

IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS ASSOCIADAS ESPACIALMENTE À INCIDÊNCIA DE DENGUE NO MUNICÍPIO DE CAMPINAS (SP), ENTRE 2013 E 2016

IDENTIFICATION OF PRIORITY AREAS SPATIALLY ASSOCIATED WITH DENGUE INCIDENCE IN THE MUNICIPALITY OF CAMPINAS, SAO PAULO, BRAZIL, BETWEEN 2013 AND 2016

Jéssica Andretta Mendes

Doutora em Geografia, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP
j153833@dac.unicamp.br

Marcos César Ferreira

Doutor em Geografia, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP
macferre@unicamp.br

RESUMO

Neste artigo, o objetivo é avaliar a aplicação de alguns métodos de análise espacial para detecção de aglomerados em estudos relacionados às epidemias de dengue, entre eles, o método de densidade kernel, de autocorrelação local de Moran e o método para detecção de aglomerados *Scan*. O município de Campinas (SP), reúne características epidemiológicas e geográficas favoráveis à infestação pelo mosquito *Aedes aegypti*. Considerou-se o período de 2013 a 2016, totalizando 118.658 casos confirmados. Os resultados demonstraram que os casos confirmados de dengue e as taxas de incidência registradas apresentaram arranjo espacial aglomerado, e subáreas do município com autocorrelação espacial significativa de altas taxas de incidência, com a formação de agrupamentos de diferentes intensidades, indicando dependência espacial. Os três métodos utilizados apresentaram similaridades e coerência. Em alguns distritos de saúde os aglomerados se mantiveram persistentes ao longo de todo o período avaliado (norte, noroeste e sudoeste), enquanto outros aglomerados, também expressivos, foram intermitentes (sul e leste do município). Em 2013, 2014 e 2016 os aglomerados mais expressivos mantiveram-se nas regiões periféricas do município, enquanto em 2015, as regiões mais centrais foram mais acometidas. Tais informações podem servir como suporte para as ações de enfrentamento de futuros surtos epidêmicos no município.

Palavras-chaves: Dengue. Análise espacial. Detecção de aglomerados.

ABSTRACT

The aim of this paper is to evaluate the application of some spatial analysis methods to clusters detection in studies related to dengue epidemics. Among these methods, we considered the kernel density estimation method, Moran's local autocorrelation and the Scan cluster detection methods. The municipality of Campinas, in Sao Paulo, Brazil, has epidemiological and geographic characteristics that favor the infestation by *Aedes aegypti* mosquitoes. We analyzed the period from 2013 to 2016, totaling 118,658 confirmed cases. Results showed that the confirmed dengue cases, and the incidence rates, presented a clustered spatial arrangement. We identified sub-areas with high incidence rates and a significant spatial autocorrelation pattern, which indicates spatial dependence. These three methods applied showed similarities and coherence. In some health districts, clusters remained persistent throughout period considered (north, northwest, and southwest), while other clusters, also expressive, were intermittent (south and east of the municipality). In 2013, 2014 and 2016, the most expressive clusters remained in the peripheral areas of the municipality, while in 2015, the more central regions were more affected. Such information can be used to support future intervention actions to deal with epidemic outbreaks in the municipality.

Keywords: Dengue. Spatial analysis. Clusters detection.

Recebido em: 21/01/2022
Aceito para publicação em: 18/04/2022.

INTRODUÇÃO

A dengue é um dos principais problemas de saúde pública do Brasil e do mundo atual. Estimativas apontam que há cerca de 390 milhões de infecções por dengue, por ano, no mundo (BHATT et al., 2013). De acordo com o Ministério da Saúde (2020) são conhecidos quatro sorotipos, sendo eles DENV1, DENV2, DENV3, DENV4 e, apesar de a infecção por um desses tipos proporcionar imunidade, ela é apenas em relação àquele único sorotipo e não aos demais.

Nos casos em que a doença se apresenta de forma sintomática, em casos leves apresenta como principais sintomas, febre alta (>38,5°C), dores musculares intensas, dor de cabeça, manchas vermelhas no corpo, náuseas e vômitos. Quando evolui para uma forma grave, os sintomas incluem dores abdominais intensas e contínua, vômitos persistentes e sangramento de mucosas, podendo levar a óbito.

Apesar de já existir uma vacina registrada contra a dengue, sua eficácia não foi tão elevada e sua proteção variou conforme a idade da pessoa e ao fato dela já ter sido (ou não) exposta ao vírus (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, 2016a). Por esta razão, várias instituições nacionais e internacionais da área da saúde defendem que o principal método de prevenção da doença ainda é o controle do surgimento e do desenvolvimento dos mosquitos transmissores *Aedes aegypti* e *Aedes albopictus* (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, 2016b; MÉDICOS SEM FRONTEIRAS, 2017).

Vetores da Dengue

Os mosquitos *Aedes aegypti* e *Aedes albopictus*, além de transmitirem a dengue, também são transmissores eficientes de doenças como a febre amarela, *Zika*, *Chikungunya* e febre do vale *Rift*, esta última, doença que afeta principalmente animais, mas também pode infectar humanos (LETA, et al. 2018). Conforme relatam Marcondes e Ximenes (2016), ambas espécies estão amplamente distribuídos e são muito numerosos, em pequenas e grandes cidades da América Latina. Assim como aconteceu em outros continentes, o rápido crescimento urbano, que levou ao surgimento de conjuntos de habitações precárias, com infraestrutura inadequada, tem tornado difícil reduzir as populações de *Aedes aegypti*.

No Brasil, o *Aedes aegypti* tem maior importância epidemiológica. Sabe-se que esse mosquito é encontrado nos locais de maior concentração humana e que se adapta muito bem a ambientes urbanos. Consoli e Oliveira (1994) descreveram e forneceram explicações detalhadas sobre o ciclo de vida do *Aedes aegypti*, seus hábitos e principais fatores que influenciam no seu desenvolvimento e longevidade, que são aqui apresentados de maneira resumida.

Oriundo do continente africano, hoje possui distribuição geográfica bem ampla, concentrando-se, principalmente, nas regiões tropicais e subtropicais. Sua dispersão ocorreu de forma passiva pelo homem, em embarcações, automóveis e aviões (CONSOLI; OLIVEIRA, 1994).

Seus criadouros preferenciais são recipientes artificiais, tanto aqueles abandonados pelo homem a céu aberto e preenchidos com água, como aqueles utilizados para armazenar água para uso doméstico. Como exemplos mais comuns podem ser citados: pneus, latas, pratos de vasos, caixas d'água, tonéis, lagos artificiais e piscinas sem tratamento adequado (CONSOLI; OLIVEIRA, 1994).

As fêmeas podem se dispersar para encontrar parceiros, alimento ou locais para oviposição. Estudos mostraram que as fêmeas podem voar distâncias relativamente curtas, permanecendo próximas do local de onde eclodiram, em média 288,12m. No entanto, deslocamentos do *Aedes aegypti* já foram observados em distâncias que variam entre 690m e 800m (HONÓRIO et al., 2003; FREITAS; OLIVEIRA, 2009).

Sabe-se também que o *Aedes aegypti* tem se adaptado rapidamente, expandindo sua presença em regiões temperadas, indicando capacidade de inibir a eclosão dos ovos de acordo com a exposição à luz, o que poderia permitir a disseminação dessa espécie em regiões com invernos mais frios (FISCHER et al., 2019). Outra característica é de que as larvas do mosquito não precisam mais, necessariamente, de água limpa para se desenvolver (BESERRA et al., 2010) e que o *Aedes aegypti* tem se mostrado resistente a diversos tipos de inseticidas (VONTAS et al., 2012).

Ações de combate ao vetor no Brasil

Além das ações de rotina que já vêm sendo realizadas pela população em geral, agentes comunitários de saúde e agentes de combate a endemias, tem se notado também grande empenho

de pesquisadores de diversas áreas do conhecimento para desenvolver novos métodos e tecnologias para o controle vetorial.

Dentre as inovações recentes, Zara et al. (2016) destacam as investigações conduzidas com relação ao uso de compostos naturais de atividade larvicida como uma alternativa de controle químico; o uso da bactéria *Wolbachia*, inofensiva ao homem e animais domésticos, que tem se mostrado capaz de reduzir pela metade o tempo de vida de um mosquito adulto, torna o macho estéril e também capaz de suprimir ou eliminar a transmissão de arbovírus; além disso, mosquitos *Aedes aegypti* têm sido utilizados com êxito de forma experimental como dispersores de inseticidas; também estão sendo conduzidas pesquisas com *Aedes aegypti* transgêneros e a aplicação de irradiação para esterilização de mosquitos machos. Destaca-se que dentre as estratégias desenvolvidas, o mapeamento de áreas de risco tem sido considerado promissor para direcionar para áreas prioritárias ações específicas de controle vetorial.

