





















URBANIZAÇÃO DISFUNCIONAL E O PARADOXO DAS ARBOVIROSES NO SEMIÁRIDO: UM MODELO ECO-URBANO A PARTIR DE CIDADES MÉDIAS DO BRASIL

DYSFUNCTIONAL URBANIZATION AND THE SEMIARID ARBOVIRUS PARADOX: AN ECO-URBAN MODEL FROM MEDIUM-SIZED CITIES IN BRAZIL

URBANIZACIÓN DISFUNCIONAL Y LA PARADOJA DE LAS ARBOVIROSIS EN EL SEMIÁRIDO: UN MODELO ECO-URBANO A PARTIR DE CIUDADES MEDIAS DE BRASIL

Paulo Roberto Ramos¹ ; Paulo César Fagundes Neves² ; Anne Caroline Coelho Leal Arias Amorim³ ; Márcio Rafael Alves Bispo dos Santos⁴ ; Bruna Erica Leite Rodrigues dos Santos⁵ ; Antônio Fábio Ferreira⁶ ; Edmo Henrique Martins Cavalcante⁷ ; Herácliton Neves Araújo⁸ ; Carla Valois Ribeiro⁹ ; Hohenfeld Francisco Alves de Oliveira¹⁰ ; Renatha Dayane Cabral de Araújo Ramos¹¹ ; Natália Gomes de Carvalho Freitas¹² ; Kayla Caianne Gonçalves Alves¹³ ; Lucimara Silva Torres Santos¹⁴ ; Eliane Soares Teixeira Dias¹⁵ ; Márcio Felipe Bastos Coelho¹⁶ ; Arlete Colaço de Azevêdo¹⁷ ; Aila de Souza Santos¹⁸ ; Raimundo Ribeiro Galvão Filho¹⁹ ; Débora Cíntia Oliveira da Silva²⁰ 

¹Doutor pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Docente da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Petrolina, Pernambuco, Brasil; ²Doutor pela Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP). Docente da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Petrolina, Pernambuco, Brasil; ³ Doutora pela Universidade de Brasília (UnB). Docente da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Petrolina, Pernambuco, Brasil; ⁴Mestrando da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Petrolina, Pernambuco, Brasil; ⁵Mestra pela Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Petrolina, Pernambuco, Brasil; ⁶Mestrando da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Petrolina, Pernambuco, Brasil; ⁷Doutor pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Recife, Pernambuco, Brasil; ⁸Mestre pela Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Petrolina, Pernambuco, Brasil; ⁹Mestra pela Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Petrolina, Pernambuco, Brasil; ¹⁰Especialista pelo Centro Universitário Internacional (UNINTER), Petrolina, Pernambuco, Brasil; ¹¹Mestranda da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Petrolina, Pernambuco, Brasil; ¹²Mestranda da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Petrolina, Pernambuco, Brasil; ¹³Mestranda da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Petrolina, Pernambuco, Brasil; ¹⁴Mestranda da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Petrolina, Pernambuco, Brasil; ¹⁵Mestranda da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Petrolina, Pernambuco, Brasil; ¹⁶Graduado pela Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia, Goiás, Brasil; ¹⁷Mestranda pela Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Petrolina, Pernambuco, Brasil; ¹⁸Mestranda da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Petrolina, Pernambuco, Brasil; ¹⁹Mestrando pela Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Petrolina, Pernambuco, Brasil; ²⁰Graduada pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Docente do Centro Universitário Brasileiro (UNIBRAS), Juazeiro, Bahia, Brasil.

*Autor correspondente: paulo.ramos@univasf.edu.br

Recebido: 25/03/2026 | Aprovado: 09/04/2026 | Publicado: 10/04/2026

Resumo: A transmissão de arboviroses tem sido tradicionalmente associada a ambientes tropicais úmidos, porém evidências recentes do Semiárido brasileiro desafiam esse paradigma. Cidades médias dessa região apresentam crescente circulação viral mesmo sob escassez hídrica e calor extremo, revelando um paradoxo no qual práticas adaptativas e condições urbanas sustentam a proliferação do vetor. Este estudo teve como objetivo analisar como a urbanização disfuncional e a dinâmica térmica urbana influenciam a transmissão de arboviroses em sistemas urbanos semiáridos, além de propor um modelo conceitual integrador. Foi realizada uma revisão integrativa da literatura em bases nacionais e internacionais, considerando estudos publicados entre 2010 e 2026. Após triagem sistemática, os estudos foram analisados por síntese temática. Os resultados indicam que a expansão urbana horizontal, a precariedade do saneamento e o armazenamento doméstico de água criam criadouros persistentes, enquanto as ilhas de calor e a variabilidade climática aceleram o desenvolvimento vetorial e a replicação viral. A discussão evidencia que esses fatores operam de forma interdependente, formando um sistema de retroalimentação entre ambiente, infraestrutura e comportamento humano. Como contribuição, propõe-se o Sistema de

Amplificação de Arboviroses em Ambientes Urbanos Semiáridos. Conclui-se que o risco epidemiológico deve ser reinterpretado a partir de abordagens integradas, especialmente diante das mudanças climáticas.

Palavras-chave: Saneamento. Armazenamento de Água. Ecologia Vetorial. Variabilidade Climática. Saúde Urbana

Abstract: Arbovirus transmission has traditionally been associated with humid tropical environments, yet recent evidence from the Brazilian semiarid challenges this paradigm. Medium-sized cities in this region exhibit increasing arboviral circulation despite chronic water scarcity and extreme heat, revealing a paradox in which adaptive human practices and urban conditions sustain vector proliferation. This study aimed to analyze how dysfunctional urbanization and urban heat dynamics influence arbovirus transmission in semiarid urban systems and to propose an integrative conceptual model. An integrative literature review was conducted using major international and regional databases, covering studies published between 2010 and 2026. After systematic screening, a set of studies was selected and analyzed through thematic synthesis. The results demonstrate that horizontal urban expansion, inadequate sanitation, and domestic water storage create persistent breeding sites, while urban heat islands and climatic variability accelerate vector development and viral replication. The discussion highlights that these factors operate as an interconnected system, rather than isolated drivers, reinforcing transmission through feedback mechanisms involving environment, infrastructure, and human behavior. The study proposes the Semiarid Urban Arbovirus Amplification System as a theoretical framework to explain these dynamics. It concludes that arbovirus risk in semiarid cities must be reframed through integrated approaches that consider urban planning, climate, and socio-environmental conditions, particularly in the context of global warming.

Keywords: Sanitation. Water Storage. Vector Ecology. Climate Variability. Urban Health

Resumen: La transmisión de arbovirosis ha sido tradicionalmente asociada a ambientes tropicales húmedos; sin embargo, evidencias recientes del semiárido brasileño cuestionan este paradigma. Las ciudades medias de esta región presentan una creciente circulación viral incluso bajo condiciones de escasez hídrica y calor extremo, revelando una paradoja en la que las prácticas adaptativas y las condiciones urbanas sostienen la proliferación del vector. Este estudio tuvo como objetivo analizar cómo la urbanización disfuncional y la dinámica térmica urbana influyen en la transmisión de arbovirosis en sistemas urbanos semiáridos, además de proponer un modelo conceptual integrador. Se realizó una revisión integradora de la literatura en bases de datos internacionales y regionales, considerando estudios publicados entre 2010 y 2026. Tras un proceso de selección sistemático, los estudios fueron analizados mediante síntesis temática. Los resultados muestran que la expansión urbana horizontal, el saneamiento deficiente y el almacenamiento doméstico de agua generan criaderos persistentes, mientras que las islas de calor y la variabilidad climática aceleran el desarrollo del vector y la replicación viral. La discusión evidencia que estos factores operan como un sistema interdependiente con mecanismos de retroalimentación entre ambiente, infraestructura y comportamiento humano. Se propone el Sistema de Amplificación de Arbovirosis en Ambientes Urbanos Semiáridos como marco teórico. Se concluye que el riesgo debe ser reinterpretado mediante enfoques integrados, especialmente frente al cambio climático.

