

MODELAGEM ESPAÇO-TEMPORAL PARA ESTRATIFICAÇÃO DE ÁREA DE RISCO DE ARBOVIROSES NO MUNICÍPIO DE NATAL, RN (2019-2022)

SPATIOTEMPORAL MODELING FOR STRATIFICATION OF ARBOVIROSIS RISK AREAS IN THE MUNICIPALITY OF NATAL, RN (2019-2022)

Reginaldo Lopes Santana

Prefeitura Municipal do Natal, Unidade de Vigilância de Zoonoses, Natal, RN, Brasil
reginaldo.lopes.santana@gmail.com

Luciano Pereira da Silva

Prefeitura Municipal do Natal, Unidade de Vigilância de Zoonoses, Natal, RN, Brasil
luccianopp@icloud.com

Jan Pierre de Martins Araújo

Prefeitura Municipal do Natal, Unidade de Vigilância de Zoonoses, Natal, RN, Brasil
janpierremartins@gmail.com

Lúcio Pereira da Silva

Prefeitura Municipal do Natal, Unidade de Vigilância de Zoonoses, Natal, RN, Brasil
lucio.p.silva@yahoo.com.br

Carlos André do Nascimento Silva

Prefeitura Municipal do Natal, Unidade de Vigilância de Zoonoses, Natal, RN, Brasil
karlosandrejc@gmail.com

Márcia Cristina Bernardo de Melo Moura

Prefeitura Municipal do Natal, Unidade de Vigilância de Zoonoses, Natal, RN, Brasil
marciamealo77@gmail.com

Dennys Lúcio Pereira Barbosa

Prefeitura Municipal do Natal, Unidade de Vigilância de Zoonoses, Natal, RN, Brasil
dennyslucio.2017@gmail.com

Leandro Medeiros Dantas

Prefeitura Municipal do Natal, Unidade de Vigilância de Zoonoses, Natal, RN, Brasil
uvznatal.leo@gmail.com

Rodrigo Moreira Pedreira

Prefeitura Municipal do Natal, Unidade de Vigilância de Zoonoses, Natal, RN, Brasil
rodrigompedreira@gmail.com

Isabelle Ribeiro Barbosa

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Faculdade de Ciências da Saúde do Trairi, Santa Cruz, RN, Brasil
isabelleribeiro68@gmail.com

RESUMO

Os arbovíroses como dengue, febre amarela, chikungunya e Zika, representam uma ameaça crescente à saúde pública, especialmente em regiões tropicais e subtropicais. A disseminação desses vírus, transmitidos por mosquitos *Aedes*, tem sido impulsionada por fatores ecológicos, econômicos e sociais. Diante desse cenário, a vigilância em saúde precisa considerar a diversidade espacial do risco de transmissão para otimizar estratégias de controle. No Brasil, o projeto ARBOALVO, conduzido pelo Instituto Oswaldo Cruz/Fiocruz em parceria com o Ministério da Saúde, tem como objetivo identificar áreas prioritárias para intervenções, utilizando metodologias de estratificação de risco. Em Natal (RN), um estudo entomo-epidemiológico analisou a distribuição espaço-temporal das arboviroses entre 2019 e 2022. A técnica de varredura estatística Scan foi empregada para mapear 426 zonas da cidade, classificando-as em diferentes níveis de risco. A análise espaço-temporal de

permutação identificou e classificou 426 zonas do município em quatro níveis de risco: 34 de muito alto, 140 alto, 164 médio e 88 baixo. A distribuição revelou diferenças significativas entre os territórios. As zonas de muito alto risco concentram-se nos distritos norte e oeste, contrastando com os menores riscos nos distritos sul e leste. Os resultados reforçam a importância de metodologias que permitam intervenções direcionadas, maximizando recursos e potencializando o combate às arboviroses. A identificação de áreas prioritárias possibilita um planejamento mais eficiente para reduzir a transmissão e mitigar os impactos dessas doenças na saúde pública.

Palavras-chave: Arboviroses. Geoprocessamento. Estratificação.

ABSTRACT

Arboviruses such as dengue, yellow fever, chikungunya, and Zika pose a growing threat to public health, especially in tropical and subtropical regions. The spread of these mosquito-borne viruses, primarily transmitted by *Aedes* mosquitoes, has been driven by ecological, economic, and social factors. In this context, health surveillance must consider the spatial diversity of transmission risk to optimize control strategies. In Brazil, the ARBOALVO project, led by the Oswaldo Cruz Institute/Fiocruz in partnership with the Ministry of Health, aims to identify priority areas for interventions using risk stratification methodologies. In Natal (RN), an entomo-epidemiological study analyzed the spatiotemporal distribution of arboviruses between 2019 and 2022. The Scan statistical scanning technique was employed to map 426 zones of the city, classifying them into different risk levels. Spatiotemporal permutation analysis identified and classified 426 areas of the municipality into four risk levels: 34 very high, 140 high, 164 medium, and 88 low. The distribution revealed significant differences between the territories. Very high-risk areas are concentrated in the northern and western districts, contrasting with lower risk areas in the southern and eastern districts. The findings reinforce the importance of methodologies that enable targeted interventions, maximizing resources and enhancing efforts to combat arboviruses. Identifying priority areas allows for more efficient planning to reduce transmission and mitigate the impacts of these diseases on public health.