Desse modo, pesquisas conduzidas na área de Epidemiologia Espacial, com o apoio do uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), técnicas de estatística e análise espacial podem oferecer importantes contribuições e soluções. Tais fundamentos serão descritos em maior detalhe a seguir.

EPIDEMIOLOGIA ESPACIAL E MÉTODOS DE ANÁLISE ESPACIAL PARA DETECÇÃO DE AGLOMERADOS

A Epidemiologia Espacial pode ser definida como o estudo das variações geográficas de uma determinada doença em relação aos fatores de risco, que podem ser demográficos, ambientais, comportamentais, socioeconômicos, genéticos e infecciosos (ELLIOTT; WARTENBERG, 2004). Ela surgiu como principal disciplina científica dedicada ao entendimento das causas e consequências da heterogeneidade espacial em doenças infecciosas. As abordagens nessa área do conhecimento podem incluir o mapeamento de como a distribuição espacial de doenças variam ao longo do tempo, a criação de mapas estáticos de risco baseados na distribuição de vetores, reservatórios ou incidência da doença e, também, a incorporação de elementos explícitos da paisagem (OSTFELD et al., 2005).

Vanwambeke (2016) explica que as doenças transmitidas por mosquitos – ou de maneira mais geral, transmitidas por vetores – estão fortemente associadas aos condicionantes ambientais, como por exemplo, mudanças ambientais e de uso e cobertura da terra, além da mobilidade global de bens e pessoas.

Wilke, Benelli e Beier (2021) também ressaltam o fato de que o processo de urbanização tem um grande impacto, sobretudo no aumento de espécies selecionadas de mosquitos, como o *Aedes aegypti*, *Aedes albopictus* e *Culex quinquefasciatus*, que são bem adaptadas a esses ecossistemas. Com isso, nota-se que, como o processo de urbanização tem aumentado globalmente, muitos países têm experimentado a re-emergência e introdução de doenças transmitidas por vetores. Segundo os autores, a dengue, por exemplo, é atualmente considerada endêmica em 128 países.

Novas oportunidades para investigações na epidemiologia espacial têm sido proporcionadas por meio dos avanços nos SIG, na metodologia estatística e na disponibilidade de dados epidemiológicos e ambientais de alta resolução, referenciados geograficamente (ELLIOT; WARTENBERG, 2004; OSTFELD et al., 2005).

Existem, atualmente, diversos recursos para a análise espacial, seja para revelar padrões por meio de eventos pontuais, areais ou por superfícies contínuas. Dentre tais representações, aquela relacionada aos mapas de eventos pontuais é considerada um dos procedimentos mais comuns e conhecidos na cartografia geográfica (FERREIRA, 2014). Quando se trabalha com eventos em saúde, o arranjo espacial de pontos pode se apresentar de forma aglomerada, aleatória ou regular. Na prática de saúde, este último padrão citado é pouco comum, mas pode ocorrer, por exemplo, no caso da distribuição de armadilhas para monitoramento de infestação por mosquitos (ovitrampas), que são distribuídas propositalmente de forma regular (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2007).

Método de Densidade Kernel

Hazelton (2016) explica que, apesar de haver uma variedade de métodos estatísticos disponíveis para examinar a distribuição espacial e a variação de risco de doenças, o método de densidade *kernel* é ainda o mais comum. O autor salienta que, enquanto dados brutos podem ser difíceis de interpretar, o método de densidade *kernel* pode fornecer uma imagem mais clara da distribuição espacial geral dos eventos.

Esse método envolve uma técnica de interpolação exploratória que gera uma superfície de densidade para a identificação de áreas com uma concentração de eventos e apresenta como principais vantagens: rápida visualização de áreas que merecem atenção; e sua aplicação não é afetada por divisões político-administrativas (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2007).

Smith et al. (2018) afirmam que, para a utilização do método de densidade *kernel*, a seleção da largura de banda é, geralmente, mais uma arte do que uma ciência. Uma largura de banda maior, por exemplo, espalha a influência dos eventos pontuais a uma grande distância, mas é também mais provável a ocorrência de efeitos de borda próximo aos limites da região de estudo.

Método de autocorrelação local de Moran

Câmara et al. (2004) relatam que a caracterização da dependência espacial é fundamental para a análise exploratória espacial, pois ela mostra como os valores de um determinado atributo estão correlacionados no espaço e o quanto ele pode ser dependente dos valores desta mesma variável nas regiões adjacentes. A autocorrelação espacial é uma medida geral da associação espacial existente no conjunto dos dados. Seu valor varia de -1 a 1 . Valores próximos de zero, indicam a inexistência de autocorrelação espacial significativa entre os valores dos objetos e seus vizinhos. Valores positivos para o índice indicam autocorrelação espacial positiva, ou seja, o valor do atributo de um objeto tende a ser semelhante aos valores dos seus vizinhos. Valores negativos para o índice, por sua vez, indicam autocorrelação negativa. (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2007).

Método para detecção de aglomerados Scan

Esse método detecta aglomerados espaciais e espaço temporais de forma prospectiva ou retrospectiva, fornecendo, ainda, a significância estatística dos aglomerados encontrados (KULLDORFF, 2015a). Conforme explicado por Jung (2016), são aplicadas inúmeras janelas de varredura com tamanhos variáveis, e são comparadas as áreas internas e externas à janela de varredura. A janela apresenta forma circular em duas dimensões, e cilíndrica em três dimensões, sendo que, a base representa o espaço, e a altura o tempo.

Kulldorff (2015a) esclarece que, para cada localidade e tamanho da janela de varredura, a hipótese alternativa é de que existe um risco elevado no interior da janela em comparação com o exterior. A janela com máxima verossimilhança constitui-se o aglomerado mais provável, ou seja, aquele que tem menos probabilidade de ter ocorrido ao acaso. Entre os resultados calculados pelo programa, está o risco relativo (RR). Este é o risco estimado dentro do aglomerado dividido pelo risco estimado fora do aglomerado (KULLDORFF, 2015a).

EXEMPLO PRÁTICO DE APLICAÇÃO DE MÉTODOS DE ANÁLISE ESPACIAL PARA DETECÇÃO DE AGLOMERADOS

Para ilustrar a aplicação dos métodos de análise espacial para detecção de aglomerados em estudos relacionados às epidemias de dengue, será demonstrado a seguir, o exemplo de uma pesquisa conduzida na área de epidemiologia espacial, no município de Campinas, São Paulo, Brasil. A pesquisa, apoiada pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), teve como um de seus objetivos identificar as regiões do município com aglomerados de alta densidade de casos de dengue e, também, de altas taxas de incidência. Serão descritas as particularidades percebidas com a aplicação de cada método. Nesta seção, também serão sugeridas formas de explorar mais profundamente os resultados produzidos por meio dos métodos de detecção de aglomerados utilizados (método de densidade *kernel*, método de autocorrelação local de Moran e método de varredura espacial *Scan*).

Área de estudo

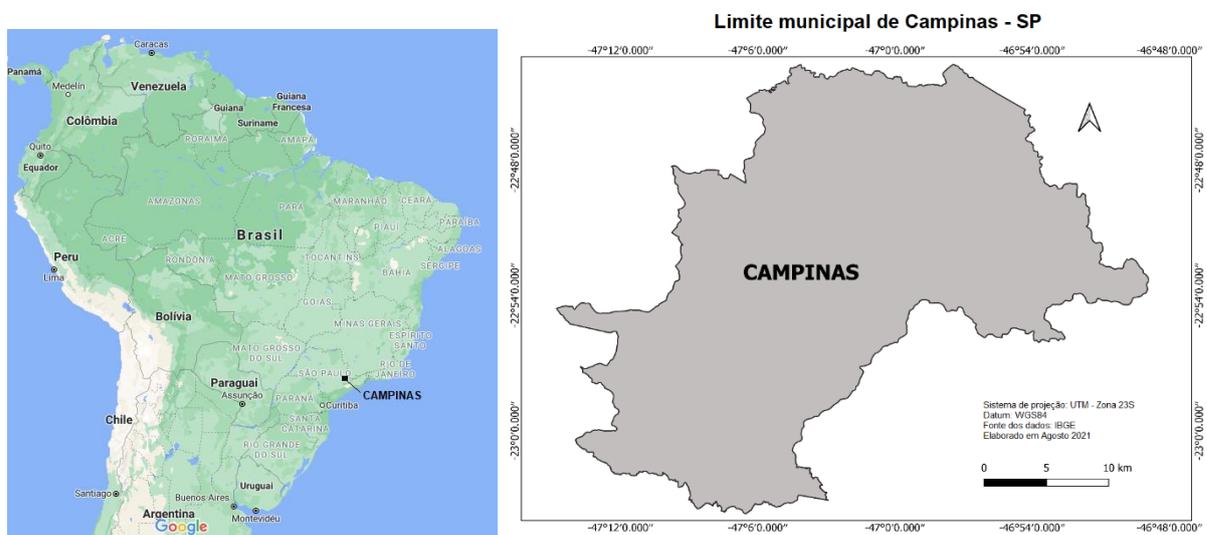
O município de Campinas, está situado nas coordenadas $22^{\circ}54'35.52''S$ e $47^{\circ}3'45.29''W$ (Figura 1). Possui 1.175.501 habitantes, sendo que 98% residem na área urbana, de acordo com dados da Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados (SEADE, 2020). Esse município foi escolhido como área de estudo para esta pesquisa, pelo fato de nele, terem sido registradas algumas epidemias de dengue nos últimos anos. Por isto, reúne características epidemiológicas e geográficas favoráveis à infestação pelo mosquito *Aedes aegypti*.