Palabras clave: Saneamiento. Almacenamiento de Agua. Ecología Vectorial. Variabilidad Climática. Salud Urbana

1 INTRODUÇÃO

A expansão global das arboviroses transmitidas pelo mosquito *Aedes aegypti* tem evidenciado limitações de modelos epidemiológicos que associam a transmissão principalmente a climas tropicais úmidos (Fonte??). Dengue, Zika e chikungunya têm sido tradicionalmente interpretadas a partir de padrões de precipitação, umidade e temperaturas estáveis. Embora úteis em contextos costeiros e equatoriais, esses modelos falham em explicar a dinâmica de transmissão em ambientes heterogêneos, especialmente no Sul Global (Morgan *et al.*, 2021).

No Brasil, sucessivos surtos têm revelado forte heterogeneidade espacial que não pode ser explicada apenas por preditores climáticos clássicos (Gurgel-Gonçalves *et al.*, 2024). A competência vetorial, a replicação viral e a adaptabilidade ecológica variam entre territórios, indicando que a transmissão depende de condições socioambientais localizadas, e não apenas do macroclima (Fernandes *et al.*, 2020). Explicações centradas na precipitação, portanto, negligenciam determinantes fundamentais que operam em regiões não úmidas.

As cidades médias do interior têm se tornado importantes, porém ainda pouco estudados, nós na dinâmica de transmissão das arboviroses. No Brasil, a interiorização dessas doenças reflete uma transição dos centros litorâneos para áreas urbanas em rápida expansão no interior, que permanecem sub-representadas nas pesquisas e nos sistemas de vigilância (Almeida *et al.*, 2022).

Essas cidades apresentam intensa circulação viral, incluindo a co-circulação de múltiplos arbovírus, como observado no Nordeste brasileiro (Lobkowicz *et al.*, 2022). Estudos epidemiológicos também identificam fatores de risco associados a ambientes urbanos de escala intermediária, onde o rápido crescimento demográfico coexiste com déficits de infraestrutura, sustentando a transmissão (Ferreira *et al.*, 2022). A persistência de um viés metropolitano limita os modelos atuais e reforça a necessidade de reposicionar essas cidades na análise epidemiológica.

A região semiárida brasileira apresenta um paradoxo epidemiológico. Apesar da escassez hídrica crônica, das temperaturas extremas e da elevada variabilidade climática, essas cidades sustentam a proliferação do *Aedes aegypti*. Essa dinâmica é impulsionada pela adaptação humana, e não pela hidrologia natural. A irregularidade no abastecimento de água leva as famílias a armazená-la em recipientes improvisados e frequentemente desprotegidos, criando criadouros permanentes independentes dos ciclos de chuva (Lima-Camara, 2024).

A temperatura intensifica ainda mais a transmissão. Superfícies urbanas aquecidas e ilhas de calor aceleram o desenvolvimento do mosquito e reduzem o período de incubação extrínseca do vírus, aumentando a eficiência da transmissão mesmo em condições de baixa umidade (Ogasawara *et al.*, 2019). Esses processos desafiam a ideia de que a precipitação é o principal determinante da transmissão de arboviroses.

Este estudo sintetiza evidências sobre a relação entre urbanização disfuncional, ilhas de calor urbanas e transmissão de arboviroses em cidades médias do semiárido. O objetivo é identificar lacunas conceituais e propor um referencial teórico, o Sistema de Amplificação de Arboviroses em Ambientes Urbanos Semiáridos, que explica como restrições climáticas, desigualdades socioespaciais e práticas adaptativas criam nichos ecológicos estáveis para o *Aedes aegypti*.

Ao deslocar o foco do clima isolado para a interação entre ambiente, forma urbana e comportamento humano, este estudo avança uma interpretação sistêmica da transmissão de arboviroses em contextos semiáridos.

Essa perspectiva evidencia a necessidade de superar explicações reducionistas centradas no clima e de incorporar as especificidades socioespaciais da urbanização semiárida ao raciocínio epidemiológico. Compreender a transmissão de arboviroses nesses contextos exige reconhecer como déficits de infraestrutura, práticas adaptativas de armazenamento de água e a heterogeneidade térmica interagem para sustentar populações vetoriais. Ao abordar essas interdependências, este estudo contribui para um referencial mais sensível ao contexto e teoricamente mais robusto para a análise de padrões emergentes de transmissão em ambientes urbanos em rápida transformação.

2. METODOLOGIA

2.1. Desenho do estudo: revisão integrativa

Este estudo foi delineado como uma revisão integrativa da literatura, método selecionado por sua

adequação na síntese de evidências empíricas, teóricas e analíticas sobre problemas de saúde complexos e multidimensionais. Essa abordagem mostrou-se particularmente apropriada, uma vez que a relação entre urbanização disfuncional, ilhas de calor urbanas, insegurança hídrica e transmissão de arboviroses em cidades médias do Semiárido brasileiro não pode ser adequadamente examinada por uma perspectiva estritamente biomédica ou exclusivamente epidemiológica. O tema exige, portanto, uma síntese interpretativa e crítica capaz de articular dimensões ambientais, socioespaciais, infraestruturais e entomológicas em uma mesma estrutura analítica.

Nesse sentido, a revisão integrativa foi adotada não apenas como estratégia de compilação de estudos, mas como método para a construção de uma compreensão mais ampla e conceitualmente consistente de um campo de conhecimento fragmentado (Mendes; Silveira; Galvão, 2008; Souza; Silva; Carvalho, 2010).

O desenvolvimento metodológico seguiu a lógica clássica da revisão integrativa, incluindo a identificação do problema, definição da questão norteadora, estabelecimento dos procedimentos de busca, aplicação dos critérios de elegibilidade, avaliação crítica dos estudos selecionados, extração sistemática das informações relevantes e síntese interpretativa dos achados. Essa sequência permitiu manter rigor analítico e flexibilidade temática, condição essencial quando o objetivo é identificar padrões, contradições, lacunas explicativas e possíveis avanços teóricos em estudos heterogêneos. Dessa forma, a revisão buscou superar a simples descrição de resultados e produzir uma síntese crítica capaz de sustentar uma nova interpretação conceitual da transmissão de arboviroses em sistemas urbanos semiáridos (Mendes; Silveira; Galvão, 2008; Souza; Silva; Carvalho, 2010).

2.2 Estrutura do protocolo e padrões de reporte (PRISMA adaptado)

O protocolo foi estruturado com base nos princípios de transparência, reprodutibilidade e rastreabilidade analítica que orientam revisões integrativas de alta qualidade. Para garantir clareza metodológica, o processo de revisão foi organizado segundo um fluxo adaptado do PRISMA, contemplando as etapas de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão final dos estudos. Embora originalmente desenvolvido para revisões sistemáticas, o PRISMA foi aqui adaptado para aumentar a explicitação de cada etapa de seleção dos artigos e reduzir ambiguidades na transição entre o universo inicial de busca e o corpus analítico final.

