrupamento volta-se ao saneamento por meio das políticas públicas de saúde e aos fatores socioeconômicos atrelados à essa área.

Adicionalmente, o *Cluster 3*, em azul, também com 41 palavras-chave, conta com termos como “*Climate changing*”, “*Decision making*”, “*Drinking water*”, “*Environmental management*”, “*Indicators*”, “*Monitoring*”, “*Quality control*”, “*Sanitation*”, “*Sustainability*”, “*Sustainable development*”, “*Water management*”, “*Water quality*” e “*Water supply*”. Nesse sentido, esta associação refere-se à gestão ambiental e à sustentabilidade, trazendo como foco mudanças climáticas, gestão do meio ambiente, monitoramento, saneamento e indicadores.

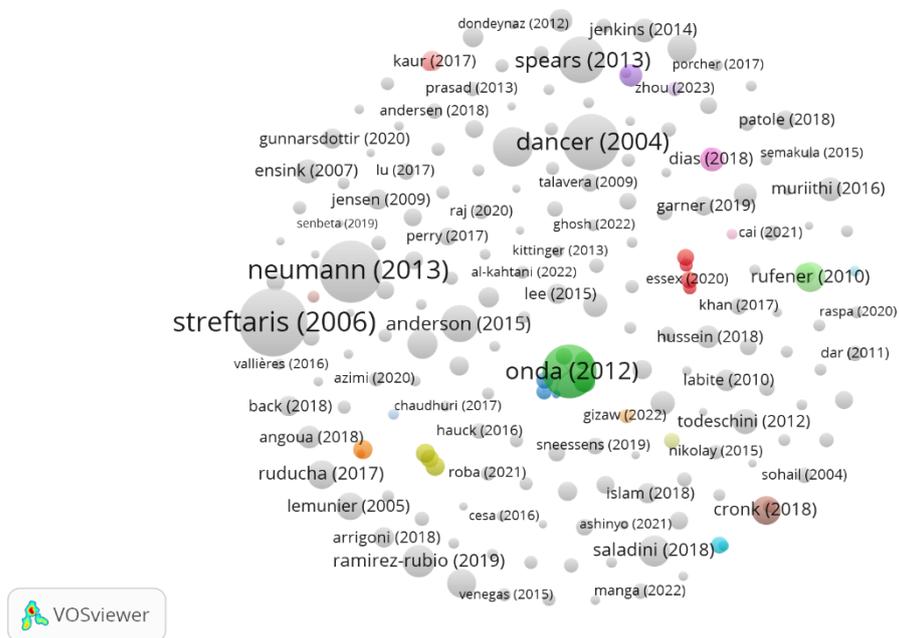
Por fim, o *Cluster 4*, em amarelo, este com 35 itens, traz palavras-chave como “*Adolescent*”, “*Adult*”, “*Diarrhea*”, “*Family characteristics*”, “*Female*”, “*Hand washing*”, “*Household*”, “*Hygiene*”, “*Malnutrition*”, “*Questionnaire*”, “*Risk factor*”, “*Rural area*” e “*Toilet facilities*”, tratando de aspectos sociais individuais e coletivos, caracterizando a população e os riscos atrelados à determinadas áreas.

5.1.5 Coocorrência de citações

Do total, apenas 357 já receberam alguma citação. Desses, o artigo “*Alien marine species in the Mediterranean - the 100 'worst invasives' and their impact*”, de Streftaris e Zenetos (2006) foi o artigo mais citado, com 525 citações. Em segundo e terceiro lugares, estão os artigos “*Compact solar autoclave based on steam generation using broadband light-harvesting nanoparticles*” de Neumann *et al.* (2013) e “*How do we assess hospital cleaning? A proposal for microbiological standards for surface hygiene in hospitals*” de Dancer (2004), com 428 e 356 citações, respectivamente. O artigo mais citado da década 2014-2024 foi “*Toxic Byproduct Formation during Electrochemical Treatment of Latrine Wastewater*”, de Jasper, Yang e Hoffmann (2017), com 177 citações.

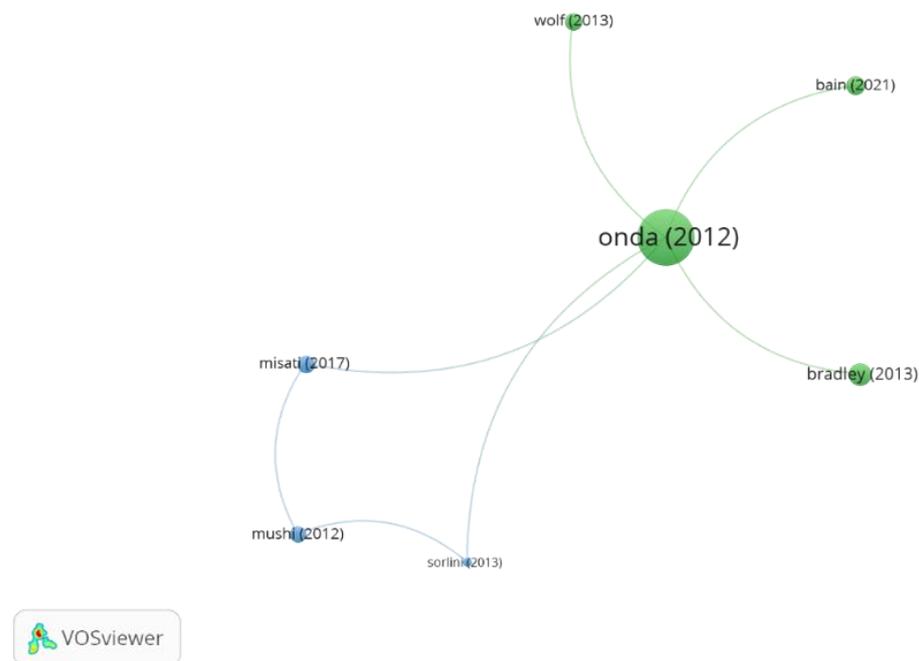
Levando em consideração aqueles que receberam ao menos 5 citações, existem apenas 18 *clusters*, ou seja, autores com citação cruzada dentro dos artigos selecionados, contando com autocitações. O maior *cluster* identificado possui 7 links entre os autores, unidos, principalmente, pelo artigo “*Global access to safe water: Accounting for water quality and the resulting impact on MDG progress*” por Onda, Lobuglio e Bartram (2012), que foi citado 324 vezes desde sua publicação (Figuras 18 e 19).

Figura 18 - Malha de coocorrências de citações, 2003-2024.



Fonte: Autor (2025).

Figura 19 - Principal coocorrência de citações entre os artigos selecionados.



Fonte: Autor (2025).

5.1.6 Análise qualitativa

Os 10 artigos mais citados dos períodos 2003-2013 e 2014-2024, juntos, formam os 20 artigos mais citados do período 2003-2024. A partir da análise qualitativa dos escritos, foi percebido que, dos 10 artigos mais citados de 2003-2013, 2 não apresentaram indicadores ou objetivos ligados à gestão do saneamento, sendo o tema saneamento discutido em função de outras questões (Quadro 5).

Quadro 5 - Os 10 artigos mais citados do período de 2003-2013, seus autores, títulos e indicadores.

Autor (ano)	Título	Indicadores utilizados relacionados à gestão do saneamento	Objetivo dos indicadores	Citações
Streftaris e Zenetos (2006)	<i>Alien marine species in the Mediterranean - the 100 'worst invasives' and their impact</i>	Espécies invasoras com impacto no saneamento como bioindicadoras: i. Fitoplânctons (<i>Alexandrium catenella</i> , <i>Coolia monotis</i> etc.); ii. Peixes (<i>Lagocephalus sceleratus</i> , <i>Plotosus lineatus</i> , etc.); e iii. Invertebrados (<i>Rhopilema nomadica</i>).	Impacto de espécies invasoras em relação à saúde e ao saneamento; A eutrofização de corpos hídricos pode ser causada pelo lançamento de esgoto doméstico sem tratamento adequado, resultando no aumento da densidade de organismos fotossintetizantes (Gadelha <i>et al.</i> , 2022; Miranda, 2024).	525
Neumann <i>et al.</i> (2013)	<i>Compact solar autoclave based on steam generation using broadband light-harvesting nanoparticles</i>	Não foram utilizados indicadores relacionados à gestão do saneamento.	-	426
Dancer (2004)	<i>How do we assess hospital cleaning? A proposal for microbiological standards for surface hygiene in hospitals</i>	Não foram utilizados indicadores relacionados à gestão do saneamento.	-	356
Onda, Lobuglio e Bartram (2012)	<i>Global access to safe water: Accounting for water quality and the resulting impact on MDG progress</i>	Indicadores ambientais e de desenvolvimento: i. Produto Interno Bruto (PIB) per capita; ii. Índice de Eficácia Governamental do Banco Mundial; iii. Índice de Desenvolvimento Humano (IDH); iv. Índice de Qualidade de água (IQA) do Índice de Desempenho Ambiental de Yale;	Gestão de água potável em relação aos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM), da ONU. O uso de indicadores foi estabelecido para a previsão da proporção de fontes de abastecimento de água	324

		<ul style="list-style-type: none"> v. Precipitação anual agregada; vi. Porcentagem da população que atinge o ensino superior; vii. Taxas de morbidade diarreica em crianças menores de 5 anos. viii. Fonte de abastecimento de água. 	que estão contaminadas fecalmente ou apresentam insegurança sanitária e contextualização das parcelas;	
Spears, Ghosh e Cumming (2013)	<i>Open Defecation and Childhood Stunting in India: An Ecological Analysis of New Data from 112 Districts</i>	<p>Indicadores socioeconômicos, sanitários e demográficos:</p> <ul style="list-style-type: none"> i. Defecação a céu aberto; ii. Nanismo infantil; iii. Índice de Mortalidade infantil; iv. Dados de consumo e calorias diária per capita; v. Taxa de alfabetização geral e feminina; vi. População em área urbana; vii. Tamanho das moradias; viii. Despesa média per capita mensal por distrito. 	Análise de correlação entre defecação a céu aberto e nanismo infantil com outros fatores populacionais.	239
Rufener et al. (2010)	<i>Quality of drinking-water at source and point-of consumption- Drinking cup as a high potential recontamination risk: A field study in Bolivia</i>	<p>Bioindicador de contaminação fecal:</p> <ul style="list-style-type: none"> i. <i>Escherichia coli</i>. 	Identificar os pontos críticos de contaminação de água e a recontaminação após tratamento.	106
Borchardt et al. (2003)	<i>Septic system density and infectious diarrhea in a defined population of children</i>	<p>Indicadores de cobertura e qualidade de saneamento e bioindicadores de contaminação:</p> <ul style="list-style-type: none"> i. Período de ocorrência de diarreia em crianças; ii. Agentes etiológicos (<i>Salmonella</i>, <i>Shigella</i>, <i>Escherichia coli</i> O157:H7, espécies de <i>Campylobacter</i>, <i>Yersinia enterocolitica</i>, oocistos de <i>Cryptosporidium</i>, cistos de <i>Giardia</i>, e antígenos de Rotavírus e adenovírus 40/41); iii. Densidade geográfica de tanques sépticos; iv. Qualidade da água doméstica; v. Características demográficas. 	Análise entre a relação da densidade de fossas sépticas e a endemia diarreica em pessoas entre 1 e 18 anos.	97
Lemunier et al. (2005)	<i>Long-term survival of pathogenic and sanitation indicator bacteria in experimental biowaste composts</i>	<p>Indicadores agrícolas e bioindicadores de contaminação:</p> <ul style="list-style-type: none"> i. Índice de humificação (ÁcidosHúmicos/ÁcidosFúvicos); ii. Proporção de carbono orgânico mineralizado durante a incubação do solo; iii. Microorganismos (bactérias mesófilas totais, coliformes totais e termotolerantes) como bioindicadores de saneamento; 	Foi analisada a sobrevivência de micro-organismos ligados à ausência de saneamento ou ao esgotamento sanitário em compostos de biorresíduos para a agricultura.	88
Todeschini, Papiri e	<i>Performance of stormwater</i>	Indicadores de cobertura e qualidade de saneamento:	Análise sobre o design e a gestão de tanques	70