Keywords: Arboviruses. Geoprocessing. Stratification.

INTRODUÇÃO

Vírus transmitidos por artrópodes (arbovírus), como dengue, febre amarela, chikungunya e vírus Zika, são todos ameaças atuais à saúde pública em áreas tropicais e subtropicais onde vivem aproximadamente 3,9 bilhões de pessoas. A frequência e a magnitude dos surtos desses arbovírus, particularmente aqueles transmitidos por mosquitos *Aedes*, estão aumentando globalmente, alimentados pela convergência de fatores ecológicos, econômicos e sociais (WHO, 2024).

As arboviroses representam uma preocupação crescente para a saúde pública em todo o mundo, especialmente devido ao seu potencial de disseminação, capacidade de se adaptar a novos ecossistemas e hospedeiros (tanto vertebrados quanto invertebrados), além da possibilidade de provocar epidemias amplas, a vulnerabilidade generalizada da população e a ocorrência significativa de casos graves com comprometimento neurológico, articular e hemorrágico. O efeito das arboviroses na morbidade e mortalidade se agrava à medida que epidemias extensas implicam um grande número de indivíduos afetados, impactando os serviços de saúde, especialmente na falta de tratamentos, vacinas e outras estratégias eficazes de prevenção e controle (Donalisio et al., 2017). Assim, Barbosa et al. (2016) destaca que o reconhecimento de regiões com maior vulnerabilidade é de extrema importância para a tomada de decisões e a implementação de medidas de diversas escalas na vigilância em saúde.

De acordo com Vanlerberghe et al. (2017), um novo modelo para o controle da dengue não deve ser pensado com a premissa de que a intensidade de transmissão seja uniforme em todos os locais. É crucial levar em conta a diversidade espacial do risco de transmissão da dengue dentro da cidade, e, portanto, realizar a estratificação das áreas geográficas. Sempre que viável, é importante definir os diferentes estratos e ajustar os esforços de controle conforme as condições de risco, que tornam certas regiões mais ou menos suscetíveis à transmissão da dengue. Segundo o Ministério da saúde (2006) o trabalho da vigilância em saúde exige a integração entre esses dados sobre ambiente, sociedade e saúde, que nem sempre estão disponíveis, e que raramente apresentam uma relação tão clara. O geoprocessamento pode ajudar a integrar esses dados e automatizar operações que facilitam analisá-los.

No Brasil, uma abordagem para estratificar o território é implementada por meio de um projeto de pesquisa apoiado pelo Ministério da Saúde, conduzido pelo Instituto Oswaldo Cruz/Fundação Oswaldo Cruz (IOC/Fiocruz), chamado ARBOALVO (San Pedro et al., 2022; Siqueira et al., 2022). O intuito é identificar áreas prioritárias para intervenções relacionadas à arboviroses urbanas transmitidas pelo *Aedes*, atuando em diversas escalas espaciais e temporais, mostrando-se uma tática promissora para detectar localidades prioritárias em períodos onde o risco de transmissão é superior ao esperado. Ademais, o projeto ARBOALVO desenvolveu uma série de propostas metodológicas para a estratificação de áreas de risco para Dengue, Zika e Chikungunya nas cidades endêmicas brasileiras, em colaboração com o Ministério da Saúde e as Secretarias Municipais de Saúde: Belo Horizonte (Minas Gerais), Campo Grande (Mato Grosso do Sul), Natal (Rio Grande do Norte) e Recife (Pernambuco).

Sabendo que o território municipal é heterogêneo, seja no eixo social, como ambiental e de infraestrutura, assim como, as dificuldades da própria estrutura do serviço público, como baixa contingência de servidores e de insumos, é necessário pensar na delimitação e estratificação de cada área desse território, pensando nos padrões espaciais da ocorrência dos casos de Arboviroses, para um melhor planejamento por parte do poder público de ações preventivas e mitigadoras mais eficazes no combate a esse grave problema de saúde pública que o município enfrenta, agindo de diferentes formas sobre as áreas do município, de forma otimizada para garantir que os recursos públicos sejam melhores empregados, prestando um eficiente serviço para garantir e fornecer saúde com qualidade e equidade à população.

Diante disso, este estudo buscou realizar uma modelagem de estratificação associando a presença de aglomerados de arboviroses no espaço-tempo, com dados entomológicos e epidemiológicos, definindo as áreas com maior vulnerabilidade a ocorrências dessas zoonoses.

METODOLOGIA

Trata-se de um estudo entomo-epidemiológico para estratificação de áreas para zoneamento na cidade de Natal, capital do estado do Rio Grande do Norte, região Nordeste do Brasil. O município de Natal possui uma área de 16.853,24 ha, com densidade demográfica de 44,62 hab./ha, e estimativa populacional de 751.932 habitantes (IBGE, 2022), possuindo as seguintes coordenadas geográficas: 5° 47' 42" de latitude sul e 35° 12' 34" de longitude oeste. A cidade registra temperatura média de 28°C, clima úmido com chuvas regulares no período de março a julho. O município é dividido em 36 bairros, distribuídos em quatro regiões administrativas (Norte, Sul, Leste e Oeste), com diferentes características territoriais, físicas, demográficas e de infraestrutura. Todo o território da cidade está inserido em área urbanizada, não possuindo área rural (SEMURB, 2022).