Essa adaptação é consistente com o entendimento de que revisões integrativas exigem organização metodológica sistemática, mas também compatível com a construção teórica, especialmente quando o objetivo é gerar avanço conceitual e não apenas agregação de evidências.

Paralelamente, a estrutura da revisão foi orientada por uma perspectiva interpretativa que valoriza a síntese, a comparação crítica e a integração teórica como produtos centrais da revisão de literatura. Por essa razão, o protocolo não se limitou à descrição dos procedimentos de busca e seleção, incorporando também etapas analíticas explícitas para a construção de categorias temáticas e proposição de um modelo conceitual original. Essa orientação foi fundamental para garantir coerência entre o desenho metodológico e o propósito epistemológico do estudo, que consiste em explicar como a disfunção urbana, a heterogeneidade térmica e as práticas adaptativas de armazenamento de água interagem na epidemiologia das arboviroses em cidades semiáridas (Torraco, 2005).

A busca bibliográfica foi realizada entre outubro de 2025 e março de 2026. Todas as etapas foram

conduzidas de forma sequencial e devidamente documentadas, assegurando consistência interna, transparência decisória e reprodutibilidade metodológica.

2.3 Estratégia de busca e bases de dados

A revisão foi orientada pela seguinte questão de pesquisa: Como a urbanização disfuncional e a dinâmica das ilhas de calor urbanas modulam a transmissão de arboviroses em cidades médias do Semiárido brasileiro? Para operacionalizar essa questão, a estratégia de busca foi estruturada segundo a abordagem PCC, na qual a População correspondeu às cidades médias, o Conceito à urbanização disfuncional e suas implicações epidemiológicas, e o Contexto à região semiárida brasileira e suas especificidades climáticas e infraestruturais.

As buscas foram realizadas em cinco bases de dados: Scopus, Web of Science, PubMed, Embase e SciELO, selecionadas por sua complementaridade e abrangência disciplinar. Essa combinação permitiu recuperar tanto literatura internacional quanto regional, sendo a inclusão da SciELO essencial para evitar viés geográfico e ampliar a sensibilidade da busca em relação à produção científica latino-americana.

A estratégia de busca foi construída por meio de combinações booleanas de descritores e palavras-chave organizadas em três blocos analíticos. O primeiro bloco incluiu termos relacionados ao desfecho em saúde, como “*Arbovirus Infections*”, “*Dengue*”, “*Zika Virus*” e “*Chikungunya*”. O segundo bloco contemplou processos urbanos e ambientais, com termos como “*Urbanization*”, “*Urban Heat Island*”, “*Heat Islands*”, “*Urban Expansion*” e “*Sanitation*”. O terceiro bloco referiu-se à delimitação territorial, com termos como “*Semi-arid Region*”, “*Medium-sized Cities*” e “*Brazil*”. Os termos foram combinados com os operadores AND e OR, com adaptações conforme as especificidades de indexação de cada base.

O processo inicial resultou em 216 registros. Após exportação e organização em uma matriz de revisão, foram removidas duplicatas, e os registros remanescentes seguiram para triagem por título e resumo, seguida de leitura completa conforme os critérios de elegibilidade.

2.4 Critérios de inclusão, exclusão e avaliação da qualidade (abordagem JBI)

Os critérios de elegibilidade foram definidos previamente para reduzir vieses de seleção e garantir coerência com a questão de pesquisa e os objetivos analíticos do estudo.

Critérios de inclusão:

- Estudos originais, análises ou investigações teóricas relevantes sobre arboviroses, especialmente dengue, Zika ou chikungunya.
- Estudos que abordem a relação entre transmissão e urbanização, saneamento, armazenamento de água, ilhas de calor, variabilidade climática, vulnerabilidade socioambiental ou ecologia vetorial.
- Estudos realizados no Brasil, no Semiárido ou em contextos comparáveis.
- Publicações disponíveis em texto completo.
- Estudos dentro do recorte temporal definido.
- Trabalhos em inglês, português ou espanhol.

Critérios de exclusão:

- Editoriais, ensaios opinativos, resumos, dissertações, teses e documentos sem análise aprofundada.
- Estudos exclusivamente laboratoriais ou clínicos sem conexão com determinantes urbanos ou ambientais.
- Pesquisas focadas em grandes metrópoles ou áreas rurais sem aplicabilidade ao contexto de cidades médias.
- Artigos sem acesso ao texto completo.
- Estudos com insuficiência metodológica.

A triagem ocorreu em etapas sucessivas, iniciando pela análise de títulos e resumos e seguida de leitura integral dos textos elegíveis. A avaliação da qualidade metodológica foi conduzida com base em abordagem inspirada no JBI, considerando clareza de objetivos, adequação metodológica, consistência dos resultados e relevância analítica.

2.5 Extração de dados e síntese temática

A extração de dados foi realizada por meio de uma matriz analítica estruturada, contendo informações sobre autoria, ano, local, desenho do estudo, objetivos, variáveis analisadas e principais resultados. Informações adicionais sobre clima, práticas de armazenamento de água, saneamento, ecologia vetorial e expansão urbana foram registradas sempre que presentes.

A síntese foi conduzida de forma interpretativa, permitindo identificar padrões recorrentes, convergências e lacunas. Os estudos foram organizados em eixos temáticos: produção urbana e fragmentação espacial; paradoxo do armazenamento de água; ilhas de calor e ciclos virais; variabilidade climática; ecologia vetorial; e governança urbana.

Essa etapa permitiu a construção de um modelo explicativo sistêmico, integrando fatores ambientais, urbanos e biológicos em um mesmo quadro analítico.

A Tabela 1 sintetiza as principais características dos estudos incluídos na revisão integrativa, destacando seu escopo geográfico, abordagens metodológicas, foco analítico e principais achados. A tabela foi construída com o objetivo de fornecer uma visão estruturada da base de evidências heterogênea, permitindo a identificação de padrões recorrentes e da diversidade metodológica entre investigações epidemiológicas, ambientais, urbanas e entomológicas. Ao organizar os estudos segundo dimensões analíticas centrais, a tabela subsidia a síntese interpretativa desenvolvida nas seções subsequentes.

Tabela 1. Características dos estudos incluídos (Ano, Local, Desenho do estudo, Foco principal, Principais achados)

Autor (Ano)	Local	Desenho do estudo	Foco principal	Principais achados
Almeida <i>et al.</i> (2022)	Brasil (nacional)	Modelagem epidemiológica	Heterogeneidade da transmissão	Forte variabilidade espacial na transmissão da dengue