Sabe-se que desde a década de 1980 a população do município de Campinas tem crescido, devido, principalmente, a processos migratórios e ao desenvolvimento industrial que ocorreram como resultado de ações de desconcentração industrial da Região Metropolitana de São Paulo

(JOHANSEN; CARMO; ALVES, 2016). Kubota (2012) relata que tal processo de crescimento populacional no município provocou a expansão desordenada do perímetro urbano e o aumento dos problemas sociais urbanos, como o surgimento de periferias sem infraestrutura e equipamentos urbanos, coleta de lixo e fornecimento precário de água e coleta de esgoto. Estes fatores contribuíram para o surgimento de paisagens com tendências para alta densidade de criadouros do *Aedes aegypti*.

Os primeiros casos autóctones foram registrados em 1996 e desde então, houve expansão das áreas de transmissão e aumento no número de casos. A primeira epidemia, registrada em 1997 e 1998, ficou restrita à região leste da cidade; em 2001-2002 houve concentração de casos no extremo sul do município; a partir da epidemia de 2007 o risco de dengue já se mostrava difuso, ocorrendo em quase todas as regiões do município (MALAVASI, 2011).

Figura 1 – Localização do município de Campinas no estado de São Paulo



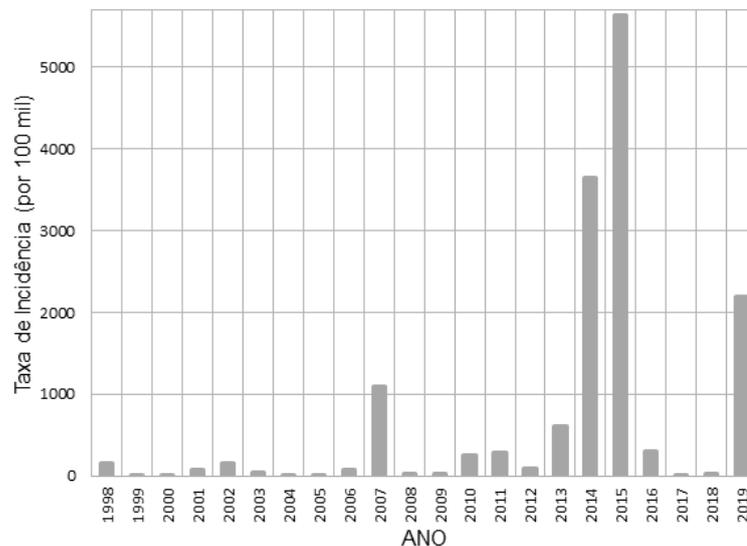
Fonte: Elaboração própria, com base no mapa do Google Maps (2021) e nos limites estadual e municipal fornecidos pelo IBGE (2016). Projetado em WGS84 / UTM zona 23S (EPSG: 32723).

A figura 2 mostra a evolução da taxa de incidência de casos confirmados de dengue no município de Campinas entre 1998 e 2019. A taxa de incidência é calculada conforme demonstrado na equação a seguir e indica o número de casos novos ocorridos em um certo período de tempo em uma população específica. É importante destacar que a taxa de incidência se diferencia da taxa de prevalência, pois esta última se refere ao número de casos (novos e antigos) encontrados em uma população definida em um determinado ponto no tempo (BONITA, 2010).

$$I = \frac{\text{Número de pessoas que adoeceram no período}}{\text{Pessoa_tempo em risco}} * (10^n)$$

Na última década a população do município vivenciou períodos nos quais houve altas taxas de incidência de dengue (> 300 casos por 100.000 habitantes), com destaque para o ano de 2007 (1.100,936 casos/100 mil hab.), 2013 (609,331 casos/100 mil), 2014 (3.647,010 casos/100 mil), 2015 (5.638,185 casos/100 mil) e 2019 (2.185,083 casos/100 mil) (SECRETARIA MUNICIPAL DE SAÚDE, 2020; IBGE, 2007; 2010a; 2020).

Figura 2 – Evolução da taxa de incidência de dengue no município de Campinas-SP, entre 1998 e 2019



Fonte: Elaboração própria, com base nos dados disponibilizados pela Secretaria Municipal de Saúde (2020) e pelo IBGE (2007; 2010a; 2020).

Percebe-se que há uma importante diferença nas taxas de incidência e que há uma oscilação. Esse fenômeno pode estar associado à diversos fatores, tais como sorotipo da doença circulando durante determinado período, imunidade da população ou mesmo condições climáticas.

É sabido que, conforme relatado por Johansen, Carmo e Alves (2016), a epidemia de 2007 foi causada principalmente pela circulação do sorotipo DENV-3 no município, e a de 2014, pelo sorotipo DENV-1. As elevadas taxas de incidência em 2014 mostram uma população que nunca havia tido contato massivo com o vírus DEN-1. Os autores acima mencionados ainda destacam que, da região metropolitana de Campinas, apenas Americana apresentou taxa de incidência de dengue autóctone superior à de Campinas em 2014, com taxa de incidência de 3.969 casos/100 mil habitantes. O sorotipo DENV-1 permaneceu circulando no município durante 2015 e 2016 (SECRETARIA MUNICIPAL DE SAÚDE, 2016).

Além disso, conforme relatado por Marengo et al. (2015), desde 2012 observa-se uma gradativa e intensa redução nos índices pluviométricos em algumas regiões do país, o que tem prejudicado de forma significativa a oferta de água para o abastecimento público, especialmente no semiárido brasileiro e nas regiões metropolitanas mais populosas e com maior demanda hídrica (São Paulo e Rio de Janeiro). Durante 2014 e 2015 a população do estado de São Paulo vivenciou a chamada “crise hídrica”, devido à combinação de baixos índices pluviométricos (principalmente durante os verões de 2013-2014 e 2014-2015), o grande crescimento da demanda de água, a ausência de planejamento adequado para o gerenciamento do recurso hídrico e a ausência de consciência coletiva dos consumidores brasileiros para o uso racional da água (MARENGO et al., 2015).

Com isso, além da circulação de um novo sorotipo na região, para a qual a população não estava massivamente imune, deve-se também considerar que a situação climática pode ter influenciado, viabilizando novas disponibilidades de criadouros para os mosquitos *Aedes aegypti*, uma vez que, com a crise hídrica parte da população pode ter adotado o hábito de estocar água. Essa atitude, se não for realizada de maneira adequada pode contribuir para o surgimento e desenvolvimento desses mosquitos.

O período de abrangência escolhido para esta pesquisa inclui o ano 2013, quando as taxas de incidência começam a aumentar; os anos 2014 e 2015 - com as maiores taxas de incidência já registradas no município - e, por fim, o ano 2016, quando ocorreu um decréscimo significativo na taxa de incidência (301,86 casos/100 mil hab.).

Banco de dados

O banco de dados secundário utilizado nesta pesquisa foi produzido por instituições públicas, cujas informações são de acesso público.

Foram utilizados os registros dos casos confirmados de dengue entre 2013 e 2016, disponibilizados a partir do banco de dados mantido pelo Departamento de Vigilância Epidemiológica, vinculado à Secretaria Municipal de Saúde da Prefeitura Municipal de Campinas. Este banco de dados anonimizados contém 118.658 registros de casos confirmados de dengue, no período de 2013 a 2016, assim contabilizados: 6.940 casos em 2013, 42.218 em 2014, 65.835 casos em 2015 e; 3.665 casos em 2016, os quais foram apresentados apenas de forma agregada.

Além da espacialização de ocorrência dos casos confirmados de dengue, foram utilizados também três tipos de arquivos em formato vetorial cartográfico: limites territoriais do município de Campinas; setores censitários e a grade estatística do Censo Demográfico de 2010, todos disponibilizados na página eletrônica do IBGE (2010b; 2016).