Conforme as diretrizes do Ministério da Saúde (2009), a delimitação territorial ideal para um agente de combate as endemias atuar (zona) é aquela contendo entre 800 a 1.000 imóveis, correspondendo a um rendimento diário de 20 a 25 imóveis/dia realizando entre 4 e 5 ciclos anuais. Essa porção da área municipal chama-se zona. Natal possui 361.787 imóveis terrenos ficando dividido em 426 zonas.

Partindo desse contexto, no eixo epidemiológico, os 50.203 casos prováveis de arboviroses registrados no SINAN no período de 2019 a 2022, foram georreferenciados e contabilizados em cada unidade territorial, e classificados em quartis, recebendo um escore e classificação correspondente (1-Baixa; 2-Média; 3- Alta; 4-Muito alta).

Os dados entomológicos foram obtidos a partir do monitoramento semanal da população do *Aedes aegypti* por meio do sequestro de ovos feito por armadilhas de oviposição, distribuídas e georreferenciadas a uma distância média de 600m entre elas, cobrindo toda área ocupada do município, totalizando 397 armadilhas. Com base no recorte temporal de 2019 a 2022, foram calculadas as médias de ovo cada ovitrampa instalada. Os valores resultantes foram classificados em percentis com cinco classes, sendo utilizado o valor máximo de cada intervalo de percentil como ponto de corte. Em sequência, atribuiu-se escore 1 aos dois primeiros percentis e escores crescente aos demais, ficando 4 categorias definidas como: 1 - baixa, 2 - média, 3 - alta e 4 - muito alta.

Foi utilizada a técnica de varredura estatística *Scan*, proposta por Kulldorff (1997), para a detecção e identificação de agrupamentos espaço-temporais, considerando a zona como unidade espacial e o mês como unidade temporal. Neste estudo, a cidade de Natal foi segmentada em 426 áreas (zonas), e a cada área foi atribuído um centroide que contém, associado a ele, informações sobre os respectivos números de habitantes, casos de arboviroses e a localização geográfica.

Na análise Espaço Tempo, uma característica pertinente da varredura é permitir a inclusão do fator temporal no exame. O procedimento assemelha-se ao método espacial, com a diferença de que, em vez de círculos, são utilizados cilindros, onde a base representa o espaço geográfico e a altura representa o tempo. Apesar de o procedimento permitir que a base e a altura variem continuamente de acordo com a varredura do método no espaço e no tempo, não há modificações em relação à razão de verossimilhança e à significância do teste (KULLDORFF et al., 1998).

O modelo mais utilizado, neste caso em específico, é o de Permutação espaço-temporal empregado por Lucena e Moraes (2012), dado por:

$$P(C_A) = \frac{\left(\begin{array}{ccc} \sum_{t \in \Omega} & \sum_{s \in A} & C_s \\ & C_A & \end{array} \right) \left(\begin{array}{ccc} C - \sum_{t \in \Omega} & \sum_{s \in A} & C_{st} \\ \sum_{s \in \Omega} & \sum_{t \in A} & C_{st} - C_A \end{array} \right)}{\left(\begin{array}{ccc} C \\ \sum_{t \in \Omega} & \sum_{s \in A} & C_{st} \end{array} \right)} \quad (1)$$

em que C_A é o número de casos observados no cilindro A; C_{st} é o número de casos observados na área Z durante o tempo t; e $\Omega = A \cup Ac$.

O tipo de análise espaço-tempo realizada foi a retrospectiva e o modelo probabilístico utilizado foi o de permutação espaço-tempo. Utilizou-se o método de varredura de áreas com altas taxas e o tempo de agregação foi de um ano. Na análise puramente espacial, o modelo probabilístico utilizado foi o de Poisson, sendo realizada uma análise espacial para cada ano.

Estas áreas (zonas) em estudo possuem uma população nz e um número de casos ocorridos Cz com probabilidade p para que um indivíduo nesta área seja uma ocorrência. Assim, a média de casos em z é definida por $\mu_z = pn_z$, ou seja, a média é proporcional à sua população.

Utilizamos o modelo Poisson para descrever a distribuição de casos entre as áreas do mapa. Consideramos que o número de casos Cz é uma variável aleatória com distribuição Poisson cujo parâmetro λ_z , que representa o número esperado de casos, é tal que $\lambda_z = pn_z$.

Assim:

$$Cz \sim \text{Poisson} (\lambda_z = pn_z) \quad (2)$$

A análise realizada foi do tipo retrospectiva, isto é, aquela em que todos os conglomerados encontrados serão mostrados independente se os mesmos chegaram “ativos” até o final da série temporal.

Na abordagem Espaço-Temporal, uma das particularidades da análise é habilitar a inclusão do componente temporal no exame. Neste caso específico, o foco é descobrir grupos de enfermidades que possam surgir simultaneamente no espaço e no tempo. O processo é semelhante ao método espacial, com a diferença de que, ao invés de círculos, são utilizados cilindros, onde a base representa o espaço geográfico e a altura ilustra o tempo. Embora o método permita que tanto a base quanto a altura se modifiquem continuamente

conforme a varredura tanto no espaço quanto no tempo, não ocorrem mudanças quanto à razão de verossimilhança e à significância do teste (KULLDORFF et al., 1998). O modelo de permutação no espaço-tempo ajusta automaticamente tanto os aglomerados puramente espaciais quanto os puramente temporais. Dessa forma, não existem versões que sejam puramente temporais ou puramente espaciais deste modelo.