Almeida <i>et al.</i> (2020)	Brasil (urbano)	Revisão analítica	Saneamento e arboviroses	Saneamento precário aumenta criadouros e risco de doença
Araújo <i>et al.</i> (2019)	Nordeste do Brasil	Estudo ecológico	Variáveis meteorológicas	Temperatura e chuva influenciam a dinâmica vetorial
Barakat & Caprara (2021)	Brasil	Abordagem conceitual/de campo	Abordagem ecobiossocial	Intervenções integradas melhoram o controle vetorial
Brasileiro & Zanella (2021)	Sobral (CE)	Estudo climático urbano	Ilhas de calor	Ilhas de calor intensificam as temperaturas locais
Carvalho <i>et al.</i> (2019)	Pau dos Ferros (RN)	Análise urbana	Expansão urbana	Crescimento desordenado associado a déficits de infraestrutura
Campos <i>et al.</i> (2022)	Brasil	Estudo experimental/laboratorial	Competência vetorial	Variabilidade genética influencia suscetibilidade viral
Dutra <i>et al.</i> (2024)	Brasil	Estudo experimental	Adensamento larval	Alta densidade aumenta carga viral nos mosquitos
Ferreira <i>et al.</i> (2022)	Cidade média (Brasil)	Estudo epidemiológico	Fatores de risco	Vulnerabilidade socioambiental associada à dengue
Fernandes <i>et al.</i> (2020)	Brasil	Revisão	Competência vetorial	Fatores ambientais e biológicos moldam a transmissão
Gurgel-Gonçalves <i>et al.</i> (2024)	Brasil	Análise epidemiológica	Epidemia de dengue	Surtos recentes apresentam dinâmica complexa
Lobkowicz <i>et al.</i> (2022)	Pernambuco	Estudo de vigilância	Co-circulação	Múltiplos arbovírus circulam simultaneamente
Martins & Alencar (2022)	Brasil	Abordagem One Health	Ecoepidemiologia	Sistemas integrados explicam a dinâmica da doença
Moura <i>et al.</i> (2020)	Nordeste do Brasil	Análise espacial	Oviposição	Concentração espacial de criadouros
Ogasawara <i>et al.</i> (2019)	Global/Brasil	Modelagem ambiental	Determinantes ambientais	Variáveis climáticas influenciam fortemente a dengue
Pirani <i>et al.</i> (2024)	Brasil	Estudo clima-epidemiológico	ENSO	Oscilações climáticas afetam infestação vetorial
Rodrigues <i>et al.</i> (2023)	Brasil urbano	Estudo de campo	Criadouros	Recipientes artificiais predominam como

				habitats
Souza <i>et al.</i> (2023)	Área urbana vulnerável	Estudo epidemiológico	Densidade vetorial	Alta densidade em contextos vulneráveis
Su <i>et al.</i> (2025)	Brasil	Modelagem epidemiológica	Temperatura noturna	Noites quentes aumentam a transmissão de dengue
Trevisan (2021)	Brasil	Teoria urbana	Formação urbana	Falhas no planejamento geram desigualdades

Fonte: Elaboração própria.

A distribuição dos estudos revela predominância de delineamentos ecológicos, epidemiológicos e analíticos, refletindo a natureza multifatorial da transmissão de arboviroses em contextos urbanos semiáridos. Observa-se um padrão consistente que associa déficits de infraestrutura, especialmente saneamento inadequado e práticas de armazenamento de água, ao aumento da proliferação vetorial e do risco de doença. Paralelamente, estudos ambientais destacam o papel da temperatura, das ilhas de calor urbanas e da variabilidade climática como amplificadores da dinâmica de transmissão. Estudos experimentais e biológicos complementam essa perspectiva ao demonstrar como a competência vetorial e as condições larvais influenciam a carga viral e a eficiência de transmissão.

De forma relevante, a tabela também evidencia uma fragmentação na literatura. Enquanto alguns estudos enfatizam determinantes climáticos e outros priorizam fatores urbanos ou sociais, poucos integram essas dimensões em um quadro analítico unificado. Essa fragmentação reforça a necessidade de uma abordagem sistêmica capaz de articular processos de urbanização, condições ambientais e biologia vetorial. A síntese integrativa proposta neste estudo responde diretamente a essa lacuna ao conectar esses domínios em um modelo explicativo coerente, ajustado à realidade urbana do Semiárido.

3 RESULTADOS E SÍNTESE TEMÁTICA

3.1 Produção urbana e fragmentação espacial no semiárido

Os estudos selecionados indicam de forma consistente que a urbanização no Semiárido brasileiro é marcada por expansão horizontal acelerada combinada a déficits estruturais de infraestrutura. Esse padrão produz tecidos urbanos fragmentados, nos quais as áreas periféricas se expandem mais rapidamente do que a capacidade dos serviços públicos de prover saneamento, abastecimento de água e regulação ambiental. Evidências empíricas em cidades médias mostram que o crescimento urbano tem sido orientado mais pela disponibilidade de terra e por processos especulativos do que por planejamento integrado, resultando em manchas urbanas descontínuas e com infraestrutura limitada (Carvalho *et al.*, 2019).

Essa dinâmica não é apenas morfológica, mas afeta diretamente as condições epidemiológicas. A expansão periférica cria zonas de vulnerabilidade ambiental caracterizadas por irregularidade no abastecimento de água, ausência de sistemas de esgotamento sanitário e acúmulo de resíduos, fatores que contribuem para a proliferação do *Aedes aegypti*. Como destacado por Carvalho *et al.* (2019, p. 412), “a produção urbana no semiárido ocorre de

forma fragmentada, intensificando desigualdades socioespaciais”, condição que reforça a exposição heterogênea ao risco de arboviroses.

Em uma perspectiva teórica mais ampla, a urbanização nesses contextos reflete uma dissociação estrutural entre crescimento urbano e capacidade de governança. Trevisan (2021) argumenta que os processos de urbanização no Brasil historicamente produziram “cidades sem integração entre planejamento e necessidades sociais” (p. 87), situação que se acentua em regiões interioranas em rápida expansão. Essa desarticulação favorece a formação de descontinuidades espaciais que funcionam mais como corredores epidemiológicos do que como barreiras.

Análises recentes também destacam que cidades médias do Semiárido têm se consolidado como polos regionais de atração demográfica e econômica, intensificando a expansão urbana sem investimentos equivalentes em infraestrutura (Nascimento; Macedo, 2025). Essa combinação de crescimento e precariedade produz uma configuração espacial que sustenta habitats vetoriais e facilita a circulação de arbovírus entre áreas urbanas e periurbanas.

3.2 O paradoxo do armazenamento de água e os criadouros domésticos

Um achado central dos estudos revisados é o papel estrutural da insegurança hídrica na dinâmica de transmissão das arboviroses. Em cidades semiáridas, a irregularidade no abastecimento leva os domicílios a adotarem práticas de armazenamento que, de forma não intencional, criam criadouros persistentes para o *Aedes aegypti*. Diferentemente de ambientes úmidos, onde a chuva fornece oportunidades naturais de reprodução, nesses contextos a proliferação vetorial é predominantemente mediada por ações humanas.

As evidências indicam que recipientes domésticos, como caixas d’água, tonéis e reservatórios improvisados, constituem os principais habitats larvais em áreas urbanas. Rodrigues *et al.* (2023, p. 5) relatam que “recipientes artificiais representam os principais criadouros em ambientes urbanos”, confirmando a transição de nichos naturais para nichos antropogênicos. Esse padrão é ainda mais acentuado em áreas socioeconomicamente vulneráveis, onde o acesso limitado ao abastecimento contínuo de água intensifica a dependência dessas práticas.

A relação entre saneamento e transmissão também reforça esse processo. Almeida *et al.* (2020) demonstram que sistemas de saneamento inadequados e gestão ineficiente de resíduos contribuem para a persistência de criadouros, especialmente em áreas densamente povoadas. Como destacado pelos autores, “determinantes ambientais como armazenamento de água e saneamento impactam diretamente a saúde urbana” (Almeida *et al.*, 2020, p. 3125).

Evidências quantitativas corroboram essa associação. Estudos em comunidades vulneráveis mostram densidades vetoriais significativamente mais elevadas em áreas com infraestrutura precária, indicando que a desigualdade socioambiental constitui um determinante central do risco de arboviroses (Souza *et al.*, 2023). Nesses contextos, a ausência de serviços públicos confiáveis transforma o espaço doméstico em um microambiente capaz de sustentar a reprodução do vetor independentemente da sazonalidade das chuvas.