Ciaponi (2012)	<i>detention tanks for urban drainage systems in northern Italy</i>	<ul style="list-style-type: none"> i. Total de Sólidos Suspensos (TSS) como indicador de qualidade de águas pluviais; ii. Precipitação anual; iii. Características das encanações municipais; iv. Inclinação do sistema de drenagem; v. Concentração máxima de poluentes em transbordamentos; vi. Duração de transbordamentos; vii. Massa poluente capturada/massa poluente escoada; viii. Volume de água enviada a estações de tratamento/volume de água escoada. ix. Tempo de esvaziamento de tanques de retenção pluvial; x. Número de transbordamentos anuais; xi. Duração anual de transbordamentos/Duração anual de escoamento de água pluvial; xii. Massa poluente capturada anualmente/massa poluente escoada anualmente; xiii. Volume anual de água enviada a estações de tratamento/volume anual de água escoada; xiv. Tempo anual de esvaziamento de tanques de retenção pluvial. 	de retenção pluvial na drenagem urbana.	
Ensink, Mahmood e Dalsgaard (2007)	<i>Wastewater-irrigated vegetables: Market handling versus irrigation water quality</i>	Bioindicadores de contaminação fecal; <ul style="list-style-type: none"> i. <i>Escherichia coli</i>; ii. Ovos de helminto. 	Análise do uso de esgotamento sanitário como meio de irrigação para vegetais e meios de contaminação no processo irrigação-mercado.	69

Fonte: Autor (2025).

O artigo de Streftaris e Zenetos (2006), o mais citado do período estudado, trouxe como temática base as 100 piores espécies invasoras no mediterrâneo e o impacto da presença destas em diferentes habitats, inclusive relacionando-as ao saneamento. Neste direcionamento, os autores tratam as espécies como bioindicadoras a partir dos seus impactos em alguma esfera socioeconômica, como é o caso daquelas que se multiplicam em meio aquático com alto nível de poluição devido à ausência de saneamento básico. No que tange à gestão, o intuito deste artigo é definir um arcabouço teórico base para a seleção de possíveis bioindicadores em diferentes setores da sociedade.

Segundo Lozano-Bilbao *et al.* (2023), bioindicadores possuem alta sensibilidade às mudanças climáticas, sendo capazes de reagir a contaminantes muito antes de qualquer outro indicador artificial ou abiótico. Para realizar a gestão de diferentes ameaças ambientais e

sanitárias, é necessário que seja realizado um monitoramento adequado dessas questões, tendo os bioindicadores como ferramentas versáteis para esse fim (Schmitz *et al.*, 2024).

Neste aspecto, outros artigos indicados entre os mais citados de 2003-2013 trazem o uso de bioindicadores. Os artigos “*Quality of drinking-water at source and point-of consumption-Drinking cup as a high potential recontamination risk: A field study in Bolivia*”, de Rufener *et al.* (2010); “*Septic system density and infectious diarrhea in a defined population of children*”, de Borchardt *et al.* (2003); “*Wastewater-irrigated vegetables: Market handling versus irrigation water quality*” de Ensink, Mahmood e Dalsgaard (2007); e “*Long-term survival of pathogenic and sanitation indicator bacteria in experimental biowaste composts*”, falam sobre bioindicadores de contaminação fecal e qualidade hídrica, principalmente a bactéria *Escherichia coli*, utilizada para avaliar a qualidade sanitária de um recurso hídrico.

Por outro lado, os artigos “*Global access to safe water: Accounting for water quality and the resulting impact on MDG progress*”, de Onda, Lobuglio e Bartram (2012); “*Open Defecation and Childhood Stunting in India: An Ecological Analysis of New Data from 112 Districts*”, de Spears, Ghosh e Cumming (2013); “*Performance of stormwater detention tanks for urban drainage systems in northern Italy*”, de Todeschini, Papiri e Ciaponi (2012); e os de Borchardt *et al.* (2003) e Lemunier *et al.* (2005), já citados, trazem outros indicadores voltados aos serviços e cobertura de saneamento e dados demográficos, como “Fonte de abastecimento de água”, “Taxa de defecação a céu aberto”, “Densidade geográfica de tanques sépticos”, “Tempo anual de esvaziamento de tanques de retenção pluvial”, “Índice de Desenvolvimento Humano (IDH)” e “Taxa de alfabetização geral e feminina”. Vale ressaltar os artigos de Onda, Lobuglio e Bartram (2012), que aborda os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio, um importante acordo internacional formulado pela ONU, e de Lemunier *et al.* (2005), que traz indicadores de serviços de agricultura.

Num contexto geral, dos 10 artigos apresentados, 2 não apresentaram tópicos relacionados ao uso de indicadores na gestão do saneamento, 5 falaram sobre bioindicadores em questões relacionadas à qualidade da água ou contaminação fecal, incluindo 2 que também trouxeram indicadores epidemiológicos, de serviço, de cobertura e/ou demográficos e, por último, 3 trouxeram indicadores de serviço, de cobertura e/ou demográficos. Dessa forma, o tema principal do período 2003-2013 – representado pelos 10 artigos mais citados do intervalo de tempo, foi o uso de bioindicadores como parte da gestão do saneamento em relação à qualidade da água e às doenças de veiculação hídrica ou atreladas à ausência do saneamento.

Para o período 2014-2024, 3 documentos não se encaixaram nos critérios de indicadores. O artigo de Anderson *et al.* (2015) intitulado “*The fishery performance indicators: A management tool for triple bottom line outcomes*”, não trouxe indicadores de saneamento. Já os artigos “*How Ethiopia achieved Millennium Development Goal 4 through multisectoral interventions: a Countdown to 2015 case study*” por Ruducha *et al.* (2017) e “*Forecasted trends in vaccination coverage and correlations with socioeconomic factors: a global time-series analysis over 30 years*”, de Figueiredo *et al.* (2016), trazem indicadores de saneamento, entretanto voltados à análise de outras problemáticas, sem relação com gestão de saneamento.

Todos os outros artigos trouxeram indicadores voltados à gestão do saneamento, incluindo 2 que utilizaram os dispostos no ODS 6 – Água Potável e Saneamento, da ONU, sendo estes “*Urban health: An example of a health in all policies Approach in the context of SDGs implementation*”, de Ramirez-Rubio *et al.* (2019) e “*Green technology and sustainable development: Assessment and green growth frameworks*”, de Guo *et al.* (2020) (Quadro 6). Ramirez-Rubio *et al.* (2019) trazem as políticas públicas voltadas à saúde da população no contexto dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, estabelecendo que esse tópico é fundamental para as tomadas de decisão no que tange a gestão em diferentes setores, inclusive ao do saneamento. Guo *et al.* (2020) analisaram formas sustentáveis de se obter desenvolvimento a partir de tecnologias inovadoras que não ofereçam risco ao meio ambiente, as tecnologias verdes. O estudo de Guo *et al.* (2020) busca ser útil na construção de políticas de gestão ambiental cujo foco seja implementar os princípios de um desenvolvimento sustentável, abrangendo o saneamento nesse sentido (Quadro 6).

Quadro 6 - Os 10 artigos mais citados do período de 2014-2024, seus autores, títulos e indicadores.

Autor (ano)	Título	Indicadores utilizados relacionados à gestão do saneamento	Aplicação do Indicador	Citações
Jasper, Yang e Hoffmann (2017)	<i>Toxic Byproduct Formation during Electrochemical Treatment of Latrine Wastewater</i>	Indicadores de qualidade de água: i. Trialometanos (THM): clorofórmio, bromodichlorometano, diclorobromometano e bromofórmio); ii. Ácidos Haloacéticos (AHA) clorados (ácido monocloroacético (MCAA), ácido dicloroacético (DCAA) e ácido tricloroacético (TCAA));	Avaliar a formação de subprodutos potencialmente perigosos advindos do tratamento eletroquímico de águas residuais de latrinas.	177
Anderson <i>et al.</i> (2015)	<i>The fishery performance indicators: A management tool for triple</i>	Não foram utilizados indicadores relacionados à gestão do saneamento.	-	156

	<i>bottom line outcomes</i>			
Ramirez-Rubio <i>et al.</i> (2019)	<i>Urban health: An example of a health in all policies Approach in the context of SDGs implementation</i>	Foram utilizados os Indicadores dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6 – Água Potável e Saneamento da ONU, de 2015.	Analisar as relações entre determinantes sociais de saúde, meio ambiente, comportamento, saúde e políticas públicas com os Indicadores dos ODS, incluindo os de saneamento.	120
Saladini <i>et al.</i> (2018)	<i>Linking the water-energy-food nexus and sustainable development indicators for the Mediterranean region</i>	Índices de saúde, uso e manejo agrícola e uso de água: i. Índice de Pobreza Multidimensional (IPM); ii. População acima do peso (%); iii. Uso da terra (%); iv. Emissões de GEE (total e de Agricultura, Florestas e Uso do Solo (AFOLU)) (tCO ₂ e); v. Rendimento de cereais (kg/ha); vi. Valor agregado agrícola (US\$/trabalhador); vii. Consumo de fertilizantes (kg/héctar de terra arável); viii. Produtividade da água das culturas (kg/m ³); ix. Retirada anual de água doce para agricultura (%); x. População atendida usando serviço de água gerenciado com segurança (rural, %); xi. População atendida usando saneamento gerenciado com segurança (rural, %); xii. Quantidade de resíduos agrícolas usados para fins energéticos (t).	Criar uma ferramenta de monitoramento baseada nos indicadores dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, da ONU.	108
Olds <i>et al.</i> (2018)	<i>High levels of sewage contamination released from urban areas after storm events: A quantitative survey with sewage specific bacterial indicators</i>	Bioindicadores de contaminação: i. Bacteroides humanos; ii. Lachnospiraceae humana.	Avaliar a quantidade de esgoto liberado em áreas urbanas e os maiores contribuidores para a contaminação das águas residuais a partir de bioindicadores de presença de esgotamento sanitário humano	103
Ruducha <i>et al.</i> (2017)	<i>How Ethiopia achieved Millennium Development Goal 4 through multisectoral interventions: a Countdown to 2015 case study</i>	Indicadores de cobertura: i. Parcela da população com acesso a abastecimento de água melhorado; ii. Parcela da população com a acesso a serviços de saneamento básico melhorados;	Os indicadores utilizados não foram aplicados em questões voltadas à gestão do saneamento.	96