Ressalta-se que, a grade estatística do Censo de 2010 contém dados demográficos agregados e mapeados em células de dimensões de 1.000m x 1.000m nas áreas rurais, e 200m x 200m nas áreas urbanas. Diferente de unidades geográficas tradicionais, como os setores censitários, bairros ou municípios, a grade estatística, se mantém estável e fixa, podendo se adaptar a diferentes recortes geográficos e facilitando a realização de estudos comparativos ao longo do tempo. Além disso, suas células integram mais facilmente a outros dados científicos, como por exemplo, imagens obtidas por sensores orbitais (IBGE, 2010b).

Como base de logradouros foram utilizados os dados do *Google Maps*, disponibilizada na *web*.

Mapeamento de aglomerados de casos e taxas de incidência em Campinas

Organização, padronização e geocodificação dos dados epidemiológicos

A primeira etapa realizada foi a organização e padronização dos registros dos casos confirmados, contidos nas planilhas originais. Este procedimento é fundamental para realizar a geocodificação dos dados com maior acurácia. Constituiu-se em uma atividade detalhada e trabalhosa, demandando assim, dedicação intensa por um longo período, consumindo cerca de metade do prazo para execução da pesquisa. A dificuldade desta etapa de retrabalho foi também relatada em outras pesquisas (MALAVASI, 2011; JOHANSEN, CARMO, ALVES, 2016; MENDES, 2016).

O passo seguinte foi a geocodificação dos casos confirmados de dengue. Para isso, foi utilizado um complemento para edição de *scripts* disponível nas planilhas do *Google Documents*, por meio do *script* denominado *geocoding macro google script*. Assim, a informação contida nas planilhas foi transformada em coordenadas geográficas, a partir de um método de acesso livre e de relativa facilidade de operação.

Existem outros métodos para geocodificação, que também são de acesso livre, como por exemplo o Google Earth Pro, ou utilizando a base do Open Street Map, por meio de um Sistema de Informação Geográfica, como o QGIS. No entanto, nos testes realizados ao longo desta pesquisa tais métodos não foram considerados satisfatórios. O Google Earth Pro apresentava instabilidade, pois algumas vezes nenhum dos registros era geocodificado e, outras vezes, alguns poucos registros eram encontrados. Utilizando-se a base do Open Street Map, através do QGIS, notou-se que os casos geocodificados eram todos localizados no centro dos eixos viários. Além dos métodos mencionados anteriormente, há também a opção de utilizar a base do sistema viário do Google Maps, ao invés do Open Street Map. Assim como constatado por outros autores (CORTES, SILVEIRA E JUNGER, 2021), esse sistema apresenta resultados satisfatórios e com boa acurácia no processo de geocodificação. No entanto, há limites de uso, a partir dos quais o serviço passa a ser cobrado, não sendo, portanto, uma alternativa totalmente de acesso livre. Uma descrição mais detalhada sobre esta etapa da pesquisa pode ser encontrada em Mendes e Ferreira (2019).

Atualização da estimativa da população e cálculo das taxas de incidência

Depois da geocodificação dos dados epidemiológicos, procedeu-se a atualização da população residente nas unidades de análise (setores censitários e células da grade estatística). Esse procedimento permitiu uma estimativa das taxas de incidência com maior precisão. Ressalta-se aqui que os dados sobre a população estimada pelo censo de 2010 do IBGE para os setores censitários e células da grade estatística já estão bastante desatualizados. Um novo censo deveria ter sido

realizado no ano de 2020, mas devido à pandemia de COVID-19 e falta de recursos por parte do governo federal, o novo censo está planejado para ser realizado em 2022 (IBGE, 2021). No entanto, a alternativa encontrada para contornar este empecilho foi aplicar o índice de crescimento populacional às populações estimadas em 2010 para cada um dos setores e células da grade estatística. Para o cálculo do índice de crescimento populacional, levou-se em consideração a população estimada pelo IBGE para o município como um todo, para o período de 2013 a 2016 (IBGE, 2020).

Desse modo, o cálculo das taxas de incidência (casos por 100 mil habitantes) por unidade de análise foi feito a partir da intersecção dos casos de dengue geocodificados às camadas vetoriais de setores censitários e células da grade estatística. Percebeu-se, então, uma particularidade: havia casos de dengue localizados em unidades para às quais a população em 2010 era estimada como zero. Isso ocorreu, porque conforme mencionado, houve crescimento da população no município.

Uma vez que os setores censitários são em menor número (total de 1.749 unidades) do que as células da grade estatística (total de 14.167 unidades), para essas situações específicas, mencionadas acima, optou-se por realizar uma nova estimativa populacional para 2013, 2014, 2015 e 2016, sobrepondo-se o vetor dos setores censitários às imagens de satélite do *Google Earth*, referentes a cada ano. De acordo com este procedimento, foram contabilizados os imóveis observados em cada setor censitário e, em seguida, multiplicando-se o número de imóveis pelo número médio de três moradores por domicílio (IBGE, 2010a). Quando identificados prédios de apartamentos residenciais, fazia-se o uso do *Google Street View* para contabilizar o número de andares e número de apartamentos por andar. Nos casos em que ambientes coletivos eram observados, mantinha-se população zero. Assim, pôde-se recalcular as taxas de incidência nesses setores censitários. Para as células da grade estatística com população zero, mas com ocorrência de casos de dengue, optou-se por adotar o valor de taxa de incidência do setor censitário no qual aquela célula se localizava, uma vez que a população e a taxa de incidência já haviam sido atualizadas para essas unidades. Caso a célula estivesse entre dois ou mais setores, era atribuída àquela determinada célula, a média das taxas de incidências dos setores censitários.

Detecção de aglomerados

Após o cálculo das taxas de incidência de dengue, pôde-se dar início à identificação de aglomerados, tanto de altas taxas, como de alta densidade de casos. Para referenciar a localização de aglomerados de casos e incidência de dengue, optou-se por usar a mesma nomenclatura adotada pela secretaria municipal de saúde para a subdivisão dos distritos e centros de saúde (SECRETARIA MUNICIPAL DE SAÚDE, 2021).

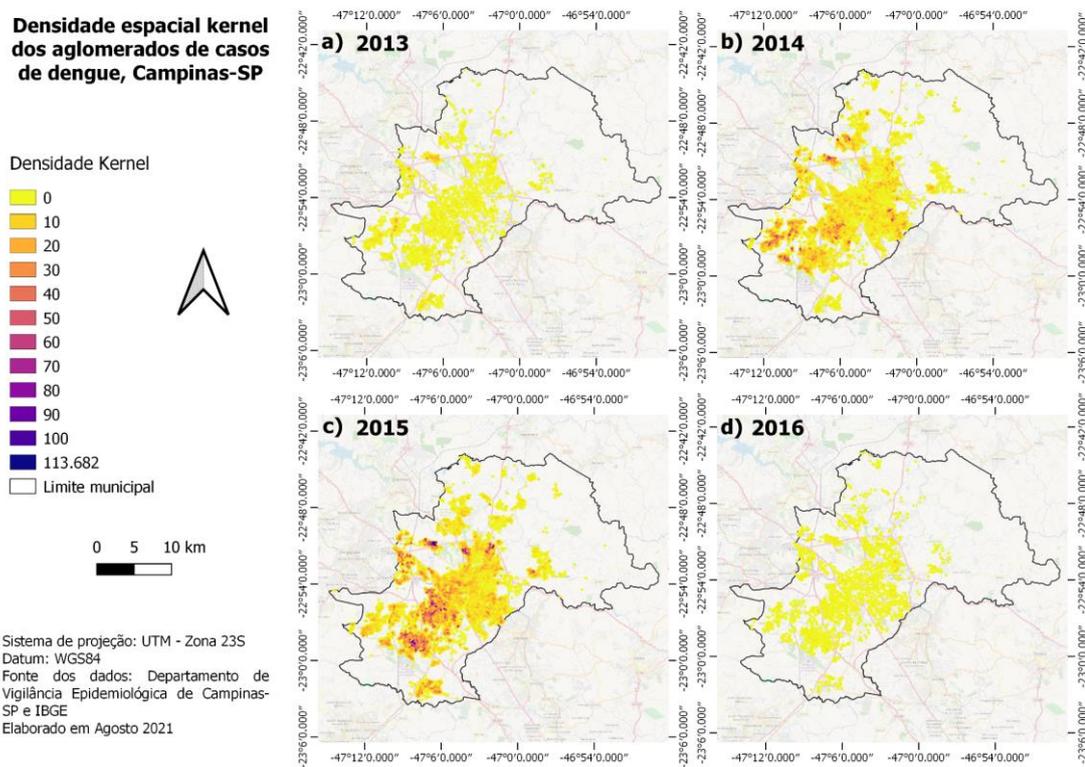
A identificação da localização dos aglomerados de casos de dengue foi realizada utilizando o método de densidade *kernel*, disponível no QGIS (versão 3.4.11) (QGIS, 2021), onde o resultado é gerado em formato *raster*, indicando a densidade espacial de casos. Foi utilizada a função de suavização quártica e para o cálculo da densidade espacial foi utilizado o raio de 200m, equivalente à média de voo do mosquito *Aedes aegypti* (HONÓRIO et al., 2003; FREITAS; OLIVEIRA, 2009).