Para a análise de estatística espacial de casos, utilizamos esse modelo para examinar a distribuição espacial e a persistência dos casos no espaço temporal com o auxílio do software *SaTScan™* as médias semanais das ovitrampas, e classificando-os em quatro categorias (Tabela 1), resultando em escores adicionais.

Tabela 1 – Matriz de composição dos escores para classificação de áreas de risco para arboviroses, 2019-2022

EIXO	PESO 1	PESO 2	PESO 3	PESO 4
Entomológico	1	2	3	4
Epidemiológico	2	4	6	8
Persistência de casos	1	2	3	4
TOTAL	4	8	12	16

Fonte: Autores, 2024.

O escore final foi obtido pela soma dos escores individuais das ovitrampas, do resultado epidemiológico e do resultado do *SaTScan™*. Com base na soma desses escores, as áreas foram classificadas em graus de risco (Tabela 2): 1-4 (baixa), 5-8 (média), 9-12 (alta) e 13-16 (muito alta).

Tabela 2 – Classificação das áreas em graus de risco de acordo com o escore

Fator	Range	Classificação
Escores	1 – 4	Baixa
	5 – 8	Média
	9 – 12	Alta
	13 – 16	Muito alta

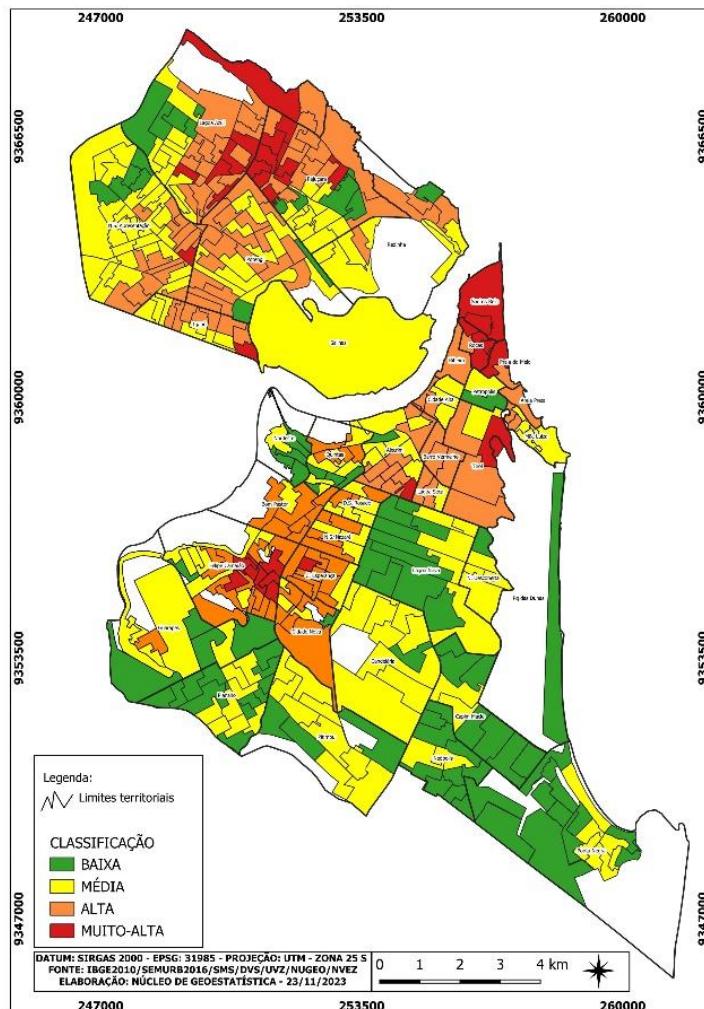
Fonte: Autores, 2024.

RESULTADOS

A análise espaço-temporal de permutação realizada sobre as 426 zonas, contabilizou, detectou e classificou as mesmas no município de Natal (Figura 1), sendo 34 zonas de muito alto, seguido de 140 zonas de alto risco, 164 zonas foram classificadas como médio risco e por fim 88 zonas de baixo risco.

A distribuição espacial espaço-temporal realizada sobre as 426 zonas mostrou que existe uma significativa diferença, principalmente relativa às zonas de muito alto risco, que revelou a existência de áreas críticas nos distritos norte e oeste da cidade em oposição às zonas nos distritos sul e leste.

Figura 1 – Estratificação de risco nas áreas de zoneamento no Município de Natal - RN



Fonte: Autores, 2024.

No Distrito Sanitário Norte I foi observado que houve um resultado significativo com 33 zonas com alto risco além de 15 com zonas de muito alto risco contabilizando 59% do total. Por ser composto por 3 bairros não há nenhum em destaque por ter uma distribuição homogênea das 48 zonas de alto e muito alto riscos (Figura 2 - A).