Guo <i>et al.</i> (2020)	<i>Green technology and sustainable development: Assessment and green growth frameworks</i>	Foram utilizados os Indicadores dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6 – Água Potável e Saneamento da ONU, de 2015.	Analisar as características de uma metodologia de avaliação do desenvolvimento sustentável no contexto de tecnologia verde.	93
Cronk e Bartram (2018)	<i>Environmental conditions in health care facilities in low- and middle-income countries: Coverage and inequalities</i>	Indicadores de saneamento em Unidades de Saúde: i. Proporção de unidades de saúde com serviços básicos de abastecimento de água; ii. Proporção de unidades de saúde com serviços de saneamento básico; iii. Proporção de unidades de saúde com acesso a higiene básica das mãos; iv. Proporção de unidades de saúde praticando gestão básica de resíduos hospitalares.	Estimar a cobertura, as desigualdades e os principais itens de precaução padrão em relação a serviços sanitários e ao ODS 6 da ONU, de 2015.	93
Dias, Ebdon e Taylor (2018)	<i>The application of bacteriophages as novel indicators of viral pathogens in wastewater treatment systems</i>	Bacteriófagos como bioindicadores de patógenos virais em sistemas de tratamento de águas residuais: i. Colifagos somáticos; ii. Bacteriófagos F-RNA; iii. <i>B. fragilis</i> ; iv. Adenovírus humano (ADVHu); v. Borovírus (NoV).	Avaliar a aplicação de novos bioindicadores virais na análise de águas residuais para o reuso em setores diversos.	69
Figueiredo <i>et al.</i> (2016)	<i>Forecasted trends in vaccination coverage and correlations with socioeconomic factors: a global time-series analysis over 30 years</i>	Indicadores de cobertura: i. Acesso a serviços melhorados de saneamento; ii. Acesso a serviços melhorados de saneamento (áreas rurais); iii. Acesso a serviços melhorados de abastecimento de água.	Os indicadores utilizados não foram aplicados em questões voltadas à gestão do saneamento.	67

Fonte: Autor (2025).

O artigo mais citado do período 2014-2024 foi o “*Toxic Byproduct Formation during Electrochemical Treatment of Latrine Wastewater*”, de Jasper, Yang e Hoffmann (2017). Os autores avaliaram quimicamente a formação de subprodutos tóxicos advindos do tratamento do esgotamento sanitário de latrinas, verificando diferentes metodologias para caracterizar estes subprodutos e identificar as melhores formas para minimizar essa formação.

Saladini *et al.* (2018) foi o quarto autor mais citado com seu artigo “*Linking the water-energy-food nexus and sustainable development indicators for the Mediterranean region*”. Apesar de não utilizarem diretamente os indicadores da ONU, Saladini *et al.* (2018) utiliza de indicadores de saúde, de uso e manejo agrícola e de uso de água para estabelecer uma ferramenta de monitoramento de atividades agrícolas em relação aos Objetivos de

Desenvolvimento Sustentável, inclusive em relação ao saneamento rural, como os serviços de abastecimento e gestão de recursos hídricos.

O quinto e o nono artigos mais citados desse período utilizam de bioindicadores como indicadores de gestão. Olds *et al.* (2018) e seu artigo “*High levels of sewage contamination released from urban areas after storm events: A quantitative survey with sewage specific bacterial indicators*” utilizam de Bioindicadores para avaliar a contaminação de áreas urbanas por esgoto doméstico após eventos de tempestade, utilizando de Bacteroides e Lachnospiraceae humanos para determinar as origens da contaminação e identificar as condições de risco para exposição humana à contaminação. Enquanto isso, o artigo “*The application of bacteriophages as novel indicators of viral pathogens in wastewater treatment systems*”, de Dias, Ebdon e Taylor (2018), traz os Bacteriófagos como bioindicadores de contaminação com o intuito de definir novas possibilidades de animais modelo para a análise de águas residuais destinadas a reuso.

O artigo “*Environmental conditions in health care facilities in low- and middle-income countries: Coverage and inequalities*”, de Cronk e Bartram (2018), tem o intuito de fornecer evidências acerca dos índices de saneamento em unidades de saúde para que sejam desenvolvidas políticas públicas e programas voltados à área. O décimo artigo mais citado no período 2014-2024 foi o de Figueiredo *et al.* (2016), cujo título é “*Forecasted trends in vaccination coverage and correlations with socioeconomic factors: a global time-series analysis over 30 years*”.

Em síntese, 3 artigos dos mais citados nos anos 2014-2024 não discorrem sobre a gestão do saneamento por meio de indicadores, enquanto que 2 voltaram-se exclusivamente aos indicadores dos ODS. Do restante, 2 utilizaram bioindicadores para avaliação de contaminação. Por seguinte, 1 artigo formulou análises sobre a qualidade de águas residuais de latrinas, sendo este o artigo mais citado do período, 1 artigo delimitou indicadores de cobertura no direcionamento agrícola e 1 artigo utilizou de indicadores de cobertura em unidades de saúde.

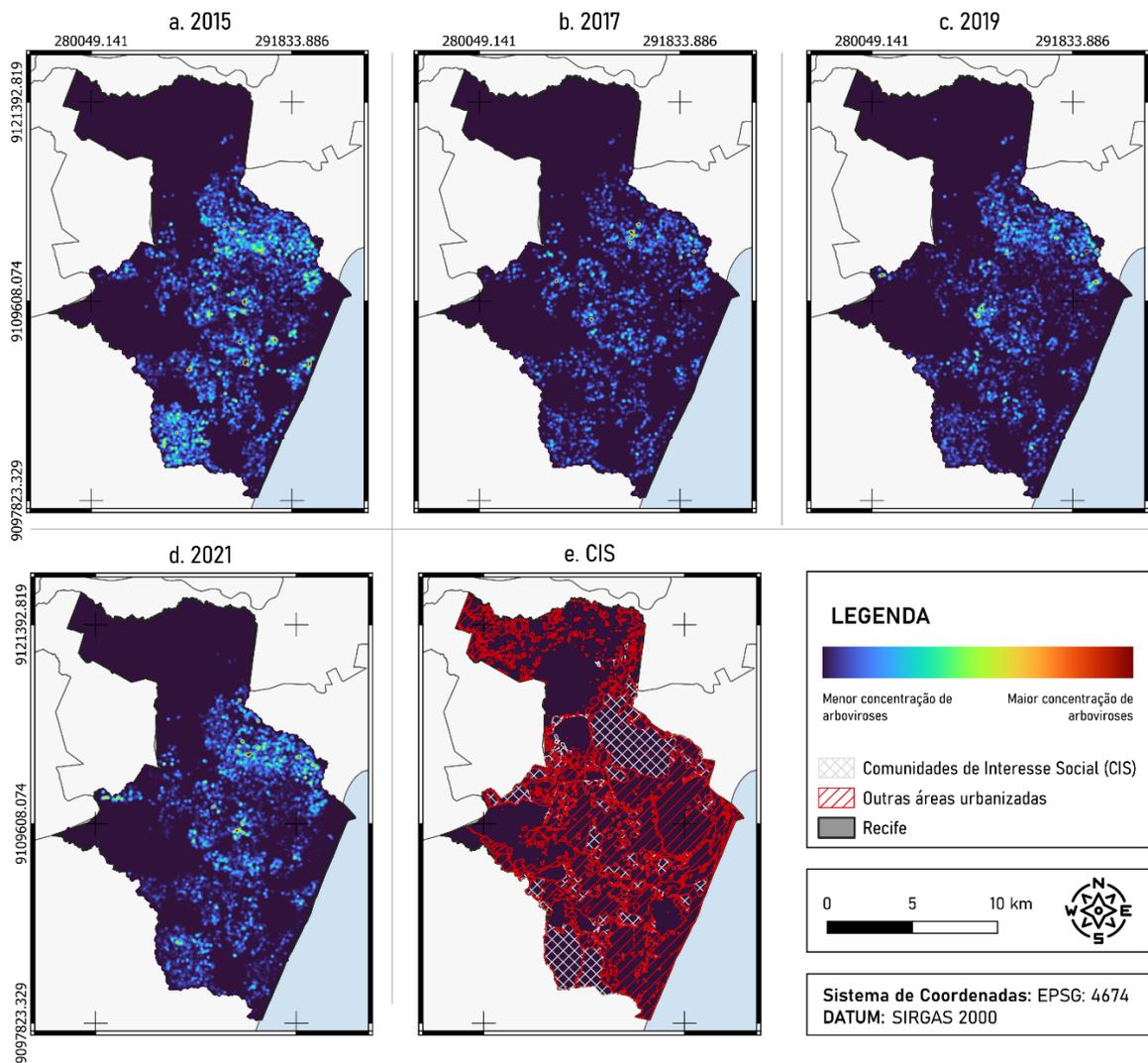
5.2 Geoprocessamento

5.2.1 Análise visual por meio da Estimativa de Densidade Kernel

Consoante com Wei, Ma e Su (2024), o uso da Estimativa de Densidade de Kernel ajuda a elucidar a evolução espaço temporal de determinados fatores, evidenciando as tendências de estaticidade e de movimentação dos dados.

Todos os anos apresentaram *clusters* de arboviroses, com alta concentração de casos inseridos em áreas de Comunidades de Interesse Social (Figura 20).

Figura 20 – Mapa da Estimativa de Densidade Kernel representando a concentração de casos de arboviroses para 2015, 2017, 2019 e 2021.



Fonte: Autor (2025).

Não foram observadas mudanças significativas em relação à distribuição espacial dos casos de arboviroses ao longo do tempo, tendo suas concentrações estabelecidas nos mesmos pontos ao longo dos anos analisados. Áreas urbanizadas não caracterizadas como CIS apresentaram baixa concentração de casos de arboviroses em todo o período.