Observa-se na figura 3 que a maior quantidade de aglomerados de maior densidade (*hotspots*) estão associadas ao número total de casos em cada ano. Na legenda dos mapas de densidade espacial *kernel*, os valores dos pixels indicam a intensidade de agregação.

Os anos de 2013 e 2016 apresentaram as menores quantidades de casos (6.940 e 3.665, respectivamente) e, portanto, a densidade espacial de casos para estes anos foi pouco expressiva. No mapa de 2013 (Figura 3a) é possível notar alguns *hotspots* mais importantes nos distritos de saúde norte e noroeste do município, mas que ainda assim, em comparação com os outros anos estudados, são consideradas densidades baixas. Para o ano de 2016 não foram encontradas densidades expressivas de casos (Figura 3d).

Os anos de 2014 e 2015 foram aqueles que apresentaram os maiores números de casos confirmados (42.218 e 65.835, respectivamente). No ano de 2014, as maiores densidades de casos se concentraram nos distritos de saúde norte, noroeste, sudoeste e sul (Figura 3b). Em 2015, o distrito de saúde norte permaneceu com alta densidade de casos, sendo que outros aglomerados expressivos foram também detectados nos distritos de saúde sudoeste, sul e leste (Figura 3c).

Figura 3 – Mapas de densidade espacial kernel dos aglomerados de casos de dengue em Campinas, para os anos de 2013(a), 2014(b), 2015(c) e 2016(d), com base nos dados disponibilizados pelo Departamento de Vigilância Epidemiológica de Campinas-SP



Fonte: Elaboração própria (2021).

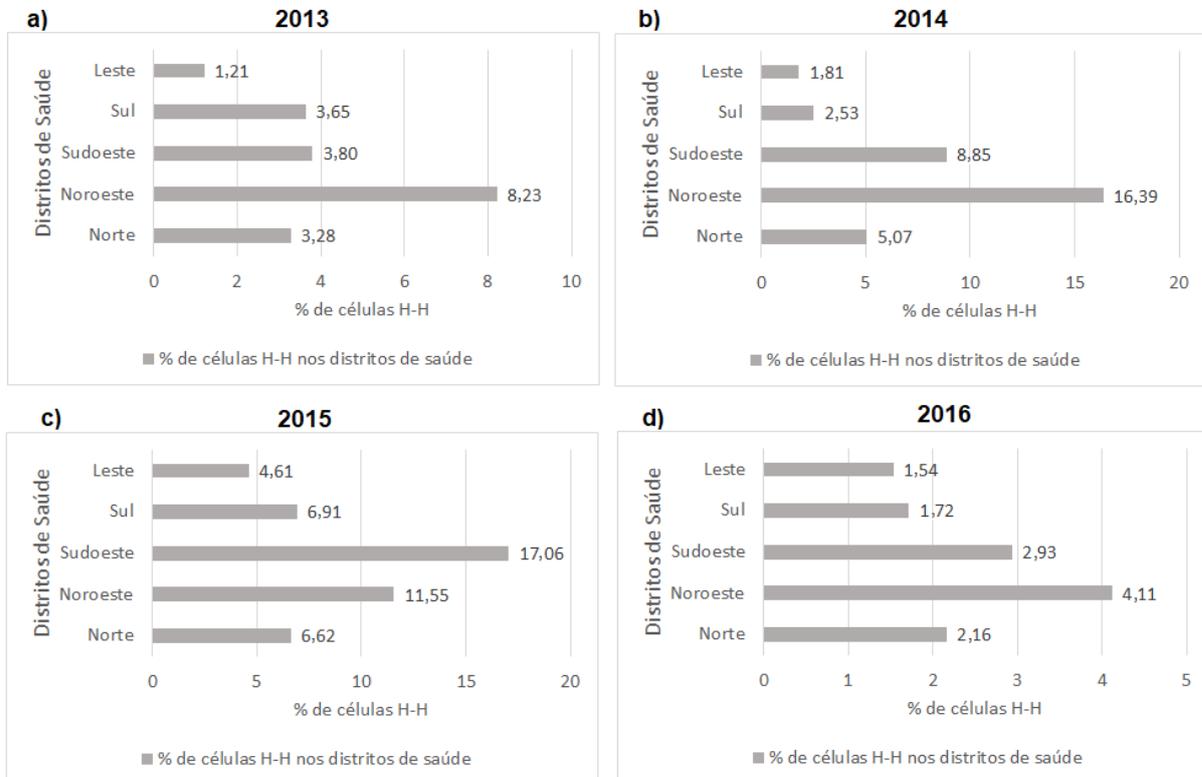
Para identificar nas subáreas do município (células da grade estatística) possíveis aglomerados de autocorrelação nas taxas de incidência, foi aplicado o Índice Local de Moran. Sabe-se que, com relação a doenças infecciosas como a dengue, os padrões espaciais geralmente apresentam autocorrelação espacial de aglomerados, devido a relações espaciais entre os casos e o mecanismo locais de propagação da doença, envolvendo distância e vizinhança (JEEFOO; TRIPATHI; SOURIS, 2011).

Foi utilizado o GeoDa, versão 1.14.0 (ANSELIN, 2019). Primeiramente, a partir das células da grade estatística, foi criada uma matriz de vizinhança por contiguidade de 1ª ordem, do tipo *Queen*. Em seguida, por meio da opção *Univariate Moran's I*, foi selecionada como variável as taxas de incidência para determinado ano e a matriz de vizinhança calculada na etapa anterior. Foram realizadas replicações aleatórias, especificadas automaticamente pelo programa. A finalização dos *layouts* para esses mapas foi realizada no QGIS

Como resultado (Figuras 4 e 5), foram identificadas áreas que apresentaram autocorrelação espacial significativa ($p\text{-value} < 0,05$). Essas áreas foram classificadas em quatro grupos: alto-alto (H-H), quando a taxa de incidência em determinada célula é alta e nas células vizinhas também é alta; baixo-baixo (L-L) quando a taxa em determinada célula é baixa e nas células vizinhas também é baixa; alto-baixo (H-L) e baixo-alto (L-H), quando a taxa de incidência em determinada célula é alta e nas células vizinhas é baixa, ou vice-versa.

Percebe-se que células classificadas como H-H foram encontradas em todos os anos considerados com um aumento expressivo nos anos de 2014 e 2015. Nota-se ainda que, de uma forma geral, nos distritos noroeste e sudoeste do município encontraram-se as maiores porcentagens de células classificadas no grupo de autocorrelação H-H (Figura 4).

Figura 4 – Porcentagem de células da grade estatística classificadas como aglomerado H-H nos mapas de autocorrelação local de Moran, nos anos de 2013(a), 2014(b), 2015(c) e 2016(d), no município de Campinas-SP.



Fonte: Elaboração própria (2021).

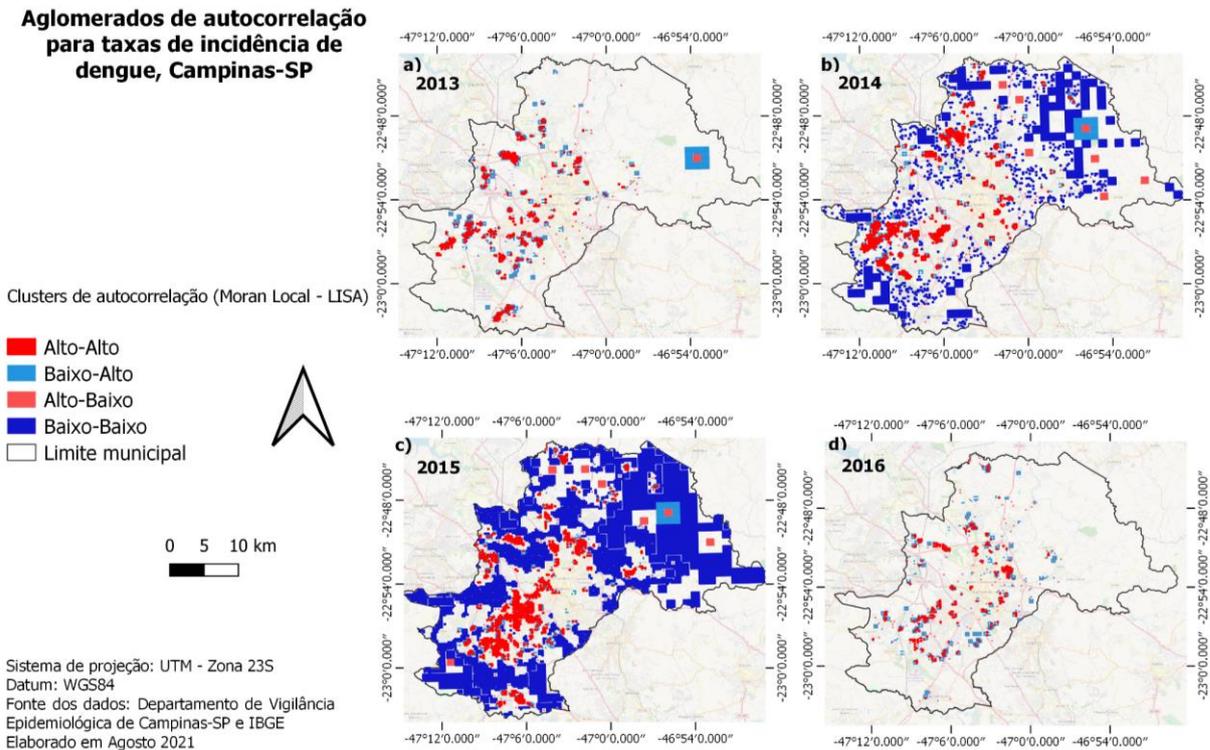
Cabe destacar que, em 2013 as maiores porcentagens de células classificadas na categoria H-H foram identificadas nos distritos noroeste e sudoeste e as menores porcentagens de células classificadas como H-H foram identificadas no distrito leste. Naquele ano, não houve célula classificada como L-L (Figuras 4a e 5a).