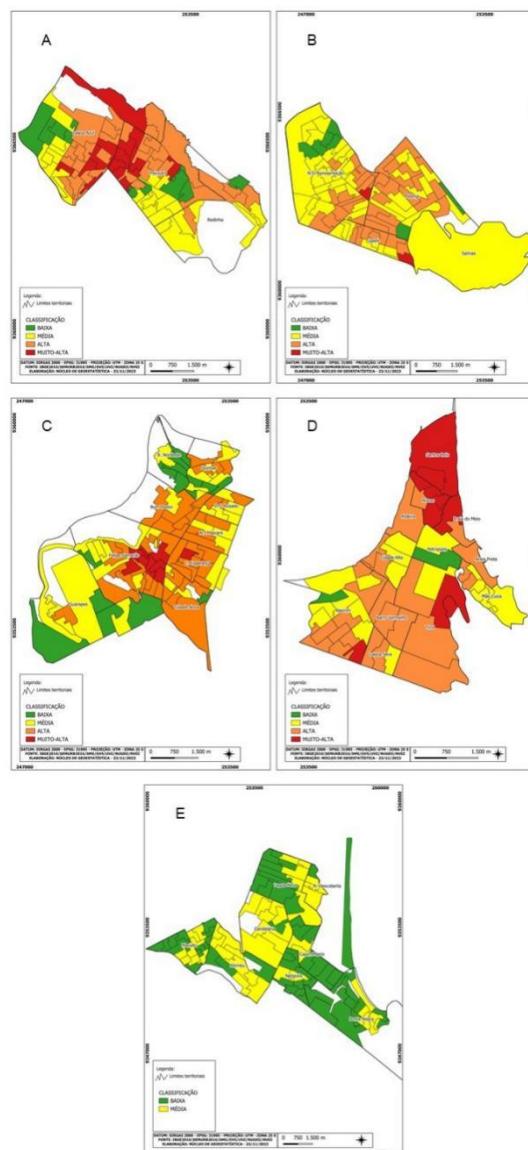
Os resultados no distrito norte II, mostram que das 92 zonas, 38 foram classificadas como de alto risco e 2 de muito alto risco no total de 41% das zonas (Figura 2 - B).

O resultado do distrito oeste já era esperado por seu contexto histórico de adoecimento da população pelas arboviroses desde 2016. Das 100 zonas do distrito 45 foram classificadas como de alto risco seguido de 8 zonas de muito alto risco perfazendo 53% das zonas analisadas. Um aglomerado foi identificado em 5 dos 9 bairros correspondentes como Felipe Camarão, Cidade Nova, Cidade da Esperança, Bom Pastor e Nossa senhora de Nazaré (Figura 2 - C).

No distrito leste, os resultados deste estudo, identificou nove zonas de muito alto risco e 24 de alto risco, destacando os bairros Rocas e Santos Reis com quatro e duas zonas de muito alto risco, respectivamente, o que representa cerca de 67% das zonas de muito alto risco. O bairro Alecrim, por sua vez, destaca-se por concentrar oito zonas de alto risco, o que equivale a aproximadamente 34% dessas zonas (Figura 2 - D).

Quando comparamos os resultados distrito sul com os demais, observamos a inexistência de zonas com de alto e muito alto risco. Dentro as 100 zonas, o distrito apresentou 45 zonas médias e 55 baixas (Figura 2 - E).

Figura 2 – Estratificação de risco nas áreas de zoneamento por Distritos Sanitários do Município de Natal – RN



Fonte: Autores, 2024.

DISCUSSÃO

A análise espaço-temporal das 426 zonas revelou diferenças significativas na distribuição dos níveis de risco. As zonas de muito alto risco destacaram áreas críticas, especialmente nos distritos norte e oeste, em contraste com o Sul, onde não foram identificadas zonas de alto ou muito alto risco. É importante ressaltar que as áreas tidas como de maior prioridade de intervenção (muito alta e alta) representaram 40,85% das zonas do território.

Dados mais recentes destacam que os distritos norte e oeste da cidade de Natal são tidos como os mais populosos e que possuem rendimento nominal médio mensal, em salários, abaixo da média do município, que é de 1,78 salários mínimos (SEMURB, 2021). De acordo com Barbosa et al. (2019), o município de Natal apresenta áreas de elevada vulnerabilidade social, principalmente localizadas nas áreas periféricas dos distritos norte e oeste. A maior vulnerabilidade dessas áreas está fortemente ligada aos altos percentuais de analfabetos, de pardos, de crianças, jovens e adultos em domicílios cuja renda média mensal é inferior a um salário mínimo, revelando a existência de áreas críticas que apresentam forte concentração de problemas e riscos sociais e ambientais.

Um estudo realizado pelo Observatório das Metrópoles sobre a Vulnerabilidade Socioambiental das Regiões Metropolitanas Brasileiras (DESCHAMPS, 2009), que inclui a Região Metropolitana de Natal, reforça os resultados desta pesquisa. A publicação aponta que há uma área de alta vulnerabilidade social nos bairros de Cidade Nova, Guarapes e Planalto (zona Oeste), enquanto os bairros de Petrópolis, Tirol, Capim Macio e Candelária (zonas Leste e Sul) apresentam uma situação social mais favorável, com vulnerabilidade variando de média baixa a muito baixa.

Os bairros do distrito norte I possuem uma alta densidade demográfica contribuindo para uma disseminação intensa de casos dessas arboviroses. Quando comparamos os distritos norte II com o norte I, pode-se perceber que possui uma melhor infraestrutura e condições de moradias devido ao grande número de conjuntos habitacionais enquanto o norte I possui uma quantidade significativa de loteamentos. Além de acúmulos de lixões principalmente nas periferias.