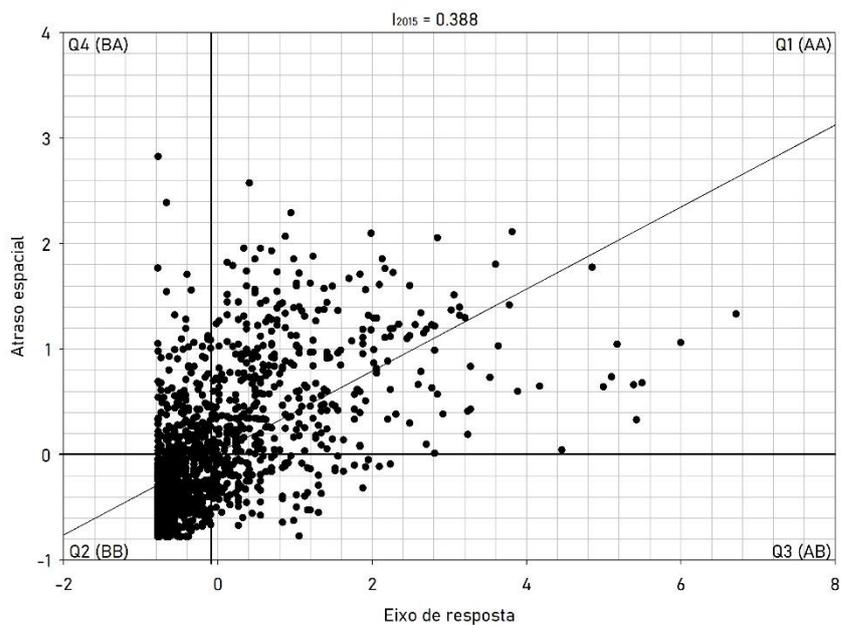
5.2.2 Índice de Moran

Segundo Luzardo, Castañeda Filho e Rubim (2017), uma maior concentração de pontos nos quadrantes Q1 e Q2, indicam uma autocorrelação espacial positiva [$I > 0$]. O quadrante Q1 contém os casos onde um determinado polígono e seus vizinhos apresentam valores de atributo superiores à média global (Alto-Alto). Já o quadrante Q2 indica o contrário, com polígonos e vizinhos com dados inferiores à média global (Baixo-Baixo).

Uma maior concentração de pontos nos quadrantes Q3 e Q4 indicaria autocorrelação negativa [$I < 0$], onde os quadrantes representam polígonos cujos valores são superiores à média global com vizinhos de média inferior (Alto-Baixo) ou o oposto (Baixo-Alto), respectivamente (Luzardo; Castañeda Filho; Rubim, 2017).

Em relação ao presente estudo, o índice de Moran (I) para 2015, analisando a autocorrelação entre os casos de Arboviroses e as Comunidades de Interesse Social, concentrou a maior parte dos pontos significativos nos quadrantes Q1 (341 pontos) e Q2 (656 pontos) (Figura 21), com um $I_{2015} = 0.388$. Os quadrantes Q3 e Q4 concentraram 111 e 209 pontos, respectivamente.

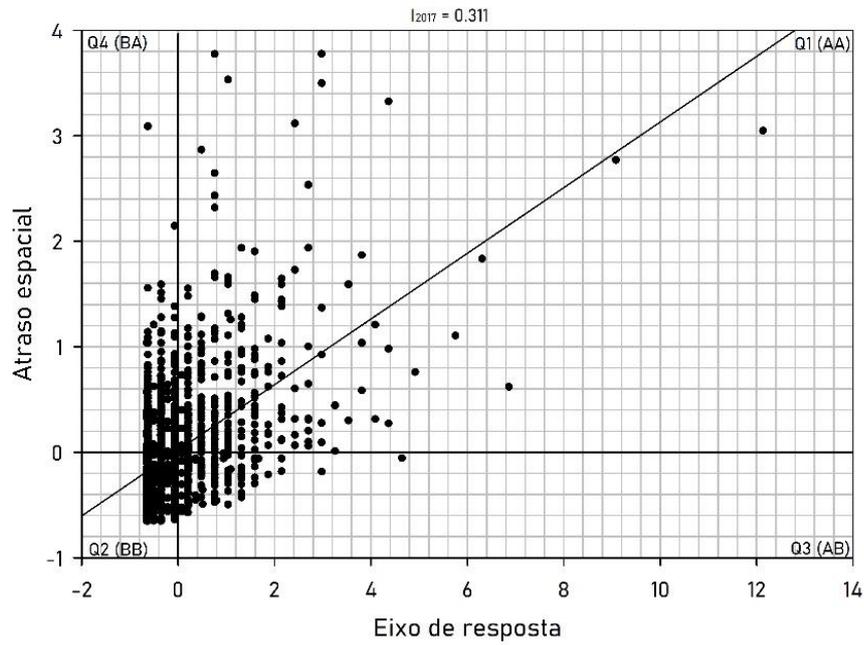
Figura 21 – Índice de Moran em 2015, representando a autocorrelação espacial entre o número de casos em uma mesma área e a presença de Comunidades de Interesse Social



Fonte: Autor (2025).

Em 2017, $I_{2017} = 0.311$, inferior ao primeiro ano analisado, com 275, 618, 129 e 287 pontos nos quadrantes Q1, Q2, Q3 e Q4, respectivamente (Figura 22).

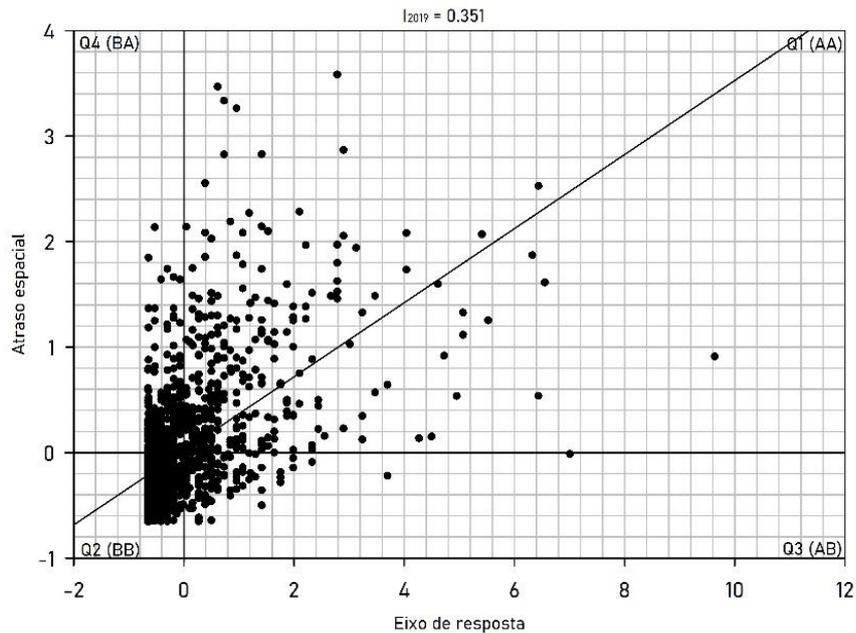
Figura 22 – Índice de Moran em 2017, representando a autocorrelação espacial entre o número de casos em uma mesma área e a presença de Comunidades de Interesse Social



Fonte: Autor (2025).

Em 2019, houve aumento do valor do índice, indo para $I_{2019} = 0.351$, superior ao ano de 2017. Foram observados 308 e 672 pontos nos quadrantes Q1 e Q2 e 113 e 215 pontos nos quadrantes Q3 e Q4, respectivamente (Figura 23).

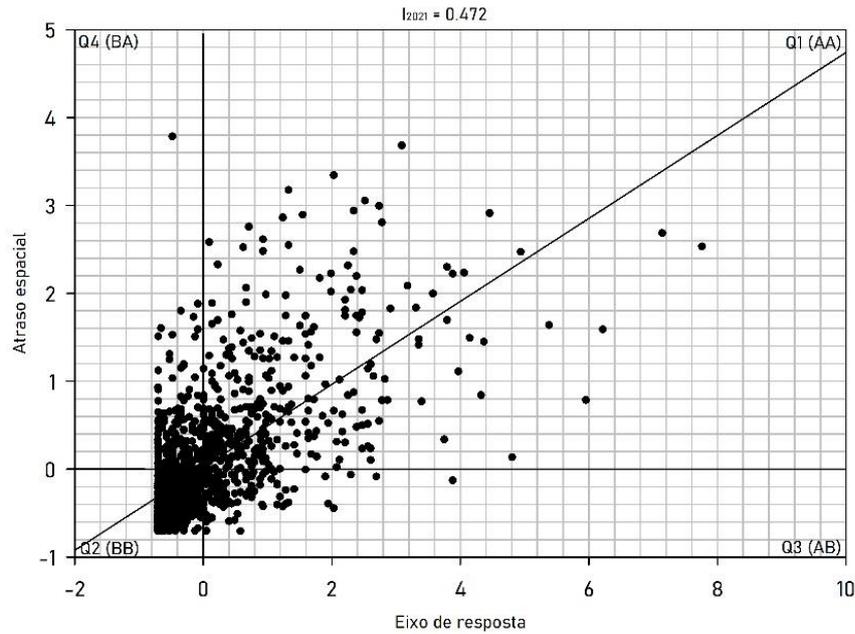
Figura 23 – Índice de Moran em 2019, representando a autocorrelação espacial entre o número de casos em uma mesma área e a presença de Comunidades de Interesse Social



Fonte: Autor (2025).

Em 2021, o índice foi de $I_{2021} = 0.472$, o maior entre os anos analisados, com um nível significativo de agrupamento ainda maior do que o encontrado em 2015. Como nos outros anos da análise, em 2021, também houve uma maior concentração de pontos nos quadrantes Q1 (323 pontos) e Q2 (716 pontos), com 103 pontos no Q3 e 165 pontos no Q4 (Figura 24).

Figura 24 – Índice de Moran em 2021, representando a autocorrelação espacial entre o número de casos em uma mesma área e a presença de Comunidades de Interesse Social



Fonte: Autor (2025).

De acordo com Wan, Wang e Zhang (2024), quanto mais próximo de 1 for o $I (>0)$, maior a autocorrelação entre as áreas. Os valores de I encontrados em todos os anos analisados (Tabela 3) indicam a existência de autocorrelação espacial positiva moderada entre os casos de arboviroses e as Comunidades de Interesse Social, com um nível significativo de agrupamento (Ni; Huang. Hu, 2024). A partir disso, é possível estabelecer a relação entre os casos de arboviroses e as Comunidades de Interesse Social do Recife.