Assim como ocorreu em 2013, as maiores porcentagens de células classificadas na categoria H-H no ano de 2014 foram identificadas nos distritos noroeste e sudoeste. As menores porcentagens de células classificadas como H-H foram identificadas no distrito leste. Nota-se que o aglomerado L-L, apesar de se espalhar por todas as regiões do município, aparece mais significativamente nas células em áreas rurais (Figuras 4b e 5b).

Em 2015, as maiores porcentagens de células classificadas como H-H encontravam-se na região sudoeste, seguida da região noroeste e as menores porcentagens no distrito de saúde leste. Em comparação com os outros anos, há um número mais expressivo de células classificados na categoria L-L (Figuras 4c e 5c).

Em 2016, a maior parte do município apresentou células cuja autocorrelação não foi significativa. Aglomerados de células classificadas como H-H foram identificados em número bem menor que nos anos anteriores e não houve célula classificada como L-L. As maiores porcentagens de células classificadas como H-H foram identificadas nos distritos noroeste e sudoeste e as menores porcentagens no distrito leste (Figuras 4d e 5d).

Figura 5 – Aglomerados de autocorrelação para taxas de incidência de dengue, referentes aos anos de 2013(a), 2014(b), 2015(c) e 2016(d), no município de Campinas-SP, aplicando-se o Índice Local de Moran - LISA.



Fonte: Elaboração própria (2021).

Para identificar a localização de aglomerados de altas taxas de incidência foi utilizado o método de varredura *Scan*, disponível no programa *SaTScan*TM (versão 9.6) (KULLDORFF, 2015b). Primeiro, foi necessário preparar os dados para inserção no programa. São criadas três planilhas, contendo as informações sobre o número de casos, sua localização e população. Foi considerado como unidade de análise as células da grade estatística e o procedimento foi aplicado, separadamente, para cada ano em estudo.

A análise pelo método *Scan* foi realizada segundo a opção puramente espacial, para detecção de aglomerados de altas taxas de incidência por meio do modelo de probabilidade discreta de Poisson. A janela espacial tinha formato circular e seu tamanho poderia considerar até 50% da população sob risco. Tal parâmetro é sugerido no manual do usuário deste programa (KULLDORFF, 2015a).

Foram realizadas 999 replicações e coletados o aglomerado de Gini. No *SaTScan*, existem diferentes critérios para reportar aglomerados, que irão produzir diferentes coleções de aglomerados sobrepostos ou não sobrepostos. O programa *SaTScan* possui uma ferramenta para determinar a melhor coleção de aglomerados, usando o índice de Gini, criando uma série de aglomerados de Gini não sobrepostos. Com este critério, o *SaTScan* seleciona o grupo de aglomerados não sobrepostos que maximiza o índice de Gini, de forma que haja uma grande diferença nas taxas entre as áreas de aglomerados e sem aglomerados. (KULLDORFF, 2015a; ABDURROB et al., 2016).

Para representação nos mapas de alto risco para altas taxas de incidência foram selecionados aqueles aglomerados cujo valor de $p < 0,05$. Foram identificados aglomerados de altas taxas de incidência em todas as regiões do município, em todos os anos considerados (Quadro 1 e Figura 6).

Quadro 1 – Síntese dos resultados obtidos por meio da detecção de aglomerados por varredura espacial *Scan*

Ano	Distritos de Saúde	Número de aglomerados completos	Número de aglomerados parciais
2013	Norte	5	-
	Noroeste	4	1
	Sudoeste	2	6
	Sul	6	5
	Leste	3	-
2014	Norte	9	-
	Noroeste	4	2
	Sudoeste	6	3
	Sul	6	1
	Leste	15	-
2015	Norte	10	10
	Noroeste	5	6
	Sudoeste	6	6
	Sul	15	6
	Leste	12	6
2016	Norte	3	1
	Noroeste	3	1
	Sudoeste	3	1
	Sul	3	-
	Leste	1	1

Fonte: Elaboração própria (2021).

No ano de 2013 (Figura 6a) foram detectados 26 aglomerados, desses, o aglomerado com maior risco relativo (RR = 56,66) foi identificado no distrito de saúde norte (nas vizinhanças do centro de saúde Santa Bárbara). O aglomerado com maior número de casos (635) foi identificado no distrito de saúde norte, na região de abrangência dos centros de saúde São Marcos, Santa Mônica e Barão Geraldo.

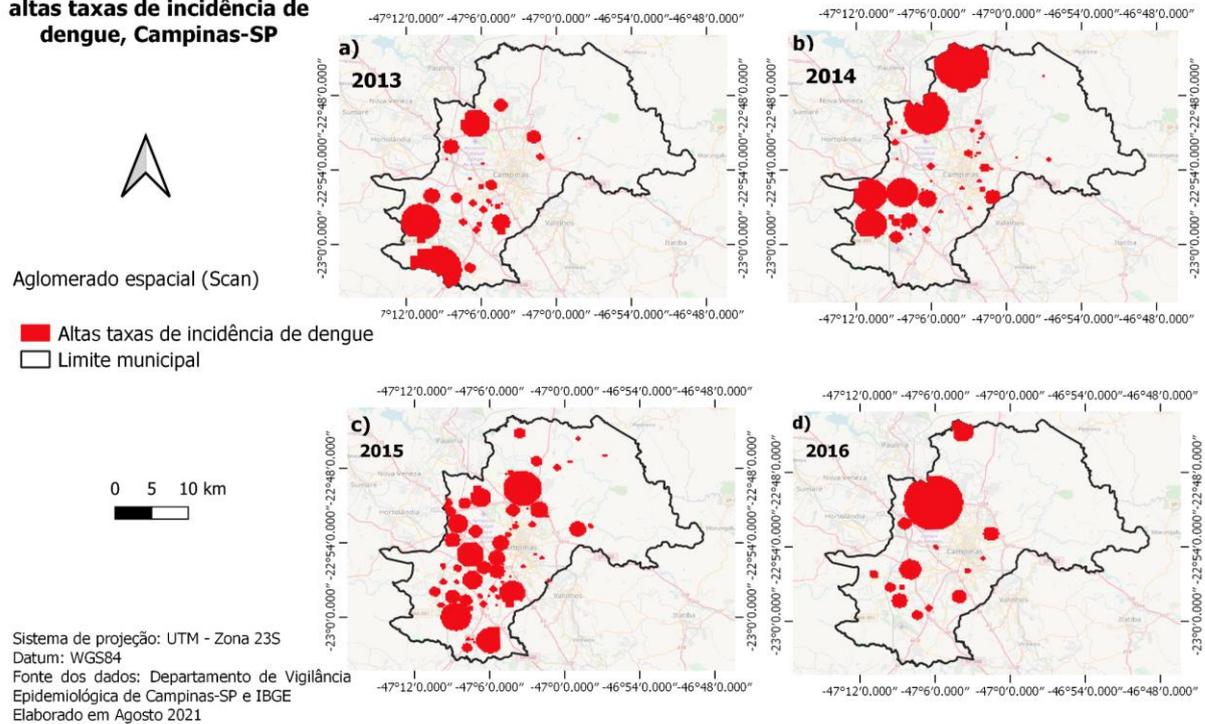
Em 2014 (Figura 6b) foram detectados 43 aglomerados. O aglomerado com maior RR (18,86) foi identificado no distrito leste (nas vizinhanças do centro de saúde Carlos Gomes) e aquele com maior número de casos (3.073) foi identificado no distrito de saúde norte, na região de abrangência dos centros de saúde São Marcos, San Martin, Santa Mônica e Barão Geraldo.