3.3 Ilhas de calor urbanas e aceleração dos ciclos virais

A dinâmica térmica emerge como um fator crítico na modulação da transmissão de arboviroses em cidades semiáridas. A presença de ilhas de calor urbanas altera significativamente os regimes térmicos locais, criando microclimas que aceleram tanto o desenvolvimento do vetor quanto a replicação viral. Estudos no Nordeste brasileiro demonstram que áreas urbanizadas podem apresentar aumentos de temperatura de vários graus em comparação com áreas rurais adjacentes, intensificando o estresse térmico urbano (Brasileiro; Zanella, 2021).

Essa amplificação térmica possui implicações diretas no ciclo epidemiológico. Temperaturas elevadas reduzem o período de incubação extrínseca do vírus no mosquito, permitindo que os vetores se tornem infectantes mais rapidamente. Su *et al.* (2025) apresentam evidências quantitativas de que temperaturas noturnas elevadas estão associadas ao aumento da incidência de dengue, indicando que “noites quentes aumentam significativamente o potencial de transmissão” (p. 7). Esse fenômeno é particularmente relevante no Semiárido, onde o calor acumulado nas superfícies urbanas mantém temperaturas elevadas durante a noite.

Análises meteorológicas reforçam que a temperatura exerce influência mais consistente do que a precipitação na dinâmica vetorial nesses ambientes. Araújo *et al.* (2019) demonstram que a variabilidade térmica está fortemente associada às flutuações populacionais do *Aedes aegypti*, mesmo em condições de baixa pluviosidade. Esses resultados desafiam pressupostos tradicionais e indicam que o regime térmico, mais do que a disponibilidade de água, é central para compreender a transmissão em sistemas urbanos semiáridos.

3.4 Variabilidade climática e eventos extremos no semiárido

A variabilidade climática adiciona uma camada adicional de complexidade à dinâmica das arboviroses no Semiárido. Fenômenos climáticos de grande escala, como o *El Niño*–Oscilação Sul (ENSO), influenciam padrões de temperatura, regimes de precipitação e estabilidade ambiental, afetando diretamente a ecologia vetorial. Pirani *et al.* (2024) demonstram que fases do ENSO estão associadas a variações significativas nos níveis de infestação do *Aedes aegypti*, evidenciando que oscilações climáticas globais possuem efeitos epidemiológicos locais.

Ao mesmo tempo, as chuvas no Semiárido são marcadas pela irregularidade e intensidade, e não pela continuidade. Eventos pluviométricos episódicos podem desencadear a eclosão rápida de ovos dormentes, provocando aumentos abruptos na população vetorial. Ogasawara *et al.* (2019) ressaltam que “a variabilidade ambiental desempenha papel crucial na dinâmica da dengue” (p. 3), destacando a importância de efeitos climáticos não lineares.

Essas dinâmicas são agravadas pelas condições socioambientais. Morgan *et al.* (2021) argumentam que fatores climáticos interagem com variáveis socioeconômicas e infraestruturais, produzindo padrões de transmissão heterogêneos que não podem ser explicados apenas pelo clima. Em cidades semiáridas, essa interação resulta em um sistema no qual extremos climáticos e vulnerabilidades urbanas convergem, amplificando o risco epidemiológico.

3.5 Ecologia vetorial e amplificação viral sob condições de estresse

A dimensão biológica da transmissão revela mecanismos que reforçam os efeitos dos fatores urbanos e

ambientais. Estudos experimentais indicam que condições típicas de ambientes urbanos semiáridos, como altas temperaturas e disponibilidade limitada de água, podem alterar a biologia do vetor de forma a intensificar a transmissão.

O adensamento larval, comum em criadouros pequenos e densamente ocupados, tem sido associado ao aumento da carga viral em mosquitos adultos. Dutra *et al.* (2024, p. 6) relatam que “o adensamento larval leva a maiores títulos virais”, sugerindo que o estresse ambiental durante o desenvolvimento intensifica a competência vetorial. Esse achado indica que não apenas a presença de criadouros, mas também sua densidade e qualidade, influenciam a dinâmica de transmissão.

A variabilidade genética e fisiológica das populações de mosquitos também contribui para esse processo. Campos *et al.* (2022) demonstram que diferentes populações de *Aedes aegypti* apresentam níveis distintos de suscetibilidade viral, indicando que a competência vetorial não é uniforme entre regiões. Essa variabilidade interage com condições ambientais locais, produzindo padrões de transmissão específicos.

Análises espaciais da oviposição revelam ainda a concentração de criadouros em áreas urbanas específicas. Moura *et al.* (2020) identificam forte agregação espacial da deposição de ovos em microambientes favoráveis, reforçando o papel da heterogeneidade urbana na distribuição do vetor. Em conjunto, esses achados indicam que a transmissão de arboviroses em cidades semiáridas resulta da convergência entre plasticidade ecológica, estresse ambiental e organização socioespacial.

A Tabela 2 sistematiza os principais fatores identificados na revisão integrativa, organizando-os em quatro dimensões interconectadas: urbana, ambiental, socioambiental e biológica. A tabela evidencia não apenas a presença de fatores individuais, mas também seus mecanismos de ação e implicações epidemiológicas diretas. Essa estrutura permite uma visualização mais clara de como diferentes domínios convergem para moldar a dinâmica de transmissão de arboviroses em cidades semiáridas, reforçando o caráter multidimensional do fenômeno.

Tabela 2. Fatores da transmissão de arboviroses em cidades do Semiárido

Categoria do fator	Fator específico	Mecanismo de ação	Efeito epidemiológico	Evidência
Urbano	Expansão horizontal	Crescimento urbano fragmentado com infraestrutura limitada	Aumento da exposição em áreas periféricas	Carvalho <i>et al.</i> (2019); Nascimento; Macedo (2025)
Urbano	Saneamento inadequado	Acúmulo de resíduos e reservatórios de água	Proliferação de criadouros	Almeida <i>et al.</i> (2020); Rodrigues <i>et al.</i> (2023)
Ambiental	Ilhas de calor urbanas	Elevação da temperatura superficial e noturna	Redução do período de incubação viral	Brasileiro; Zanella (2021); Su <i>et al.</i> (2025)
Ambiental	Variabilidade climática (ENSO)	Oscilações de chuva e temperatura	Aumentos episódicos na densidade vetorial	Pirani <i>et al.</i> (2024); Ogasawara <i>et al.</i> (2019)
Ambiental	Regimes de alta	Aceleração do ciclo de	Maior eficiência de	Araújo <i>et al.</i> (2019)

	temperatura	vida do mosquito	transmissão	
Socioambiental	Armazenamento doméstico de água	Formação de criadouros artificiais persistentes	Presença contínua do vetor independente da chuva	Almeida <i>et al.</i> (2020); Souza <i>et al.</i> (2023)
Biológico	Adensamento larval	Competição e estresse no desenvolvimento	Aumento da carga viral em mosquitos adultos	Dutra <i>et al.</i> (2024)
Biológico	Variabilidade da competência vetorial	Diferenças genéticas e fisiológicas	Capacidade de transmissão heterogênea	Campos <i>et al.</i> (2022); Fernandes <i>et al.</i> (2020)
Espacial	Agrupamento de oviposição	Concentração de criadouros em áreas específicas	Formação de hotspots de transmissão	Moura <i>et al.</i> (2020)

Fonte: Elaboração própria.