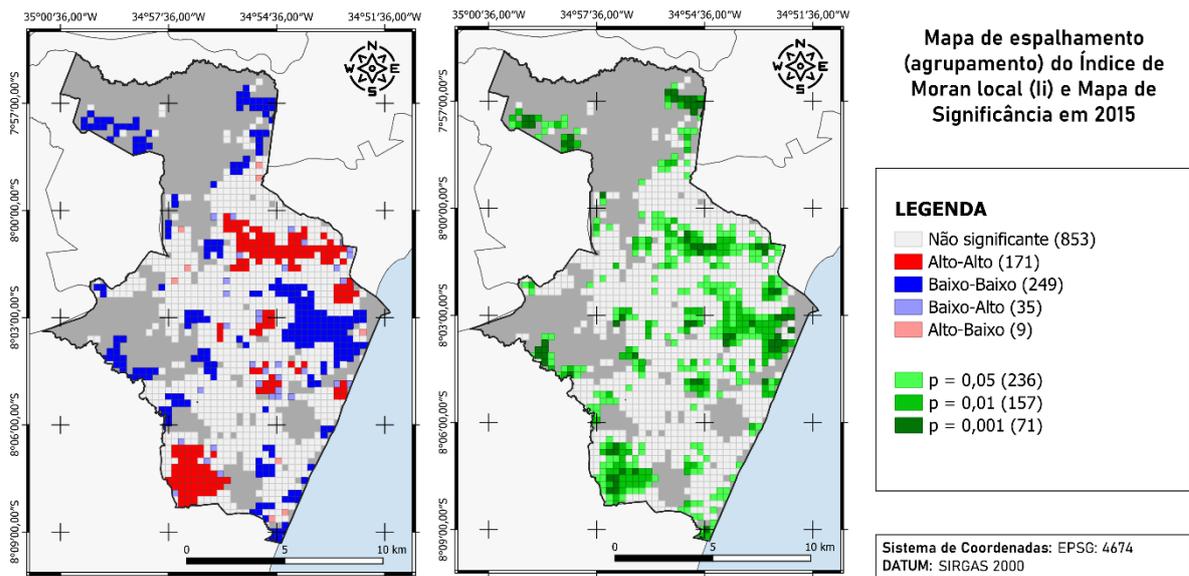
Tabela 3 - Média, desvio padrão e coeficiente de variação dos índices de Moran de 2015, 2017, 2019 e 2021

Ano	Índice de Moran
2015	0,388
2017	0,311
2019	0,351
2021	0,472
Média	0,381
Desvio padrão	0,059
Coeficiente de variação	15,62%

Fonte: Autor (2025).

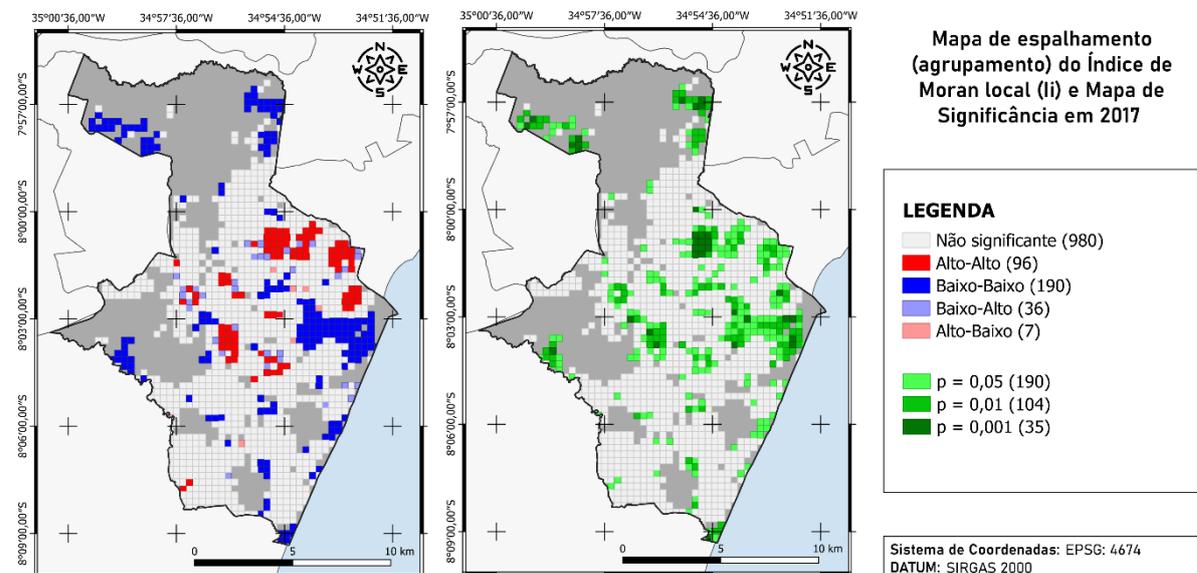
As figuras Figura 25, 26, 27 e 28 exibem as localidades dos polígonos identificados como Alto-Alto (AA), Baixo-Baixo (BB), Baixo-Alto (BA) e Alto-Baixo (AB) e seus agrupamentos em 2015, em 2017, em 2019 e em 2021, respectivamente, além do mapa de significância estatística.

Figura 25 – Mapa de agrupamento do índice de Moran Local identificando os agrupamentos de casos em relação aos seus vizinhos em 2015



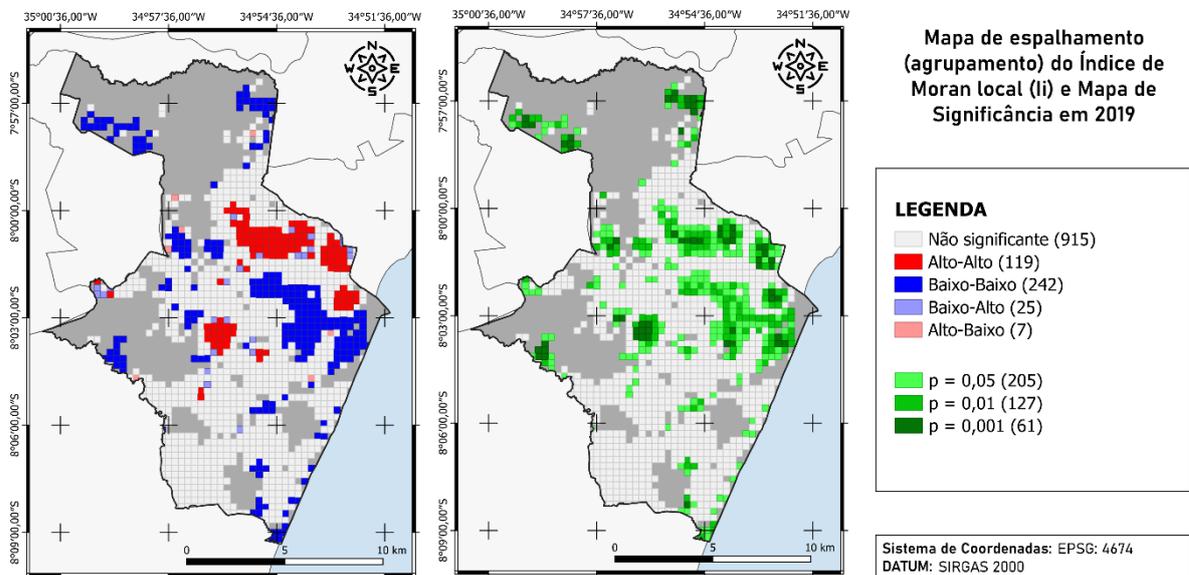
Fonte: Autor (2025).

Figura 26 – Mapa de agrupamento do índice de Moran Local identificando os agrupamentos de casos em relação aos seus vizinhos em 2017



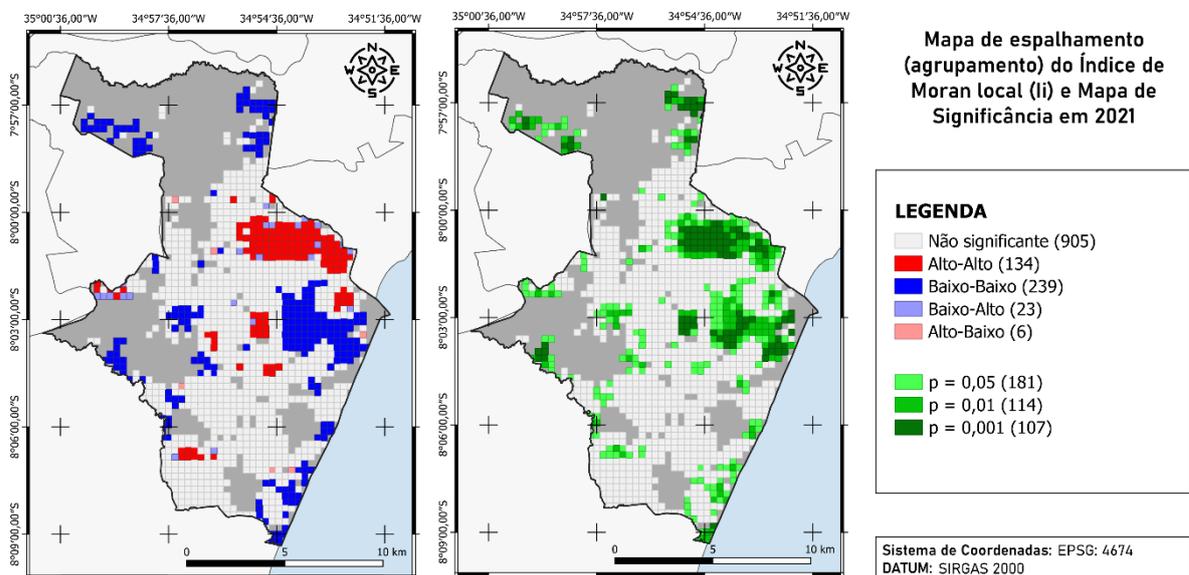
Fonte: Autor (2025).

Figura 27 – Mapa de agrupamento do índice de Moran Local identificando os agrupamentos de casos em relação aos seus vizinhos em 2019



Fonte: Autor (2025).

Figura 28 – Mapa de agrupamento do índice de Moran Local identificando os agrupamentos de casos em relação aos seus vizinhos em 2021



Fonte: Autor (2025).

Os polígonos em vermelho representam as regiões com alto valor significativo de arboviroses cercadas por outras áreas também com alto valor significativo de arboviroses (Alto-Alto). Em azul escuro, estão os polígonos com baixos casos de arboviroses cujos vizinhos apresentam o mesmo padrão (Baixo-Baixo). Em lilás, estão as áreas de baixo valor vizinhas a

áreas com alto valor (Baixo-Alto), enquanto que, em vermelho claro, o contrário acontece (Alto-Baixo).

As áreas caracterizadas como “Não Significante”, em cinza, são aquelas que, consoante com Pavinati *et al.* (2023), não apresentam tendência espacial clara.

Segundo Gedamu, Plank-Wiedenbeck e Wodajo (2024), os valores do Índice de Moran são consequência dos *clusters* presentes na área de estudo, principalmente para as áreas de Alto-Alto (AA) e Baixo-Baixo (BB), implicando que áreas com valores similares apresentam uma tendência moderada a estar geograficamente próximas.

É possível observar a presença de agrupamentos bem definidos de áreas caracterizadas como Alto-Alto, principalmente na região Norte-Nordeste em todos os anos estudados, com um crescimento em 2021 em relação aos anos de 2017 e 2019 (Tabela 4).

Tabela 4 - Áreas com significância estatística de Alto-Alto, Baixo-Baixo, Baixo-Alto e Alto-Baixo em relação ao índice de Moran em áreas com ao menos um caso de arbovirose

Ano	2015		2017		2019		2021	
Total de áreas com pelo menos um caso de arbovirose	1097	-	817	-	954	-	1047	-
Alto-alto	171	15,6%	96	11,7%	119	12,5%	134	12,8%
Baixo-Baixo	134	12,2%	50	06,1%	104	10,9%	118	11,3%
Baixo-Alto	33	03,0%	26	03,2%	20	02,1%	18	01,7%
Alto-Baixo	9	00,8%	7	00,8%	7	00,7%	6	00,6%
Total		31,6%		21,8%		26,2%		26,4%

Fonte: Autor (2025).