No ano de 2015 (Figura 6c) foram identificados 64 aglomerados, sendo o aglomerado com maior RR (16,54) identificado no distrito sul (nas vizinhanças do centro de saúde Nova América). O aglomerado com maior número de casos (2.305) foi identificado nos distritos de saúde noroeste e sudoeste, na região de abrangência dos centros de saúde Santa Lúcia, Pedro Aquino e Perseu.

Em 2016 (Figura 6d) foram detectados 15 aglomerados, sendo o aglomerado com maior RR (88,75) foi identificado entre os distritos noroeste e sudoeste (nas vizinhanças dos centros de saúde Vista Alegre, Satélite Iris, Ipaussurama) e aquele com maior número de casos (333) foi identificado nos distritos de saúde norte e leste, na região de abrangência dos centros de saúde São Marcos, San Martin, Santa Mônica, Costa e Silva, Anchieta, Barão Geraldo, Cássio Raposo do Amaral e Eulina.

Figura 6 – Mapas de aglomerados espaciais de altas taxas de incidência de dengue em Campinas, para os anos de 2013(a), 2014(b), 2015(c) e 2016(d), com base nos dados disponibilizados pelo Departamento de Vigilância Epidemiológica de Campinas-SP.

Aglomerados espaciais de altas taxas de incidência de dengue, Campinas-SP



Fonte: Elaboração própria (2021).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo apresentado envolveu quatro anos de análise, integrando períodos com altas taxas de incidência (2014 e 2015) e taxas mais moderadas (2013 e 2016). No entanto, o ano de 2019, para o qual também foi observado um significativo aumento na taxa de incidência (2.185,08 casos/100 mil hab.) não foi considerado nesta pesquisa. Sugere-se que este período seja acrescentado para análise em futuros estudos, fundamentando e contribuindo com novas discussões.

Os resultados demonstraram que os casos confirmados de dengue e as taxas de incidência registradas no município de Campinas entre 2013 e 2016 apresentaram arranjo espacial aglomerado, e subáreas do município com autocorrelação espacial significativa de altas taxas de incidência de dengue, com a formação de agrupamentos com diferentes intensidades, indicando dependência espacial.

Os métodos de análise espacial propostos atenderam ao objetivo desta pesquisa. Os três métodos de identificação de aglomerados utilizados apresentaram similaridades e coerência. Em alguns distritos de saúde os aglomerados se mantiveram persistentes ao longo de todo o período avaliado (norte, noroeste e sudoeste), enquanto outros aglomerados, também expressivos, foram intermitentes (sul e leste do município). Em 2013, 2014 e 2016 os aglomerados mais expressivos mantiveram-se nas regiões periféricas do município, enquanto em 2015, as regiões mais centrais foram mais acometidas.

Entre as similaridades identificadas por meio dos diferentes métodos de identificação de aglomerados, encontrou-se que no ano de 2013 os distritos de saúde norte e noroeste foram identificados com expressivos aglomerados de casos de dengue (densidade espacial *kernel*), aglomerados de altas taxas de incidência de dengue (autocorrelação de Moran) e aglomerados de alto risco (varredura espacial *Scan*); em 2014, as similaridades foram com relação aos distritos de saúde norte, noroeste, sudoeste e sul; em 2015, a coerência se deu na identificação dos distritos de saúde norte, sudoeste, sul e leste e em 2016, nos distritos norte, noroeste, sudoeste e leste. As diferenças puderam ser identificadas por meio dos aglomerados de autocorrelação de Moran e da

varredura de áreas de alto risco usando o *Scan*. Em 2013, além dos distritos de saúde norte e noroeste identificados na detecção de aglomerados *kernel*, foram também detectados aglomerados de altas taxas de incidência nos distritos sul, leste e sudoeste. Além disso, a detecção de aglomerados por meio da varredura *Scan*, permitiu detectar outros agrupamentos de alto risco para altas taxas de incidência, os quais não foram detectados ou foram pouco expressivos usando os outros métodos, como aqueles localizados no distrito de saúde leste, em 2014; no distrito noroeste, em 2015; e no distrito sul, em 2016.

A identificação e análise de aglomerados podem ser aplicados a estudos considerando outros tipos de epidemias e não apenas aquelas causadas por arbovírus. Esta abordagem pode ser complementada, integrando-se dados sobre infraestrutura do entorno dos domicílios, *status* socioeconômico e a característica demográfica da população sob risco, além de características da paisagem urbana, tais como tipos de construção (se predominantemente horizontal ou vertical), densidade demográfica, presença/ausência de vegetação e corpos d'água, entre outras. Tais informações se complementam e podem servir como suporte para as ações de enfrentamento de futuros surtos epidêmicos no município.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela bolsa de doutorado concedida (processo nº 2017/19446-0).

REFERÊNCIAS

ABDURROB, A.; KULLDORFF, M.; BRIGHAM AND WOMEN'S HOSPITAL; HARVARD MEDICAL SCHOOL. **SaTScan™ Tutorial #3: Advanced Options**. Boston: Harvard University, 2016. Disponível em: SaTScanTutorialAdvancedOptions.pdf. Acesso em: agosto 2020.

ANSELIN, L.; KOSCHINSKY, J.; LI, X.; LIN, Q.; MENGHANEY, M.; KOLAK, M.; CREDIT, K. SAXON, J.; LI, A. **GeoDa, versão 1.14.0**. Chicago, Estados Unidos da América. 2019. Disponível em: <https://spatial.uchicago.edu/directories/full/team>. Acesso em: junho 2020.

BESERRA, E. B.; FERNANDES, C. R. M.; SOUSA, J. T.; FREITAS, E. M.; SANTOS, K. D. Efeito da qualidade da água no ciclo de vida e na atração para oviposição de *Aedes aegypti* (L.) (Diptera: Culicidae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 39, n. 6, p. 1016-1023, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2010000600026>

BHATT, S.; GETHING, P. W.; BRADY, O. J.; MESSINA, J. P.; FARLOW, A. W.; MOYES, C. L.; DRAKE, J. M.; BROWNSTEIN, J. S.; HOEN, A. G.; SANKOH, O.; MYERS, M. F.; GEORGE, D. B.; JAENISCH, T.; WINT, G. R. W.; SIMMONS, C. P.; SCOTT, T. W.; FARRAR, J. J.; HAY, S. I. The global distribution and burden of dengue. **Nature**, v. 496, n. 7446, p. 504-507, 2013. <https://doi.org/10.1038/nature12060>

BONITA, R. Medindo saúde e doença. In: BONITA, R.; BEAGLEHOLE, R.; KJELLSTRÖM, T. **Epidemiologia básica**. 2.ed. São Paulo: Santos, 2010. cap 2, p. 15-38.

CÂMARA, G.; CARVALHO, M. S.; CRUZ, O. G.; CORREA, V. Análise espacial de áreas. In: Druck, S.; Carvalho, M. S.; Câmara, G.; Monteiro, A. V. M. **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília: Embrapa, 2004. cap. 5.

CONSOLI, R. A. G. B.; OLIVEIRA, R. L. **Principais mosquitos de importância sanitária no Brasil**. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 1994. <https://doi.org/10.7476/9788575412909>

CORTES, T. R.; SILVEIRA, I. H.; JUNGER, W. L. Improving geocoding matching rates of structured addresses in Rio de Janeiro, Brazil. **Cadernos de Saúde Pública**, 2021. <https://doi.org/10.1590/0102-311x00039321>

ELLIOTT, P.; WARTENBERG, D. Spatial epidemiology: current approaches and future challenges. **Environmental Health Perspectives**, v. 112, n. 9, p. 998-1006, 2004. <https://doi.org/10.1289/ehp.6735>

FERREIRA, M. C. Distribuições espaciais em mapas de pontos. In: ____ **Iniciação à análise geoespacial**. 1. ed. São Paulo: Editora Unesp, 2014. cap. 3, p.119-143.

FISCHER, S.; DE MAJO, M. S.; DI BATTISTA, C. M.; MONTINI, P.; LOETTI, V.; CAMPOS, R. E. Adaptation to temperate climates: evidence of photoperiod-induced embryonic dormancy in *Aedes*

aegypti in South America. **Journal of insect physiology**, v. 117, 2019.
<https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2019.05.005>

FREITAS, R. M.; OLIVEIRA, R. L. Presumed unconstrained dispersal of *Aedes aegypti* in the city of Rio de Janeiro, Brazil. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 43, n.1, p. 8-12, 2009.
<https://doi.org/10.1590/S0034-89102009000100002>

FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS - SEADE. **Projeções populacionais 2020**. Disponível em: <https://produtos.seade.gov.br/produtos/projpop/index.php>. Acesso em: junho 2020.