O distrito leste é composto por bairros com diferentes níveis de vulnerabilidade. Por exemplo, Petrópolis e Tirol apresentam menor vulnerabilidade, enquanto Rocas e Santos Reis apresentam vulnerabilidade social e densidade demográficas muito altas. Justamente os bairros de destacadados com cerca de 67% das zonas de muito alto risco. Essa disparidade pode ser atribuída a fatores como a maior densidade populacional, a presença de condições sanitárias precárias e a falta de infraestrutura adequada nesses bairros, que favorecem a proliferação de vetores e a transmissão de doenças como dengue, zika e chikungunya. Além disso, a vulnerabilidade social nessas áreas dificulta o acesso a serviços de saúde e a adoção de medidas preventivas por parte da população, agravando ainda mais o cenário.

Em contraste, bairros como Petrópolis e Tirol, com menor vulnerabilidade, apresentam um cenário mais favorável, o que pode ser atribuído a melhores condições de infraestrutura, saneamento e acesso a serviços de saúde. No entanto, mesmo nessas áreas, é importante manter ações de vigilância e prevenção contínuas, uma vez que a dinâmica de transmissão das arboviroses pode ser influenciada por fatores externos, como a mobilidade populacional e as mudanças climáticas.

Com relação ao distrito sul, que não possui zonas de alto e muito alto risco, apresenta melhor desenvolvimento social, econômico e espacial, quando comparados os demais. Em um estudo realizado por Araújo & Cândido (2019) que pesquisaram a qualidade de vida nos bairros de Natal, utilizando indicadores de condições socioeconômicas e de infraestrutura urbana e ambiental, apontam os bairros do distrito sul com os melhores índices de qualidade de vida, ou seja, uma área de baixa vulnerabilidade socioambiental.

Essa condição favorável pode ser atribuída a fatores como a presença de infraestrutura urbana adequada, saneamento básico eficiente, maior acesso à serviços de saúde e educação, e uma menor densidade populacional em comparação a outras regiões da cidade. Além disso, o distrito sul conta com bairros planejados e bem estruturados, que oferecem melhores condições de moradia e qualidade ambiental,

reduzindo os fatores de risco associados à proliferação de vetores e à transmissão de doenças como dengue, zika e chikungunya.

As notórias limitações dos programas de controle da dengue, nas três esferas de governo, em mitigar ou controlar o avanço das epidemias de dengue de maneira sustentável ao longo do tempo, justificam a busca por metodologias que racionalizem os custos e maximizem os resultados. Nesse sentido, a definição de áreas prioritárias para a intervenção (maior risco e maior vulnerabilidade), sugeridas neste estudo, alinha-se a objetivos que pode promover a redução da transmissão da dengue, além da otimização dos recursos públicos na área da saúde.

Para Barbosa et al. (2017), a identificação de áreas com distintos níveis de risco para a ocorrência dessas arboviroses, a estratificação e a priorização de áreas específicas para o trabalho de controle de vetores podem ser efetivadas com base nas informações coletadas. Na experiência aqui relatada, áreas com diferentes contextos epidemiológicos e entomológicos puderam ser consideradas de maneira diferenciada no planejamento das ações de controle.

No que se refere aos vírus da Dengue, Chikungunya e Zika nas Américas, incluindo o Brasil, é fundamental reconsiderar a execução de abordagens inovadoras para intervencionismo frente à ocorrência de surtos e epidemias simultâneas. A urgência de estratégias para detectar áreas prioritárias para o enfrentamento dessas arboviroses torna-se evidente, visando apoiar as ações de vigilância em saúde e controle de vetores, além de potencializar a alocação de recursos e a tomada de decisão por parte das autoridades locais.

Ademais, a delimitação das áreas de maior risco, juntamente com a localização e a definição dos padrões espaciais da ocorrência dos casos de arboviroses, pode ser utilizada no planejamento e desenvolvimento, por parte do setor público, de ações preventivas e mitigadoras mais eficientes no enfrentamento desse grave problema de saúde pública enfrentado pelo município.

Em relação ao emprego dessas estatísticas de detecção espacial para auxiliar a decisão dos órgãos gestores de saúde, enfatiza-se que o benefício não reside apenas em observar o risco no município, mas principalmente em direcionar as políticas (recursos, projetos etc.) para o combate às doenças para os aglomerados adequados, conforme o seu nível de risco na grande região, de uma forma eficiente (MELO et al., 2022).

O estudo em questão buscou a adoção de metodologias que possam ser empregadas em programas gratuitos, permitindo, assim, que sejam utilizadas pelo setor público sem a necessidade de grandes investimentos financeiros. Esse modelo pode ser aplicado em diversas escalas e recortes espaciais, funcionando como uma ferramenta ágil e eficaz na identificação de áreas de maior risco e maior vulnerabilidade à dengue.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As técnicas de análise espacial possibilitam a identificação e priorização de áreas críticas para a implementação de procedimentos de controle das arboviroses, no momento adequado, assim como para a melhoria das condições sanitárias e da educação em saúde para a população local com o objetivo de reduzir e prevenir os casos dessa doença, que é tema de preocupação global. Além disso, a utilização de geotecnologias e o georreferenciamento de dados em uma determinada região orientam administrativamente tanto o poder público quanto a sociedade civil organizada, permitindo ações conjuntas para compreender as causas de transmissão de doenças em outras áreas. Essa abordagem pode facilitar a formação de parcerias, por meio de políticas públicas e colaborações entre os setores públicos e privados a fim de monitorar e controlar a transmissão.