Os dados apresentados indicam que a transmissão de arboviroses em sistemas urbanos semiáridos não pode ser atribuída a determinantes isolados. Ao contrário, ela emerge da interação entre condições estruturais urbanas, variabilidade climática e biologia vetorial. Os fatores urbanos, especialmente a expansão horizontal e os déficits de infraestrutura, estabelecem a base espacial da vulnerabilidade ao produzir ambientes nos quais a insegurança hídrica e as falhas de saneamento se tornam condições normalizadas (Carvalho *et al.*, 2019; Nascimento; Macedo, 2025). Essas condições não são passivas, mas atuam diretamente na geração de criadouros e na sustentação das populações vetoriais (Almeida *et al.*, 2020; Rodrigues *et al.*, 2023).

Os fatores ambientais intensificam essa vulnerabilidade estrutural. Temperaturas elevadas e ilhas de calor aceleram a replicação viral e o desenvolvimento do vetor, enquanto a variabilidade climática promove aumentos episódicos na densidade vetorial (Brasileiro; Zanella, 2021; Su *et al.*, 2025; Pirani *et al.*, 2024). Importante destacar que esses processos não atuam de forma isolada, mas amplificam os efeitos da precariedade urbana. Chuvas irregulares, por exemplo, só se tornam epidemiologicamente relevantes quando associadas à ampla presença de recipientes artificiais que permitem a rápida proliferação vetorial (Ogasawara *et al.*, 2019; Araújo *et al.*, 2019).

Os fatores biológicos completam esse sistema ao modular a eficiência da transmissão. O adensamento larval e a variabilidade da competência vetorial demonstram que o mosquito não é um elemento estático, mas um agente responsivo moldado por estressores ambientais (Campos *et al.*, 2022; Dutra *et al.*, 2024). O agrupamento espacial da oviposição reforça ainda que o risco não é homogêneo, mas distribuído de forma desigual no espaço urbano, evidenciando a importância de análises em microescala (Moura *et al.*, 2020).

Em conjunto, a tabela sustenta uma interpretação sistêmica na qual a transmissão de arboviroses é produzida por ciclos de retroalimentação entre infraestrutura, clima e ecologia vetorial. Isso evidencia a insuficiência de explicações baseadas em fatores isolados e reforça a necessidade de abordagens analíticas integradas capazes de apreender a complexidade dos ambientes urbanos semiáridos (Martins; Alencar, 2022; Barakat; Caprara, 2021).

4 DISCUSSÃO

4.1 Integração entre urbanização, clima e biologia vetorial

Os achados desta revisão indicam que a transmissão de arboviroses em cidades semiáridas deve ser interpretada a partir de uma perspectiva sistêmica que integre processos de urbanização, dinâmicas climáticas e biologia vetorial. Análises isoladas dessas dimensões não são capazes de explicar a persistência e a expansão da transmissão observadas em cidades médias. As evidências apontam para um sistema acoplado, no qual déficits de infraestrutura, variabilidade térmica e plasticidade ecológica do *Aedes aegypti* se reforçam mutuamente.

Sob uma perspectiva ecoepidemiológica, essa interação reflete a coprodução da doença por determinantes ambientais e sociais. Martins e Alencar (2022, p. 4) enfatizam que “a transmissão da dengue emerge da interação entre sistemas ecológicos e sociais”, reforçando a necessidade de superar abordagens reducionistas. De modo semelhante, Barakat e Caprara (2021) argumentam que estratégias eficazes de controle requerem uma “abordagem ecobiossocial”, na qual variáveis biológicas, ambientais e sociais são tratadas como componentes interdependentes.

No contexto semiárido, essa integração torna-se ainda mais crítica. Lima-Camara (2024, p. 2) afirma que “a dengue é produto do ambiente”, formulação que, à luz dos achados desta revisão, deve ser ampliada para incluir o ambiente construído e as práticas adaptativas humanas. Os dados analisados demonstram que ilhas de calor urbanas, infraestrutura precária e armazenamento doméstico de água não atuam de forma isolada, mas compõem uma rede de mecanismos interdependentes que estabilizam populações vetoriais e sustentam a circulação viral, mesmo sob condições climáticas tradicionalmente consideradas desfavoráveis.

4.2 O Sistema de Amplificação de Arboviroses em Ambientes Urbanos Semiáridos (modelo conceitual)

A partir da síntese integrativa, este estudo propõe o Sistema de Amplificação de Arboviroses em Ambientes Urbanos Semiáridos (SUAAS) como um modelo conceitual para explicar a persistência e a intensificação da transmissão em cidades médias do Semiárido. O modelo estrutura-se em três eixos interdependentes: ambiente construído, condições climáticas e comportamento humano.

O ambiente construído engloba a expansão urbana horizontal, a fragmentação espacial e os déficits de infraestrutura, que geram paisagens heterogêneas marcadas por acesso desigual a saneamento e abastecimento de água. Essas condições criam nichos ecológicos localizados que favorecem a proliferação vetorial. Almeida *et al.* (2022) demonstram que a transmissão da dengue no Brasil é altamente heterogênea, indicando que “condições locais moldam significativamente os perfis de transmissão”, resultado compatível com a variabilidade espacial observada em cidades semiáridas.

As condições climáticas, especialmente temperaturas elevadas e variabilidade nas precipitações, modulam o desenvolvimento do vetor e a replicação viral. A temperatura exerce forte influência sobre o período de incubação extrínseca, enquanto eventos pluviométricos episódicos desencadeiam aumentos rápidos na densidade vetorial. Morgan *et al.* (2021) destacam que fatores climáticos e socioeconômicos interagem na produção de padrões complexos de transmissão, reforçando a necessidade de modelos integrados.

O comportamento humano, particularmente as respostas adaptativas à escassez hídrica, completa o

sistema. O armazenamento doméstico de água cria criadouros persistentes que desvinculam a reprodução do vetor dos ciclos naturais de chuva. Esse processo transforma os domicílios em componentes ativos do sistema de transmissão. Fernandes *et al.* (2020) indicam que a competência vetorial é influenciada pelas condições ambientais, sugerindo que ambientes antropogênicos exercem papel decisivo na dinâmica epidemiológica.

O modelo SUAAS conceitua, portanto, a transmissão de arboviroses como um sistema de retroalimentação no qual forma urbana, clima e práticas humanas interagem continuamente. Em vez de uma cadeia linear de causalidade, propõe-se uma dinâmica circular, na qual cada componente amplifica os demais, gerando condições estáveis para a transmissão mesmo em ambientes semiáridos.

4.3 Lacunas de políticas públicas e falhas na governança urbana

A persistência da transmissão de arboviroses em cidades semiáridas também reflete lacunas significativas na governança urbana e nas políticas públicas. Os estudos analisados indicam que instrumentos de planejamento e estratégias de saúde frequentemente não abordam os determinantes estruturais da transmissão, concentrando-se em ações reativas e fragmentadas.

Um dos principais problemas é a limitada integração entre planejamento urbano e saúde pública. Macêdo e Bispo Júnior (2024) destacam que o trabalho dos agentes de controle é frequentemente condicionado por fatores estruturais mais amplos, afirmando que “as ações de controle vetorial são insuficientes quando não acompanhadas de melhorias urbanas estruturais” (p. 9). Isso indica que intervenções técnicas isoladas não são capazes de compensar déficits sistêmicos de infraestrutura.