Em todos os anos analisados, foi possível perceber a presença de manchas em vermelho (AA) ou em cinza (NS) sobrepostas, normalmente, às áreas das Comunidades de Interesse Social.

5.2.3 Modelo de Cadeia de Markov

Com base nas identificações do Índice de Moran Local nos anos estudados, foi estipulada a probabilidade de transição ou manutenção do seu estado em relação caracterizações de Não significativa (0), Alto-Alto (1), Baixo-Baixo (2), Baixo-Alto (3) e Alto-Baixo (4) (Figura 29).

Figura 29 - Probabilidades de transição entre as diferentes caracterizações do Índice de Moran Local ao longo dos anos



Fonte: Autor (2025).

As maiores probabilidades estão na manutenção do estado de Não Significante (84%), na manutenção de áreas consideradas como Baixo-Baixo (68%) e na transição de áreas Alto-Baixo para Não Significante (62%), na transição de áreas Baixo-Alto para Não Significante (55%) e na manutenção de áreas Alto-Alto (51%).

Em relação às áreas caracterizadas como Alto-Alto, para além da manutenção do seu estado atual, não há probabilidade de transição para as categorias de Baixo-Baixo ou Alto-Baixo, com baixas chances de transição para Baixo-Alto (4%), com maiores chances de transição para áreas Não Significantes (40%). Esse processo pode ser explicado em função das áreas localizadas nas margens das manchas Alto-Alto, que apresentaram oscilação de Alto-Alto para Não Significante ao longo dos anos, principalmente na região Norte-Nordeste do município, e em função da extrema redução da mancha Alto-Alto localizada sobre os bairros Cohab e Ibura, na região Sul da cidade, chegando a desaparecer completamente em 2019 e sendo caracterizada como Não Significante no mesmo ano.

Vale ressaltar que a transição do estado Alto-Alto não significa a redução dos casos naquela área, mas a alteração da dinâmica da área em relação aos vizinhos. Num contexto geral, a cadeia de Markov indica a estabilidade das áreas, sem previsão de melhora.

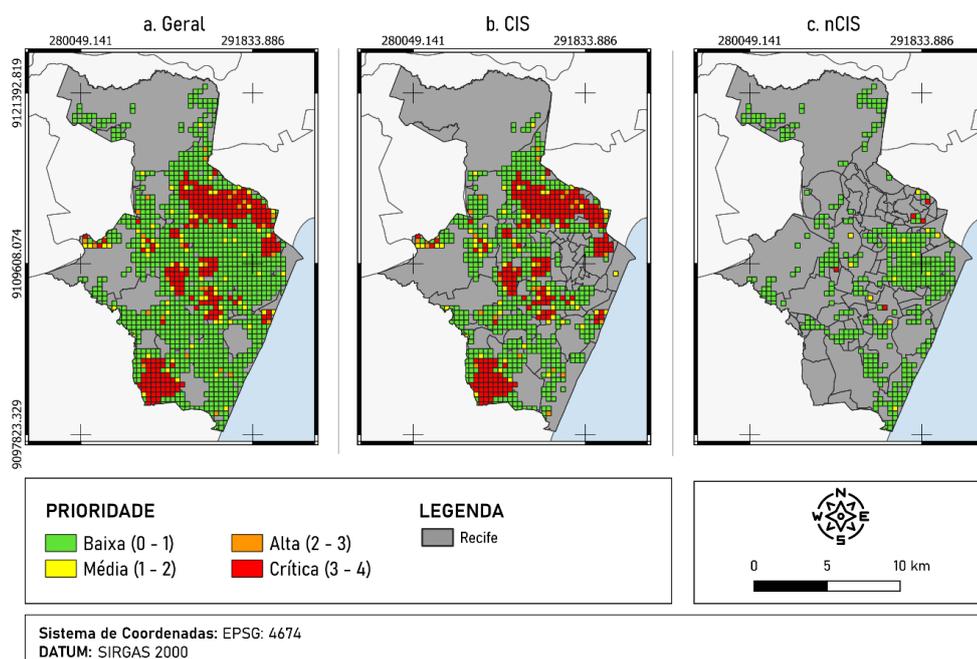
5.2.4 Identificação de áreas de Risco

A classificação com base na média ponderada do Índice de Moran estabeleceu as zonas críticas da cidade do Recife. A maior parte das áreas caracterizadas como críticas, ou seja, que não apresentaram diminuição dos casos de arboviroses, estão nas CIS (Figura 30), principalmente nos aglomerados localizados na região norte-nordeste, na região sul e na região central da cidade.

Ressalta-se que nem toda CIS está classificada como área crítica, direcionando as medidas de gestão para núcleos específicos da cidade, com comunidades apresentando prioridade baixa, média e alta.

As áreas não caracterizadas como CIS (nCIS) foram apresentaram majoritariamente baixa prioridade de ações, com aparecimento de pontos específicos caracterizados como críticos ou médios.

Figura 30 - Classificação das zonas de risco com base na média ponderada do Índice de Moran para os anos de 2015, 2017, 2019 e 2021.



Fonte: Autor (2025).

6 CONCLUSÕES

Há um notável crescimento no interesse da academia em relação ao tema do saneamento, moldado pela gestão e pelo uso de indicadores. Há vasta distribuição geográfica de publicações, com cada um dos continentes sendo responsável por originar, pelo menos, 1 artigo. Os Estados Unidos da América e o Brasil foram os maiores produtores científicos da Área em todo o mundo.

O uso de palavras-chave pelos escritos possibilitou a delimitação clara dos principais tópicos discutidos academicamente nos últimos anos. Neste sentido, os assuntos sobre qualidade da água e contaminação formam a maior concentração de abordagens, seguidas de políticas públicas de saúde e fatores socioeconômicos, gestão ambiental e sustentabilidade e, por fim, questões demográficas e fatores atrelados.

No que tange aos tipos de indicadores utilizados, o principal tema do período 2003-2013 foi o uso de bioindicadores em relação à qualidade da água e à contaminação fecal e o tópico foi recorrente novamente no período de 2014-2024. Entretanto, houve inclusão de novas variáveis nas discussões acadêmicas, como é o caso dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, propostos em 2015. Os indicadores de cobertura e serviços mantiveram-se como um assunto principal em ambos os períodos, mesmo que, em 2014-2024, tenha sido apresentado em novos direcionamentos, como em unidades de saúde.

Apesar do crescimento em publicações, não foi possível perceber grandes mudanças nos tipos de indicadores utilizados, podendo representar uma necessidade de renovação acadêmica e necessidade de novas orientações e abordagens.

O índice de Moran médio para os 4 anos estudados foi de 0,381, indicando uma autocorrelação espacial positiva moderada entre os casos de arboviroses e as áreas caracterizadas pela ausência de saneamento. Este valor indica que, embora os casos de arboviroses estejam geralmente associados à ausência de saneamento, áreas com saneamento também registraram casos, enquanto que algumas CIS não apresentaram. Destaca-se o ano de 2021, último ano analisado, que apresentou um Índice de 0,472, o maior valor registrado, sugerindo um fortalecimento da convergência entre saneamento e arboviroses.

Estes resultados expõem que a relação entre saneamento e arboviroses não é fixa ao longo do tempo, devendo ser utilizada para além da mera consciência da existência de uma relação, mas como uma ferramenta de gestão.

A perpetuação de altos valores para a média ponderada dos LISA em determinadas áreas indica a manutenção da situação de risco ao longo dos 4 anos analisados na área estudada, refletindo um alto risco persistente em relação às arboviroses e, por consequência, às condições de saneamento.

A delimitação prévia das CIS pela Prefeitura do Recife permitiu a comparação entre a localização dessas comunidades e a localização das áreas de alto foco de arboviroses, especialmente aquelas classificadas como de relação Alto-Alto pelo LISA.

Nesse sentido, o indicador funcionou conforme esperado, apontando as mesmas áreas críticas já definidas pelo município. Essa similaridade espacial sugere que, em regiões onde não há uma delimitação formal de áreas caracterizadas pela ausência de saneamento, os padrões espaciais dos casos de arboviroses podem atuar como indicadores direcionais para identificar áreas sem saneamento, funcionando como uma ferramenta estratégica de gestão, principalmente em função das áreas definidas como AA.

A identificação da autocorrelação entre a ausência de saneamento e os casos de arboviroses no município do Recife não apenas identifica as áreas de risco na cidade, mas aponta um método replicável para identificar regiões carentes de infraestruturas de saneamento em outros contextos urbanos, funcionando como um indicador de gestão do setor em questão.

Em suma, os resultados do Índice de Moran e do LISA no Recife indicam a possibilidade de uso da relação arboviroses/saneamento como possível indicadora de gestão ao estabelecer a existência de autocorrelação espacial.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Pesquisas futuras podem explorar outras variáveis a fim de complementar os resultados apresentados na presente pesquisa, expandindo a análise e possibilitando insights adicionais e melhorias para o indicador apresentado.

A consideração de fatores geomorfológicos em trabalhos futuros pode fornecer uma compreensão mais detalhada em relação ao saneamento, principalmente em relação aos serviços de abastecimento de água. Regiões com maiores altitudes podem apresentar lacunas em relação a esse serviço, portanto a inserção desses fatores em novas análises pode trazer visões mais amplas no que diz respeito à autocorrelação entre saneamento e arboviroses.

A introdução da variável climática também pode fornecer novas compreensões em relação ao número de casos e a autocorrelação com as áreas caracterizadas pela ausência de saneamento. Uma vez que o regime de chuvas em um ano pode modificar o sistema de reprodução da espécie *A. aegypti* ano a ano, esse fator pode ser utilizado para identificar novos cenários.

Quando disponível, a análise da densidade populacional na construção de um indicador espacial também pode aprofundar a avaliação. Por fim, a complementação da variável temporal, analisando uma temporalidade maior e de forma contínua, também pode enriquecer pesquisas futuras.

Para além, essas análises podem ser relacionadas a outros estudos que levam em consideração fatores demográficos como educação ambiental, idade, grau de escolaridade, renda, gênero e outros.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Lorena Sampaio; COTA, Ana Lídia Soares; RODRIGUES, Diego Freitas. Saneamento, Arboviroses e Determinantes Ambientais: impactos na saúde urbana. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 25, p. 3857-3868, 2020.

ANDERSON, James L. *et al.* The fishery performance indicators: a management tool for triple bottom line outcomes. **PLoS one**, v. 10, n. 5, p. e0122809, 2015. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0122809>

BARRIER, C. *et al.* Larval dispersal dynamics of *Maja squinado* in the Northwestern Mediterranean: a biophysical modeling approach. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, p. 109183, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2025.109183>

BOBBINS, Kerry *et al.* Accelerating progress towards the SDGs: Collaborative policymaking in sanitation for integrated benefits in Sub-Saharan Africa. **World Development Sustainability**, v. 2, p. 100037, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.wds.2022.100037>

BORCHARDT, Mark A. *et al.* Septic system density and infectious diarrhea in a defined population of children. **Environmental health perspectives**, v. 111, n. 5, p. 742-748, 2003. <https://doi.org/10.1289/ehp.5914>

BRASIL. [Constituição (1988)] Constituição da República Federativa do Brasil: texto constitucional promulgado em 5 de outubro de 1988, com as alterações determinadas pelas Emendas Constitucionais de Revisão nos 1 a 6/94, pelas Emendas Constitucionais nos 1/92 a 91/2016 e pelo Decreto Legislativo no 186/2008. Brasília: Senado Federal, Coordenação de Edições Técnicas, 2016.