Este estudo evidenciou a importância de uma abordagem integrada e baseada em dados para o controle das arboviroses, utilizando uma análise espaço-temporal para a estratificação de áreas de risco no município de Natal. A metodologia aplicada revelou-se eficiente na identificação de zonas com diferentes níveis de risco, considerando fatores entomológicos, epidemiológicos. Os resultados demonstraram uma distribuição heterogênea das zonas entre os distritos, com destaque para os distritos norte e oeste, que concentram um

maior número de zonas de alto e muito alto riscos. Esse mapeamento proporciona uma visão detalhada das áreas críticas, permitindo intervenções específicas e ajustadas ao contexto local, otimizando os recursos e direcionando ações de saúde pública para os locais mais vulneráveis.

Nesse contexto, ao empregar modelos de análise espaço-temporal reforça a relevância de métodos estatísticos avançados e ferramentas de softwares livres de geoprocessamento, como o SaTScan™ e QGIS®, para identificar padrões dinâmicos de transmissão das arboviroses ao longo do tempo e do espaço. Tais modelos, que consideram simultaneamente o fator temporal e espacial, auxiliam na detecção de agrupamentos de casos que surgem de forma sincronizada ou não, apoiando a tomada de decisões em saúde pública com base em dados empíricos e contextualizados.

Essa abordagem proporciona uma visão detalhada e contextualizada das áreas críticas, permitindo que as ações de saúde pública sejam mais eficientes e direcionadas. Ao otimizar o uso de recursos e priorizar as regiões com maior risco, é possível implementar medidas de controle mais efetivas, como a eliminação de criadouros, campanhas de educação em saúde e o monitoramento contínuo dos vetores. Além disso, a estratificação de áreas de risco facilita a tomada de decisões estratégicas, contribuindo para a redução da incidência de casos e a prevenção de surtos.

Portanto, com base nos resultados obtidos, verifica-se que a delimitação e a estratificação de zonas prioritárias para o enfrentamento das arboviroses constituem uma ferramenta estratégica para a saúde pública. A adoção de modelos de intervenção específicos para cada nível de risco pode colaborar para o combate eficaz às arboviroses, promovendo uma distribuição mais equitativa e eficaz dos recursos públicos, além de fornecer subsídios essenciais para o desenvolvimento de políticas de saúde mais ajustadas à realidade local e à complexidade do ambiente urbano.

Em síntese, o estudo reforça a importância de metodologias baseadas em dados e análises espaço-temporais para o enfrentamento das arboviroses, destacando a necessidade de intervenções localizadas e adaptadas ao contexto de cada região.

Para garantir a robustez e a confiabilidade dos resultados, torna-se imprescindível a validação dos dados por meio da comparação com aqueles provenientes de outros municípios participantes do projeto ARBOALVO. Ademais, recomenda-se a ampliação do período de análise, uma vez que o intervalo inicialmente considerado coincide com o contexto da pandemia de Covid-19, a qual pode ter interferido substancialmente nos processos de coleta e na qualidade dos dados epidemiológicos. Adicionalmente, é fundamental verificar a consistência e a padronização dos critérios metodológicos adotados entre os diferentes municípios, com vistas a assegurar a comparabilidade dos dados. Devem ser também identificadas e analisadas possíveis lacunas, descontinuidades ou fragilidades nos sistemas de vigilância epidemiológica que possam ter ocorrido em decorrência das restrições impostas durante o período pandêmico.

A realização de análises estatísticas de sensibilidade mostra-se relevante, uma vez que permite estimar a magnitude do impacto de possíveis vieses, como subnotificações e falhas nos registros, sobre os achados do estudo. A incorporação dessas medidas metodológicas pode contribuir para uma análise mais precisa, ampliando a representatividade dos dados e fortalecendo a validade interna dos resultados no escopo do projeto.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, M. C. C.; CÂNDIDO, G. A. Índices de qualidade de vida urbana de Natal-RN. **Geoconexões**, [S. I.], v. 1, n. 1, p. 51–66, 2015. DOI: 10.15628/geoconexoes.2015.2836.
<https://doi.org/10.15628/geoconexoes.2015.2836>
- BARBOSA, I. R.; SILVA, L. P. da. Influência dos determinantes sociais e ambientais na distribuição espacial da dengue no município de Natal-RN. **Revista Ciência Plural**, [S. I.], v. 1, n. 3, p. 62–75, 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/rcp/article/view/8583>. Acesso em: 11 out. 2024.