O saneamento permanece como um desafio central. Almeida *et al.* (2020) demonstram que a precariedade sanitária está diretamente associada ao aumento do risco de arboviroses, especialmente em áreas urbanas densamente povoadas. Simultaneamente, os processos de expansão urbana ocorrem sem o desenvolvimento paralelo de serviços essenciais. Carvalho *et al.* (2019) descrevem que a urbanização no Semiárido é marcada pela “produção fragmentada do espaço”, resultando em territórios onde a infraestrutura básica é inexistente ou incompleta.

Essas falhas de governança produzem um descompasso estrutural entre crescimento urbano e provisão de serviços, criando ambientes que favorecem a proliferação vetorial. A ausência de políticas integradas que articulem habitação, saneamento, abastecimento de água e gestão ambiental limita a eficácia das estratégias tradicionais de controle e perpetua as condições que sustentam a transmissão.

4.4 Perspectiva One Health e implicações globais

A complexidade da transmissão de arboviroses em cidades semiáridas evidencia a relevância da abordagem One Health, que reconhece a interdependência entre saúde humana, ambiente e processos socioeconômicos. Os achados desta revisão convergem com essa perspectiva ao demonstrar que a dinâmica de transmissão é moldada pela interação entre sistemas ecológicos e ambientes modificados pela ação humana.

Martins e Alencar (2022) defendem que abordagens ecoepidemiológicas são essenciais para compreender doenças como a dengue, pois incorporam múltiplos níveis de análise. Essa perspectiva é reforçada por estudos

sobre sustentabilidade e gestão ambiental no Semiárido, que destacam a necessidade de integrar a dinâmica dos recursos naturais às atividades humanas (Silva *et al.*, 2024; Medeiros Neto *et al.*, 2024). Esses trabalhos evidenciam que degradação ambiental, escassez hídrica e expansão urbana constituem processos interligados com implicações diretas para a saúde pública.

Em escala global, cidades semiáridas podem ser interpretadas como laboratórios emergentes para o estudo da transmissão de arboviroses sob condições de crescente estresse climático. O aumento das temperaturas globais e a expansão de zonas áridas indicam que as dinâmicas observadas no Semiárido brasileiro tendem a se tornar mais frequentes em outras regiões. Nesse sentido, compreender essas interações é fundamental não apenas para políticas locais, mas também para antecipar cenários epidemiológicos futuros em um contexto de aquecimento global (Fonte?????).

As evidências apresentadas questionam a suficiência dos modelos tradicionais e reforçam a necessidade de estruturas analíticas integradas capazes de captar a complexidade das interações entre ambiente urbano, clima e biologia. Ao situar a transmissão de arboviroses em um sistema socioecológico mais amplo, este estudo contribui para uma compreensão mais abrangente e prospectiva das doenças infecciosas emergentes (Fonte?????).

A Tabela 3 apresenta a estrutura conceitual do Sistema de Amplificação de Arboviroses em Ambientes Urbanos Semiáridos (SUAAS), sintetizando as interações multidimensionais identificadas ao longo da revisão integrativa. O modelo está organizado em cinco componentes interconectados que refletem os principais domínios que influenciam a transmissão de arboviroses: ambiente construído, sistema climático, comportamento humano, ecologia vetorial e governança. Cada componente é descrito em termos de seus elementos-chave, mecanismos de interação, processos de retroalimentação e consequências epidemiológicas, permitindo uma visualização sistemática de como esses fatores convergem nos contextos urbanos semiáridos.

Tabela 3. Modelo conceitual: Sistema de Amplificação de Arboviroses em Ambientes Urbanos Semiáridos (SUAAS)

Componente do sistema	Elementos-chave	Mecanismo de interação	Ciclo de retroalimentação	Resultado epidemiológico
Ambiente construído	Expansão horizontal; déficits de infraestrutura; fragmentação espacial	Criação de nichos urbanos heterogêneos com saneamento e abastecimento limitados	Reforça práticas de armazenamento de água e habitats vetoriais localizados	Transmissão persistente e espacialmente desigual
Sistema climático	Altas temperaturas; ilhas de calor; variabilidade das chuvas	Aceleração do desenvolvimento vetorial e da replicação viral; emergência episódica de vetores	Intensifica efeitos da precariedade urbana e do estresse ambiental	Aumento da eficiência de transmissão e da intensidade de surtos
Comportamento humano	Armazenamento doméstico de água; práticas adaptativas;	Criação de criadouros artificiais independentes dos	Sustenta populações vetoriais durante períodos secos	Transmissão contínua em condições de

	infraestrutura informal	ciclos de chuva		baixa umidade
Ecologia vetorial	Adensamento larval; variabilidade da competência vetorial; agrupamento de oviposição	Adaptação biológica ao estresse ambiental e urbano	Aumenta carga viral e capacidade de transmissão	Elevação das taxas de infecção e formação de hotspots
Governança e políticas públicas	Planejamento urbano frágil; políticas sanitárias insuficientes; intervenções fragmentadas	Incapacidade de enfrentar determinantes estruturais da transmissão	Perpetua vulnerabilidades ambientais e infraestruturais	Persistência de longo prazo do risco de arboviroses

Fonte: Elaboração própria.

O modelo demonstra que a transmissão de arboviroses em cidades semiáridas opera como um sistema dinâmico e autorreforçado, e não como uma cadeia causal linear. O ambiente construído estabelece as condições estruturais de vulnerabilidade, especialmente por meio da expansão urbana fragmentada e da insuficiência de infraestrutura, que produzem heterogeneidade espacial e exposição desigual ao risco (Carvalho *et al.*, 2019; Trevisan, 2021). Essas condições estruturais influenciam diretamente o comportamento humano, especialmente as práticas adaptativas de armazenamento de água, que, por sua vez, geram criadouros artificiais e sustentam populações vetoriais independentemente dos ciclos hidrológicos naturais (Almeida *et al.*, 2020).

Os fatores climáticos não atuam como gatilhos primários, mas como amplificadores desse sistema. Temperaturas elevadas e ilhas de calor intensificam os processos biológicos no vetor, acelerando a replicação viral e reduzindo o período de incubação (Brasileiro; Zanella, 2021; Su *et al.*, 2025). Ao mesmo tempo, a variabilidade climática introduz flutuações episódicas que interagem com vulnerabilidades urbanas pré-existentes, em vez de determinar a transmissão de forma isolada (Ogasawara *et al.*, 2019; Pirani *et al.*, 2024).

A inclusão da ecologia vetorial como componente específico evidencia que as respostas biológicas são moldadas por estressores ambientais e urbanos. O adensamento larval e a variabilidade da competência vetorial demonstram que as populações de mosquitos se adaptam a essas condições, aumentando a eficiência de transmissão em ambientes restritivos (Campos *et al.*, 2022; Dutra *et al.*, 2024). O agrupamento espacial da oviposição reforça ainda o caráter localizado do risco, produzindo microterritórios de alta intensidade de transmissão (Moura *et al.*, 2020).

Por fim, a dimensão da governança revela que a persistência desse sistema não é aleatória, mas estruturalmente mantida. A ausência de políticas integradas entre urbanismo e saúde permite que os ciclos de retroalimentação entre infraestrutura, clima e comportamento permaneçam ativos. Como resultado, o sistema torna-se autossustentado, com cada componente reforçando os demais ao longo do tempo. Essa interpretação sistêmica desafia modelos tradicionais que isolam fatores climáticos ou biológicos e evidencia a necessidade de intervenções integradas capazes de atuar simultaneamente sobre múltiplos componentes do sistema.