BRASIL. Lei Nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 2007.

BRASIL. Lei Nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e dá outras providências. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 2020.

CHEN, Jingying *et al.* The development and evolution of the research topic on the mental health of college students: A bibliometric review based on CiteSpace and VOSviewer. **Heliyon**, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29477>

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Conama Nº 357/2005, de 17 de março de 2005**: Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília: CONAMA, 2005.

CRONK, Ryan; BARTRAM, Jamie. Environmental conditions in health care facilities in low- and middle-income countries: coverage and inequalities. **International journal of hygiene and environmental health**, v. 221, n. 3, p. 409-422, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2018.01.004>

CYSNE, Rubens. Arboviroses (dengue, Zika e Chikungunya) e saneamento básico. **Revista Conjuntura Econômica**, Rio de Janeiro, v. 73, n. 6, p. 37-39, 2019.

DANCER, Stephanie J. How do we assess hospital cleaning? A proposal for microbiological standards for surface hygiene in hospitals. **Journal of Hospital Infection**, v. 56, n. 1, p. 10-15, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2003.09.017>

DEY, Souvik; RAY, Jhilam; MAJUMDER, Rajarshi. Spatial Inequality in Sub-National Human Development Index: A Case Study of West Bengal Districts. **Sustainable Futures**, p. 100330, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2024.100330>

DIAS, Edgard; EBDON, James; TAYLOR, Huw. The application of bacteriophages as novel indicators of viral pathogens in wastewater treatment systems. **Water research**, v. 129, p. 172-179, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.11.022>

ENSINK, Jeroen HJ; MAHMOOD, Tariq; DALSGAARD, Anders. Wastewater-irrigated vegetables: market handling versus irrigation water quality. **Tropical Medicine & International Health**, v. 12, p. 2-7, 2007. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3156.2007.01935.x>

FARIA, Marco Túlio da Silva *et al.* Saúde e saneamento: uma avaliação das políticas públicas de prevenção, controle e contingência das arboviroses no Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 28, p. 1767-1776, 2023. <https://doi.org/10.1590/1413-81232023286.07622022>

FEGED-RIVADENEIRA, Alejandro; ANDRADE-RIVAS, Federico; GONZÁLEZ-CASABIANCA, Felipe; ESCOBEDO, Francisco. Scaling patterns of human diseases and population size in Colombia. **Global Environmental Change**, v. 75, p. 102546, 2022.

FIGUEIREDO, Alexandre de *et al.* Forecasted trends in vaccination coverage and correlations with socioeconomic factors: a global time-series analysis over 30 years. **The Lancet Global Health**, v. 4, n. 10, p. e726-e735, 2016. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(16\)30167-X](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(16)30167-X)

FIOCRUZ. Fundação Oswaldo Cruz. **Saneamento e Saúde – Saneamento: entre os direitos humanos, a justiça ambiental e a promoção da saúde**. Coleção Saúde, Ambiente e Sustentabilidade. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2018.

FRANCO, Mateus Müller *et al.* Cadeia de Markov Multivariada aplicada na bolsa de valores utilizando dados da Petrobrás, dólar e petróleo WTI. **ConTexto-Contabilidade em Texto**, v. 21, n. 47, 2021.

FREITAS JÚNIOR, Lúcio Luiz Fidélis de; SILVA, Marília Dantas da; MOURA, Micaella Raíssa Falcão de. A Utilização do Geoprocessamento como Ferramenta de Gestão no Processo de Modernização da Iluminação Pública na Cidade do Recife-PE. **Revista Científica ANAP Brasil**, v. 14, n. 32, 2021.

GADELHA, José Eduardo Ferreira Da Silva *et al.* Consequências da eutrofização em corpos hídricos. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v. 3, n. 1, 2022.

GEDAMU, Wondwossen Taddesse; PLANK-WIEDENBECK, Uwe; WODAJO, Bikila Teklu. A spatial autocorrelation analysis of road traffic crash by severity using Moran's I spatial statistics: A comparative study of Addis Ababa and Berlin cities. **Accident Analysis & Prevention**, v. 200, p. 107535, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2024.107535>

GUO, Minjian *et al.* Green technology and sustainable development: Assessment and green growth frameworks. **Sustainability**, v. 12, n. 16, p. 6571, 2020. <https://doi.org/10.3390/su12166571>

HEINK, Ulrich; KOWARIK, Ingo. What are indicators? On the definition of indicators in ecology and environmental planning. **Ecological indicators**, v. 10, n. 3, p. 584-593, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.09.009>

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Aglomerados Subnormais 2019: Classificação preliminar e informações de saúde para o enfrentamento à COVID-19. Notas técnicas. Rio de Janeiro: IBGE, 2020.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo demográfico 2022: Favelas e Comunidades Urbanas – Resultados do universo. Rio de Janeiro: IBGE, 2024.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico 2010: Aglomerados Subnormais: Informações territoriais. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cidades e Estados: Recife. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pe/recife.html>. Acesso em: 22 jan. 2025.

JASPER, Justin T.; YANG, Yang; HOFFMANN, Michael R. Toxic byproduct formation during electrochemical treatment of latrine wastewater. **Environmental Science & Technology**, v. 51, n. 12, p. 7111-7119, 2017. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b01002>

JIANBING, Wei; NA, Zhang; QUANGUO, Cheng; SHANYU, Wu; ZHIBO, Liu. Simulation and evaluation of the spatial heterogeneity of shallow-groundwater environmental risk in an urban-rural fringe of megacity: A case study of Shenyang city, northeast China. **Environmental Earth Sciences**, v. 79, p. 1-11, 2020.

LEAL DA SILVA, Thaísa; SILVA NETO, Wilson Levy Braga da; MÜLLER, Letícia. Indicadores urbanos de saneamento básico de Passo Fundo/RS: uma leitura socioterritorial por meio da espacialização de dados. **Direito da Cidade**, v. 15, n. 1, 2023. <https://doi.org/10.12957/rdc.2023.60796>

LEMUNIER, Mélanie *et al.* Long-term survival of pathogenic and sanitation indicator bacteria in experimental biowaste composts. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 71, n. 10, p. 5779-5786, 2005. <https://doi.org/10.1128/AEM.71.10.5779-5786.2005>

LENZA, Pedro. Direito constitucional. 26. ed. São Paulo: SaraivaJur, 2022. 2522 p.

LI, Lili; TAEIHAGH, Araz; TAN, Si Ying. What factors drive policy transfer in smart city development? Insights from a Delphi study. **Sustainable Cities and Society**, v. 84, p. 104008, 2022.

LI, Qiwei; ZHANG, Xinyu. Digital finance development in China: A scientometric review. **Heliyon**, v. 10, n. 16, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39214>

LIN, Meixia; LIN, Tao; JONES, Laurence; LIU, Xiaofang; XING, Li; SUI, Jinling; ZHANG, Junmao; YE, Hong; LIU, Yuqin; ZHANG, Guoqin; LU, Xin. Quantitatively assessing

ecological stress of urbanization on natural ecosystems by using a landscape-adjacency index. **Remote Sensing**, v. 13, n. 7, p. 1352, 2021. <https://doi.org/10.3390/rs13071352>.

LIU, Xu *et al.* Identification of natural and anthropogenic factors in the spatial pattern of Pb in the surface soil of the Nanliu River Basin. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 290, p. 117601, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.117601>

LOZANO-BILBAO, Enrique *et al.* Monitoring different sources of marine pollution in the Canarian intertidal zone using *Anemonia sulcata* as a bioindicator. **Marine Pollution Bulletin**, v. 195, p. 115538, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115538>

LUZARDO, Antonio José Rocha; CASTAÑEDA FILHO, Rafael March; RUBIM, Igor Brum. Análise espacial exploratória com o emprego do índice de Moran. **GEOgraphia**, v. 19, n. 40, p. 161-179, 2017. <https://doi.org/10.22409/GEOgraphia2017.v19i40.a13807>

LYYTIMÄKI, Jari *et al.* The use, non-use and misuse of indicators in sustainability assessment and communication. **International Journal of Sustainable Development & World Ecology**, v. 20, n. 5, p. 385-393, 2013. <https://doi.org/10.1080/13504509.2013.834524>

MAKUMBURA, Randika K. *et al.* Spatial mapping and analysis of forest fire risk areas in Sri Lanka—Understanding environmental significance. **Case Studies in Chemical and Environmental Engineering**, v. 9, p. 100680, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100680>

MANEERATTANASAK, Sarunya *et al.* Prevalence of dengue, Zika, and chikungunya virus infections among mosquitoes in Asia: A systematic review and meta-analysis. **International Journal of Infectious Diseases**, p. 107226, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2024.107226>

MIRANDA, Felipe Augusto Vasconcelos de. **Diversidade do fitoplâncton ao longo de um gradiente de eutrofização em baías do estado do Rio de Janeiro – Baía de Ilha Grande/Baía de Sepetiba (23°S,43°O)**. Rio de Janeiro, 2024. 77 p. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Universidade do Rio de Janeiro.

MORAN, Patrick AP. Notes on continuous stochastic phenomena. *Biometrika*, v. 37, n. 1/2, p. 17-23, 1950.

MORATO, Rúbia Gomes; KAWAKUBO, Fernando Shinji. Análise espacial da desigualdade ambiental na subprefeitura do Butantã, São Paulo-SP. **Hygeia: Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, v. 3, n. 4, 2007. <https://doi.org/10.14393/Hygeia316863>

NEUMANN, Oara *et al.* Compact solar autoclave based on steam generation using broadband light-harvesting nanoparticles. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 110, n. 29, p. 11677-11681, 2013. <https://doi.org/10.1073/pnas.1310131110>

NI, Yuchen; HUANG, Zhenna; HU, Jiayu. Spatial patterns and the changing law of spatial and temporal factors in the economic quality of China's Silk Road Economic Belt. **Heliyon**, v. 10, n. 14, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e34409>

NIRAZAWA, Alyni Nomoto; OLIVEIRA, Sonia Valle Walter Borges de. Indicadores de saneamento: uma análise de variáveis para elaboração de indicadores municipais. **Revista de Administração Pública**, v. 52, p. 753-763, 2018. <https://doi.org/10.1590/0034-7612168118>

OJO, Adegboyega; DZHUSUPOVA, Zamira; CURRY, Edward. Exploring the Nature of the Smart Cities Research Landscape. In: GIL-GARCIA, José Ramon; PARDO, Theresa; NAM, Taewoo (ed.). **Smarter as the New Urban Agenda: A Comprehensive View of the 21st Century City**. Springer, 2016. p. 23-47. https://doi.org/10.1007/978-3-319-17620-8_2

OLDS, Hayley T. *et al.* High levels of sewage contamination released from urban areas after storm events: A quantitative survey with sewage specific bacterial indicators. **PLoS medicine**, v. 15, n. 7, p. e1002614, 2018. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1002614>

OLIVEIRA, Lucas Robson *et al.* Análise cienciométrica do efeito de borda em florestas de 2001 a 2022. **Observatório de la Economía Latinoamericana**, v. 21, n. 9, p. 11423-11447, 2023. <https://doi.org/10.55905/oelv21n9-050>

ONDA, Kyle; LOBUGLIO, Joe; BARTRAM, Jamie. Global access to safe water: accounting for water quality and the resulting impact on MDG progress. **International journal of environmental research and public health**, v. 9, n. 3, p. 880-894, 2012. <https://doi.org/10.3390/ijerph9030880>

ONU. Organização das Nações Unidas. **Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável**. ONU. Nova Iorque, 2015.