BARBOSA, ISABELLE R. et al.. Identificação de áreas prioritárias para a vigilância e controle de dengue e outras arboviroses transmitidas pelo Aedes aegypti no município de Natal-RN: relato de experiência. **Epidemiol. Serv. Saúde**, Brasília, v. 26, n. 3, p. 629-638, set. 2017. <https://doi.org/10.5123/S1679-49742017000300020>

BARBOSA, I.R.; GONÇALVES, R. C. B.; SANTANA, R. L.. Social vulnerability map for the municipality of Natal (Northeast Brazil) at a census sector level. **J Hum Growth Dev.** 2019;29(1):48-56. <https://doi.org/10.7322/jhgd.157749>

BARCELLOS, C. et al Inter-relacionamento de dados ambientais e de saúde: análise de risco à saúde aplicada ao abastecimento de água no Rio de Janeiro utilizando Sistemas de Informações Geográficas. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 14, n. 3, p. 597–605, jul. 1998. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X1998000300016>

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância Epidemiológica. **Diretrizes nacionais para prevenção e controle de epidemias de dengue** / Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Departamento de Vigilância Epidemiológica. – Brasília: Ministério da Saúde, 2009. 160 p. – (Série A. Normas e Manuais Técnicos). Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/diretrizes_nacionais_prevencao_controle_dengue.pdf. Acesso em: 11 de out. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Fundação Oswaldo Cruz. Abordagens espaciais na saúde pública / Ministério da Saúde, **Fundação Oswaldo Cruz**; Simone M. Santos, Christovam Barcellos, organizadores. – Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 136 p.: il. – (Série B. Textos Básicos de Saúde) (Série Capacitação e Atualização em Geoprocessamento em Saúde; 1). ISBN 85-334-1181-2. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/serie_geoproc_vol_1.pdf. Acesso em: 11 de out. 2024.

DESCHAMPS, M. V.; DELGADO, P. R.; SUGAMOSTO, M.; CINTRA, A. P.U.; IGNÁCIO, S. A.; RODRIGUES, J. M.; et al.. Vulnerabilidade socioambiental nas regiões metropolitanas brasileiras. **Cadernos Metrópole**, núm. 19, enero-junio, 2008, pp. 191-219. Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. São Paulo, Brasil. [cited 2018 Sep 25] Disponível em: https://www.observatoriodasmetropoles.net.br/arquivos/biblioteca/abook_file/relatorio004_2009.pdf. Acesso em: 11 out. 2024.

DONALISIO, M. R.; FREITAS, A. R.; ZUBEN, A. P. B. V. (2017). Arboviroses emergentes no Brasil: desafios para a clínica e implicações para a saúde pública. **Revista de Saúde Pública**. v. 51, p. 30, 2017. <https://doi.org/10.1590/S1518-8787.2017051006889>

KULLDORFF, M. A spatial scan statistic. **Communications in Statistics - Theory and Methods**, v. 26, n. 6, p. 1481–1496, 1997. <https://doi.org/10.1080/03610929708831995>

KULLDORFF, M.; HEFFERNAN, R.; HARTMAN, J.; ASSUNÇÃO, R. M.; MOSTASHARI, F. A space-time permutation scan statistic for the early detection of disease outbreaks. **PLoS Medicine**, 2005; 2:216-224. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.0020059>

KULLDORFF, M. et al. Evaluating cluster alarms: a spatio-temporal scan statistic and brain cancer in Los Alamos, New Mexico. **American Journal of Public Health**, v.88, n.9, p.1377-1380, 1998. <https://doi.org/10.2105/AJPH.88.9.1377>

MELO, A. C. O.; MELO, J. C. S.; MORAES, R.. Epidemiologia espacial e a detecção de aglomerados espaciais do dengue na Paraíba: uma comparação entre os métodos Scan flexível e Scan circular. **Cadernos Saúde Coletiva**, v. 30, n. 4, p. 561–571, out. 2022. <https://doi.org/10.1590/1414-462X202230040082>

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE. Documento técnico para a implementação de intervenções baseado em cenários operacionais genéricos para o controle do Aedes aegypti. Washington, D.C.: OPAS; 2019. <https://iris.paho.org/handle/10665.2/51653>

PAIVA JÚNIOR, E. F. et al.. Estratificação automática de áreas prioritárias para controle da dengue utilizando o Model Builder do QGIS em uma análise multicritério. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 29, n. 2, p. e2019028, 2020. <https://doi.org/10.5123/S1679-49742020000200004>

RODRIGUES, M. L. S. F.; et al.. Anuário Natal 2023. Natal, RN: SEMURB, 2023. 236 p. ISSN 2317-5060.] Disponível em: https://www.natal.rn.gov.br/storage/app/media/semurb/publicacoes/Anuario_2023.pdf. Acesso em: 11 out. 2024.

SAN PEDRO, A.; PRAÇA, H.L.F.; SANTOS, J. P. C.; ALBUQUERQUE, H. G.; PEREIRA, L. H. V.; CÉSAR, T. S.; et al.. ArboAlvo: método de estratificação da receptividade territorial às arboviroses urbanas. **Revista de Saúde Pública**. 2022; 56:39. <http://doi.org/10.11606/s1518-8787.2022056003546>

SIQUEIRA, A. S. P. et al. ArboAlvo: método de estratificação da receptividade territorial às arboviroses urbanas. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, Brasil, v. 56, p. 39, 2022. <https://doi.org/10.11606/s1518-8787.2022056003546>

VANLERBERGHE, V. et al.. Changing paradigms in Aedes control: considering the spatial heterogeneity of dengue transmission. **Pan American Journal of Public Health**, Washington, D.C., v. 41, p. e16, 2017. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6660874/>. Acesso em: 11 de out. 2024.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Global Learning Opportunities for Vaccine Quality (GLO) - Global Arbovirus Initiative. Disponível em: <https://www.who.int/initiatives/global-learning-opportunities-for-vaccine-quality/global-arbovirus-initiative>. Acesso em: 11 out. 2024.