5 CONCLUSÃO

Este estudo demonstra que a transmissão de arboviroses em cidades médias do semiárido brasileiro não pode ser adequadamente explicada por modelos tradicionais centrados apenas no clima. Em vez disso, ela emerge de um sistema complexo e interdependente no qual a urbanização disfuncional, a heterogeneidade térmica e as práticas humanas adaptativas convergem para sustentar a proliferação do vetor e a circulação viral. As evidências reforçam a existência de um paradoxo epidemiológico do semiárido, no qual a escassez hídrica não limita a transmissão, mas, por meio do armazenamento inseguro de água e de déficits de infraestrutura, contribui ativamente para ela.

Ao articular dimensões ambientais, urbanas e biológicas em um quadro analítico unificado, este estudo avança uma interpretação sistêmica da dinâmica das arboviroses e destaca o papel central do ambiente construído na conformação dos desfechos epidemiológicos. Essa perspectiva desafia abordagens fragmentadas e aponta para a necessidade de reorientação das agendas de pesquisa em direção a modelos integrativos e sensíveis ao contexto, capazes de captar as realidades de territórios urbanos em rápida transformação.

As implicações vão além do debate acadêmico. O planejamento urbano, as políticas de saneamento e as estratégias de saúde pública devem avançar para ações coordenadas e preventivas que enfrentem determinantes estruturais, em vez de sintomas isolados. No contexto das mudanças climáticas globais, cidades do semiárido podem representar expressões antecipadas de futuros cenários epidemiológicos, nos quais a intensificação do calor e a insegurança hídrica se tornam cada vez mais comuns. Compreender essas dinâmicas hoje é essencial para antecipar e mitigar os riscos de amanhã.

REFERÊNCIAS

- Almeida, I. F., Lana, R. M., & Codeço, C. T. (2022). How heterogeneous is the dengue transmission profile in Brazil? *PLoS Neglected Tropical Diseases*. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0010746>
- Almeida, L. S. S., Cota, A. L. S., & Rodrigues, D. F. (2020). Saneamento, arboviroses e determinantes ambientais: impactos na saúde urbana. *Ciência & Saúde Coletiva*. <https://doi.org/10.1590/1413-812320202510.30712018>
- Araújo, R. A. F., Uchôa, N. M., & Alves, J. M. B. (2019). Influência de variáveis meteorológicas na prevalência de doenças transmitidas por *Aedes aegypti*. *Revista Brasileira de Meteorologia*. <https://doi.org/10.1590/0102-7786343054>
- Barakat, R. D. M., & Caprara, A. (2021). Abordagem ecobiossocial no controle do *Aedes aegypti*. *Interface (Botucatu)*. <https://doi.org/10.1590/interface.190805>
- Brasileiro, F. M. G., & Zanella, M. E. (2021). Ilhas de calor urbanas em Sobral (CE). *Geopanta*. <https://doi.org/10.22481/rg.v5i4.e2021.e9499>
- Carvalho, C. C. A., et al. (2019). Produção urbana no semiárido brasileiro: Pau dos Ferros (RN). *Interações*. <https://doi.org/10.20435/inter.v20i3.1855>
- Campos, K. B., et al. (2022). Resistência de *Aedes aegypti* e suscetibilidade ao Zika vírus. *Viruses*. <https://doi.org/10.3390/v14102198>
- Dutra, H. L., et al. (2024). Larval crowding e aumento da carga viral em *Aedes aegypti*. *PLoS Neglected Tropical Diseases*. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0012482>

- Ferreira, D. T. O., et al. (2022). Fatores de risco para dengue em cidade média. *São Paulo Medical Journal*. <https://doi.org/10.1590/1516-3180.2020.0718.R1.18052021>
- Fernandes, R. S., et al. (2020). Competência vetorial de mosquitos no Brasil. *Pathogens*. <https://doi.org/10.3390/pathogens9070575>
- Gurgel-Gonçalves, R., Oliveira, W. K., & Croda, J. (2024). The greatest dengue epidemic in Brazil. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*. <https://doi.org/10.1590/0037-8682-0113-2024>
- Lima-Camara, T. N. (2024). A dengue é produto do meio. *Revista Brasileira de Epidemiologia*. <https://doi.org/10.1590/1980-549720240048.2>
- Lobkowicz, L., et al. (2022). Co-circulação de arbovírus em Pernambuco. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.21-0449>
- Macêdo, T. F. C., & Bispo Júnior, J. P. (2024). Atuação de agentes no controle de arboviroses. *Physis*. <https://doi.org/10.1590/S0103-7331202434099>
- Martins, A. B. S., & Alencar, C. H. (2022). Ecoepidemiologia da dengue no Brasil. *One Health & Implementation Research*. <https://doi.org/10.20517/ohir.2021.10>
- Medeiros Neto, P. N., et al. (2024). *Ciências florestais no Semiárido brasileiro*. EDUFMG. <https://doi.org/10.35572/9788580013146>
- Mendes, K. D. S., Silveira, R. C. C. P., & Galvão, C. M. (2008). Revisão integrativa: método de pesquisa para a incorporação de evidências na saúde e na enfermagem. *Texto & Contexto - Enfermagem*, 17(4), 758–764. <https://doi.org/10.1590/S0104-07072008000400018>
- Morgan, J., Strobe, C., & Salcedo-Sora, J. E. (2021). Fatores climáticos e socioeconômicos na transmissão de arboviroses. *PLoS Neglected Tropical Diseases*. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0009259>
- Moura, M. C. B., et al. (2020). Dinâmica espacial de oviposição de *Aedes aegypti* no Nordeste. *Tropical Medicine & International Health*. <https://doi.org/10.1111/tmi.13491>
- Nascimento, C. E. P., & Macedo, F. C. (2025). Dinâmica urbano-regional do Semiárido. *Revista de Economia Regional*. <https://doi.org/10.21680/2316-5235.2025v14n1ID40708>
- Ogashawara, I., Li, L., & Moreno-Madriñán, M. J. (2019). Fatores ambientais e dengue. *GeoHealth*. <https://doi.org/10.1029/2019GH000186>
- Pirani, M., et al. (2024). ENSO e infestação de *Aedes aegypti*. *PLoS Neglected Tropical Diseases*. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0012397>
- Ramesh, A., et al. (2019). Vigilância de arbovírus em mosquitos no Recife. *Wellcome Open Research*. <https://doi.org/10.12688/wellcomeopenres.15295.1>
- Rodrigues, G. O., et al. (2023). Criadouros potenciais de *Aedes* em área urbana. *Brazilian Journal of Biology*. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.275582>
- Silva, V. F., et al. (2024). *Recursos naturais e sustentabilidade no Semiárido*. EDUFMG. <https://doi.org/10.35572/9788580013139>
- Souza, M. T., Silva, M. D., & Carvalho, R. (2010). Revisão integrativa: o que é e como fazer. *Einstein (São Paulo)*, 8(1), 102–106. <https://doi.org/10.1590/s1679-45082010rw1134>

Souza, R. L., et al. (2023). Densidade de *Aedes aegypti* em comunidade urbana vulnerável. *Parasites & Vectors*. <https://doi.org/10.1186/s13071-023-05766-5>

Su, M., et al. (2025). Hot nights e aumento da dengue no Brasil. *Infectious Diseases of Poverty*. <https://doi.org/10.1186/s40249-025-01326-4>

Torraco, R. J. (2005). Writing integrative literature reviews: Guidelines and examples. *Human Resource Development Review*, 4(3), 356–367. <https://doi.org/10.1177/1534484305278283>

Trevisan, R. (2021). *Cidades novas*. Editora Universidade de Brasília. <https://books.scielo.org/id/dp3cj>