GOOGLE. **Google Maps**. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps/>. Acesso em: março 2021.

HAZELTON, M. L. Kernel Smoothing Methods. In: LAWSON, A. B.; BANERJEE, S.; HAINING, R. P.; UGARTE, M. D. **Handbook of Spatial Epidemiology**. Florida: Chapman & Hall/CRC, 2016. cap 10, p. 195-207.

HONÓRIO, N. A.; SILVA, W. C.; LEITE, P. J.; GONÇALVES, J. M.; LOUNIBOS, L. P.; OLIVEIRA, R. L. Dispersal of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in an urban endemic dengue area in the state of Rio de Janeiro, Brazil. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, Rio de Janeiro, v. 98, n. 2, p. 191-198, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0074-02762003000200005>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Contagem da população, 2007**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/793#resultado>. Acesso em: junho 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico, 2010a**. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/resultados.htm>. Acesso em: novembro 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Grade Estatística, 2010b**. Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/recortes_para_fins_estatisticos/grade_estatistica/censo_2010/grade_estatistica.pdf. Acesso em: novembro 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Organização do território, 2016**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio.html>. Acesso em: novembro 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Projeções populacionais, 2020**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=downloads>. Acesso em: junho 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Adiamento do censo demográfico**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/novo-portal-destaques/30569-adiamento-do-censo-demografico.html>. Acesso em: setembro 2021.

JEEFOO, P.; TRIPATHI, N. K.; SOURIS, M. Spatio-temporal diffusion pattern and hotspot detection in Chachoengsao Province, Thailand. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 8, n.1, p. 51-74, 2011. <https://doi.org/10.3390/ijerph8010051>

JOHANSEN, I. C.; CARMO, R. L.; ALVES, L. C. Desigualdade social intraurbana: implicações sobre a epidemia de dengue em Campinas, SP, em 2014. **Cadernos Metrópole**, São Paulo, v. 18, n. 36, p. 421-440, 2016. <https://doi.org/10.1590/2236-9996.2016-3606>

JUNG, I. Scan Tests. In: LAWSON, A. B.; BANERJEE, S.; HAINING, R. P.; UGARTE, M. D. **Handbook of Spatial Epidemiology**. Florida: Chapman & Hall/CRC, 2016. cap. 9, p. 179-194.
<https://doi.org/10.1111/joms.12170>

KUBOTA, A. M. **Análise espaço temporal do uso e ocupação do solo na região sudoeste de Campinas-SP, 1962-2009: efeitos da Rodovia dos Bandeirantes como barreira física**. 2012. 129 f. Dissertação (Mestrado em Geografia), Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.

KULLDORFF, M. **SaTScan™ User Guide for version 9.4: Software for the spatial and spacetime scan statistics**. Boston: Harvard University, 2015a. Disponível em: <https://www.satscan.org/techdoc.html>. Acesso em: outubro 2019.

- KULLDORFF M, Information Management Services, Inc. SaTScan™ v. 9.6: **Software for the spatial and space-time scan statistics**. Boston (MA): Harvard University; 2015b. Disponível em: <http://www.satscan.org/>. Acesso em: agosto 2019.
- LETA, S.; BEYENE, T. J.; DE CLERCQ, E. M.; AMENU, K.; KRAEMER, M. U. G.; REVIE, C. W. Global risk mapping for major diseases transmitted by *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*. **International Journal of Infectious Diseases**, v. 67, p. 25-35, 2018.
- MALAVASI, H. G. **Análise espacial da epidemia de dengue em Campinas/SP no ano de 2007**. 2011. 117 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Coletiva), Faculdade de Ciências Médicas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.
- MARCONDES, C. B.; XIMENES, M. F. F. M. Zika virus in Brazil and the danger of infestation by *Aedes (Stegomyia)* mosquitoes. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, v. 49, n.1, p. 4-10, 2016. <https://doi.org/10.1590/0037-8682-0220-2015>
- MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; SELUCHI, M. E.; CUARTAS, A.; ALVES, L. M.; MENDIONDO, E. M.; OBREGÓN, G.; SAMPAIO, G. A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. **Revista USP**, n. 106, p. 31-44, 2015. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i106p31-44>
- MÉDICOS SEM FRONTEIRAS. **Dengue**. Disponível em: <https://www.msf.org.br/o-que-fazemos/atividades-medicas/dengue?gclid=CLPOkZ262NECFUWBkQod7DsKtq>. Acesso em: janeiro 2017.
- MENDES, J. A. **Influência do padrão espacial do uso do solo urbano e da proximidade de criadouros do *Aedes aegypti* na ocorrência de casos de dengue durante a epidemia de 2013 em Campinas- SP**. 2016. 81 f. Dissertação (Mestrado em Geografia), Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.
- MENDES, J. A.; FERREIRA, M. C. Avaliação de métodos de geocodificação para conversão de agravos localizados em endereços, para mapas de pontos em sistema de coordenadas espaciais. In: RIBEIRO, E. A. W. A cartografia na geografia da saúde: metodologias e técnicas. Blumenau: Instituto Federal Catarinense, 2019. cap. 4, p. 70-82. <https://doi.org/10.21166/9788556440433cap4>
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Introdução à Estatística Espacial para a Saúde Pública, 2007**. Disponível em: http://www.escoladesaude.pr.gov.br/arquivos/File/TEXTOS_CURSO_VIGILANCIA/capacitacao_e_atualizacao_em_geoprocessamento_em_saude_3.pdf. Acesso em: janeiro 2018.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Dengue, 2020**. Disponível em: <https://www.saude.gov.br/saude-de-a-z/dengue>. Acesso em: junho 2020.
- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. Dengue vaccine: WHO position paper – July 2016. **Weekly epidemiological Record**, v.91, n. 30, p.349-364, 2016a.
- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Dengue and severe Dengue**. Disponível em: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs117/en/>. Acesso em: novembro 2016b.
- OSTFELD, R. S.; GLASS, G. E.; KEESING, F. Spatial epidemiology: an emerging (or re-emerging) discipline. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 20, n. 6, p. 328-336, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.03.009>
- QGIS.org. QGIS Geographic Information System. QGIS Association, 2021. Disponível em: <http://www.qgis.org>. Acesso em: agosto 2019.
- SECRETARIA MUNICIPAL DE SAÚDE. **Informe epidemiológico arboviroses, 2016**. Disponível em: http://www.saude.campinas.sp.gov.br/vigilancia/informes/2016/Informe_Epidemiologico_Arboviroses_24_novembro_2016.pdf. Acesso em: abril 2021.
- SECRETARIA MUNICIPAL DE SAÚDE. **Boletim epidemiológico, 2020**. Disponível em: https://dengue.campinas.sp.gov.br/sites/dengue.campinas.sp.gov.br/files/boletins_arbovirose/Informe%20dengue%2013mai20.pdf. Acesso em: junho 2020.
- SECRETARIA MUNICIPAL DE SAÚDE. **Centros de Saúde, 2021**. Disponível em: <https://www.campinas.sp.gov.br/governo/saude/unidades/centros-de-saude/>. Acesso em: março 2021.

SMITH, M. J.; GOODCHILD, M. F.; LONGLEY, P. A. & ASSOCIATES. Building blocks of Spatial Analysis. In: ____ Geospatial Analysis: A comprehensive guide to principles techniques and software tools. 6. ed. 2018. cap. 4. p. 103–242.

VANWAMBEKE, S. Pathogens in an anthropized world: A geographical perspective on zoonotic and vector-borne diseases. **Meded. Zitt. K. Acad. Overzeese Wet**, v. 62, p. 31-43, 2016.

VONTAS, J.; KIOULOS, E. PAVLIDI, N.; MOROU, E.; DELLA TORRE, A. RANSON, H. Insecticide resistance in the major dengue vectors *Aedes albopictus* and *Aedes aegypti*. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 104, n. 2, p. 126-131, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2012.05.008>

WILKE, A. B. B.; BENELLI, G.; BEIER, J. C. Anthropogenic changes and associated impacts on vector-borne diseases. **Trends in Parasitology**, v. 37, n.12, p. 1027-1030, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2021.09.013>

ZARA, A. L. S. A.; SANTOS, S. M.; OLIVEIRA, E. S. F.; CARVALHO, R. G.; COELHO, G. E. Estratégias de controle do *Aedes aegypti*: uma revisão. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, Brasília, v. 25, n. 2, p. 391-404, 2016. <https://doi.org/10.5123/S1679-49742016000200017>