PARRA, Maurício Rodrigues; COUTINHO, Renato Xavier; PESSANO, Edward Frederico Castro. Um breve olhar sobre a cienciométrica: origem, evolução, tendências e sua contribuição para o ensino de ciências. **Revista Contexto & Educação**, v. 34, n. 107, p. 126-141, 2019. <https://doi.org/10.21527/2179-1309.2019.107.126-141>

PAVINATI, Gabriel *et al.* Distribuição e autocorrelação espacial das hepatites virais B e C no Paraná: estudo ecológico, 2011-2019. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 32, p. e2022888, 2023. <https://doi.org/10.1590/S2237-96222023000200015>

PERNAMBUCO. Secretaria Estadual de Saúde. Secretaria Executiva de Vigilância em Saúde. Perfil socioeconômico, demográfico e epidemiológico de Pernambuco 2016. Recife, Secretaria de Saúde do Estado de Pernambuco, 2016.

PIRES, A. *et al.* Synthesizing and standardizing criteria for the evaluation of sustainability indicators in the water sector. **Environment, development and sustainability**, v. 22, n. 7, p. 6671-6689, 2020. <https://doi.org/10.1007/s10668-019-00508-z>

POURZANGIABADI, Masoud *et al.* Dengue virus: Etiology, epidemiology, pathobiology, and developments in diagnosis and control—A comprehensive review. **Infection, Genetics and Evolution**, p. 105710, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2024.105710>

POWERS, Ann. The Origins of Chikungunya and Zika Viruses—History of the Discoveries. In: HIGGS, Stephen; VANLANDINGHAM, Dana; POWERS, Ann. **Chikungunya and Zika Viruses**. Academic Press, 2018. p. 1-13.

QURESHI, Adnan. Dengue virus infection. In: QURESHI, Adnan; SAEED, Omar. **Dengue Virus Disease: From Origin to Outbreak**, Academic Press, p. 1-7, 2020.

RAMAN, Raghu *et al.* Mapping sustainability reporting research with the UN's sustainable development goal. **Heliyon**, v. 9, n. 8, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18510>

RAMIREZ-RUBIO, Oriana *et al.* Urban health: an example of a “health in all policies” approach in the context of SDGs implementation. **Globalization and health**, v. 15, p. 1-21, 2019. <https://doi.org/10.1186/s12992-019-0529-z>

RECIFE. Lei Complementar nº 23, de 23 de abril de 2021. Institui o Plano Diretor do Município do Recife, revogando a Lei Municipal nº 17.511, de 29 de dezembro de 2008. Diário Oficial da Prefeitura do Recife, Poder Executivo, Recife, PE, 24 de abril de 2021.

RECIFE. PREFEITURA DO RECIFE. Atlas de Comunidades de Interesse Social (CIS). 2015. Recife: 2015.

RECIFE. PREFEITURA DO RECIFE. Casos de Dengue, Zika e Chikungunya. 2023. Disponível em: <http://dados.recife.pe.gov.br/ro/dataset/casos-de-dengue-zika-e-chikungunya>. Acesso em: 10 jul. 2023.

RECIFE. PREFEITURA DO RECIFE. Comunidades de Interesse Social – CIS. 2022. Disponível em: <https://planodiretor.recife.pe.gov.br/comunidade-de-interesse-social-cis>. Acesso em: 10 jul. 2023.

RECIFE. PREFEITURA DO RECIFE. NÚCLEO DE GESTÃO DO PORTO DIGITAL - NGPD. Plano estratégico de médio e longo prazo – Recife 500 anos. Recife: Prefeitura do Recife, 2019.

REN, Dongfeng; CAO, Aihua. Analysis of the heterogeneity of landscape risk evolution and driving factors based on a combined GeoDa and Geodetector model. **Ecological Indicators**, v. 144, p. 109568, 2022.

RUDUCHA, Jenny *et al.* How Ethiopia achieved millennium development goal 4 through multisectoral interventions: a countdown to 2015 case study. **The Lancet Global Health**, v. 5, n. 11, p. e1142-e1151, 2017. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(17\)30331-5](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(17)30331-5)

RUFENER, Simonne *et al.* Quality of drinking-water at source and point-of-consumption—drinking cup as a high potential recontamination risk: a field study in Bolivia. **Journal of health, population, and nutrition**, v. 28, n. 1, p. 34, 2010. <https://doi.org/10.3329/jhpn.v28i1.4521>

SABÓIA, Antonio Bruno Rolim Caldas. **Papel do direito à saúde à luz da Constituição Federal de 1988**: breve resumo. Editora Dialética, 2024.

SAEED, Omar; ASIF, Ahmer. Dengue virus disease; the origins. In: QURESHI, Adnan; SAEED, Omar. **Dengue Virus Disease: From Origin to Outbreak**. Academic Press, p. 9-16, 2020.

SAKTI, Anjar Dimara *et al.* Optimizing city-level centralized wastewater management system using machine learning and spatial network analysis. **Environmental Technology & Innovation**, v. 32, p. 103360, 2023.

SALADINI, F. *et al.* Linking the water-energy-food nexus and sustainable development indicators for the Mediterranean region. **Ecological Indicators**, v. 91, p. 689-697, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.04.035>

SALGADO, Barbara Batista *et al.* Antibody cross-reactivity and evidence of susceptibility to emerging Flaviviruses in the dengue-endemic Brazilian Amazon. **International Journal of Infectious Diseases**, v. 129, p. 142-151, 2023.

SANTOS, Luciano Rodrigues. MARTINS, Eliane Octaviano. Estado, Políticas Públicas, Direitos Fundamentais e Cidadania: Estado e Políticas Públicas de Desenvolvimento. In: VEIGA, Fábio da Silva; BARBUGIANI, Luiz Henrique; FONSECA, Maria Hemilia. (Coords.). **Direito Atual em Análise**. vol. 2. Porto-Ribeirão Preto: Instituto Iberoamericano de Estudos Jurídicos e Universidade de São Paulo, 2024. p. 219-230. <https://doi.org/10.62140/DIRATUALVOL22024>

SCHMITZ, Olga *et al.* Ostracoda and Foraminifera as bioindicators of (aquatic) pollution in the protected area of uMlalazi estuary, South Africa. **Revue de micropaléontologie**, v. 83, p. 100771, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.revmic.2024.100771>

SILVA, Jhon Lennon Bezerra da *et al.* Environmental degradation of vegetation cover and water bodies in the semiarid region of the Brazilian Northeast via cloud geoprocessing techniques applied to orbital data. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 121, p. 104164, 2023.

SNIS. SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. Série histórica: SNIS Municípios. Brasília: SNIS, 2023. Disponível em: <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/>. Acesso em 2 jan. 2024.

SOARES, Fabiana Pegoraro; MELO, Milena Moreira; CAMARGO, Liliane Matos. Agenda 2030, ODS e educação hídrica: revisão Sistematizada da literatura e análise bibliométrica. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 43, p. e193690-e193690, 2023. <https://doi.org/10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2023.193690>

SOLTANI, Ali; ASKARI, Sajad. Exploring spatial autocorrelation of traffic crashes based on severity. **Injury**, v. 48, n. 3, p. 637-647, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2017.01.032>

SOUZA LEAO, Eduardo Baltar; ANDRADE, José Célio Silveira; NASCIMENTO, Luis Felipe. Recife: A climate action profile. **Cities**, v. 116, p. 103270, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103270>

SPEARS, Dean; GHOSH, Arabinda; CUMMING, Oliver. Open defecation and childhood stunting in India: an ecological analysis of new data from 112 districts. **PloS one**, v. 8, n. 9, p. e73784, 2013. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0073784>

STREFTARIS, Nikos; ZENETOS, Argyro. Alien marine species in the Mediterranean-the 100 'Worst Invasives' and their impact. **Mediterranean Marine Science**, v. 7, n. 1, p. 87-118, 2006. <https://doi.org/10.12681/mms.180>

SUHANA, O. *et al.* Insight into the origin of chikungunya virus in Malaysian non-human primates via sequence analysis. **Heliyon**, v. 5, n. 12, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02682>

TAGUE-SUTCLIFFE, Jean. An introduction to informetrics. **Information processing & management**, v. 28, n. 1, p. 1-3, 1992.. [https://doi.org/10.1016/0306-4573\(92\)90087-G](https://doi.org/10.1016/0306-4573(92)90087-G)

TAN, Huiyi *et al.* Spatiotemporal analysis of pertussis in Hunan Province, China, 2009–2019. **BMJ open**, v. 12, n. 9, p. e055581, 2022. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2021-055581>

TODESCHINI, Sara; PAPIRI, Sergio; CIAPONI, Carlo. Performance of stormwater detention tanks for urban drainage systems in northern Italy. **Journal of environmental management**, v. 101, p. 33-45, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.02.003>

VALENCIA, Carlos Alberto Isaza; CHAVES, Gislaine da Nóbrega; MIRANDA, George Emmanuel Cavalcanti de. Trinta anos de produção científica e gestão: análise cienciométrica da pesquisa realizada na Área de Proteção Ambiental Barra de Mamanguape. **Revista Brasileira de Gestao Ambiental e Sustentabilidade**, v. 9, n. 21, p. 453-468, 2022. [https://doi.org/10.21438/rbgas\(2022\)092129](https://doi.org/10.21438/rbgas(2022)092129)

WAN, Xiaoyu; WANG, Yufan; ZHANG, Wei. The spatial and temporal situation of China's digital technology innovation and its influencing factors. **Plos one**, v. 19, n. 1, p. e0297401, 2024. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0297401>

WEI, Xu; MA, Qixin; SU, Huiwei. Spatiotemporal effect and influencing factors of the total factor energy efficiency: Evidence from the urban agglomerations in China. **Ecological Indicators**, v. 161, p. 111984, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111984>

YANG, Shaokang *et al.* The novel COVID-19 treatment VV116 is a potential inhibitor of Zika virus. **Virology**, v. 603, p. 110334, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.virol.2024.110334>