



UNESP – UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

JÚLIO DE MESQUITA FILHO

CAMPUS DE PRESIDENTE PRUDENTE

Programa de Pós-graduação em Ciências Cartográficas

DANIEL JOSÉ PADOVANI EDERLI



**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA LEISHMANIOSE VISCERAL HUMANA NO
ESTADO DE SÃO PAULO ENTRE 2007 E 2020**

Presidente Prudente – SP

2023



UNESP – UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

JÚLIO DE MESQUITA FILHO

CAMPUS DE PRESIDENTE PRUDENTE

Programa de Pós-graduação em Ciências Cartográficas

DANIEL JOSÉ PADOVANI EDERLI

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA LEISHMANIOSE VISCERAL HUMANA NO
ESTADO DE SÃO PAULO ENTRE 2007 E 2020**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas da Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Presidente Prudente, SP.

Orientador: Prof. Dr. Edmur Azevedo Pugliesi

Coorientador: Prof. Dr. Carlos Magno Castelo Branco Fortaleza

Presidente Prudente – SP

2023

E22a

Ederli, Daniel José Padovani

Análise espaço-temporal da leishmaniose visceral humana no estado de São Paulo entre 2007 e 2020 / Daniel José Padovani Ederli.

-- Presidente Prudente, 2024

51 p. : il., tabs., mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente

Orientador: Edmur Azevedo Pugliesi

Coorientador: Carlos Magno Castelo Branco Fortaleza

1. Geoprocessamento. 2. Análise espacial (Estatística). 3. Leishmaniose visceral. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

O IMPACTO ESPERADO

O principal impacto em potencial dessa pesquisa é a identificação de padrões na distribuição da leishmaniose visceral humana ao longo do tempo e espaço nos municípios do estado de São Paulo, fornecendo informações para direcionar intervenções de saúde pública. A análise dos dados da leishmaniose visceral humana do SINAN (Sistema de Informação de Agravos de Notificação) de 2007 a 2020 permite a identificação de áreas de alto risco e a avaliação de tendências temporais na incidência da doença. Essas descobertas contribuem para políticas de saúde, direcionando recursos e desenvolvendo estratégias eficazes de controle da leishmaniose visceral.

THE EXPECTED IMPACT

The main potential impact of this research is the identification of patterns in the distribution of human visceral leishmaniasis over time and space in the municipalities of the state of São Paulo, providing information to guide public health interventions. Analyzing data from human visceral leishmaniasis in the SINAN (Notification of Injury Information System) from 2007 to 2020 allows for the identification of high-risk areas and the assessment of temporal trends in disease incidence. These findings contribute to health policies by directing resources and developing effective strategies for controlling visceral leishmaniasis.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

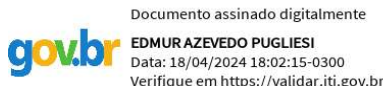
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA LEISHMANIOSE VISCERAL HUMANA
NO ESTADO DE SÃO PAULO ENTRE 2007 E 2020

AUTOR: DANIEL JOSE PADOVANI EDERLI

ORIENTADOR: EDMUR AZEVEDO PUGLIESI

COORIENTADOR: CARLOS MAGNO CASTELO BRANCO FORTALEZA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Cartográficas,
área: Aquisição, Análise e Representação de Informações Espaciais pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. EDMUR AZEVEDO PUGLIESI (Participação Presencial)
Departamento de Cartografia / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente

Profa. Dra. ANA PAULA MARQUES RAMOS (Participação Presencial)
Departamento de Cartografia / Câmpus de Presidente Prudente

Prof. Dr. RAFAEL DE CASTRO CATÃO (Participação Virtual)
Departamento de Geografia / Universidade Federal do Espírito Santos (UFES)

Presidente Prudente, 30 de agosto de 2023

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, quero agradecer a Deus, à minha família e a todos os meus amigos, por terem me apoiado em toda essa trajetória.

Ao meu orientador, prof. Dr. Edmur Azevedo Pugliesi, e coorientador, prof. Dr. Carlos Magno Castelo, pelo incentivo durante todas as fases da pesquisa.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas (PPGCC) e do Departamento de Cartografia da UNESP, que contribuíram para a minha formação e evolução como pesquisador.

E para todos que contribuíram de forma direta ou indireta para o desenvolvimento desta pesquisa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Mas os que são sábios resplandecerão como o fulgor do firmamento, e os que conduzem a muitos à justiça serão como as estrelas, sempre e eternamente (Daniel 12:3).

RESUMO

A leishmaniose visceral (LV) é a forma mais grave das leishmanioses. Em humanos, 95% dos casos, quando não tratados de forma adequada, resultam em mortes, além de ser considerada a doença parasitária mais propensa a surto. No ano de 2020, 90% dos casos notificados à Organização Mundial da Saúde concentraram-se em apenas 10 países, sendo o Brasil um deles. Já no continente americano, o Brasil foi responsável por 97% dos casos no mesmo período. Diante desse cenário preocupante, foi estabelecida no Brasil em 2012 a Semana Nacional de Controle e Combate à Leishmaniose, através da Lei nº 12.604/2012, com o objetivo de promover ações educativas e preventivas relacionadas à doença. No Estado de São Paulo, 273 municípios notificaram casos confirmados da leishmaniose visceral humana, acumulando no período de 2007 a 2020 um total de 2.743 registros da doença. O principal vetor responsável pela transmissão dessa doença é a uma espécie de flebotomíneos denominado *Lutzomyia longipalpis*, sendo os cães considerados as principais fontes de infecção para esses insetos no contexto urbano. Técnicas de geoprocessamento e análises espaciais desempenham um papel fundamental na saúde pública, permitindo uma compreensão aprofundada da distribuição geoespacial das doenças e seu comportamento ao longo do espaço-temporal. Desse modo, nesta pesquisa, foram realizadas análises e investigações para compreender a disseminação da leishmaniose visceral humana no Estado de São Paulo, bem como entender a distribuição espaço-temporal e os aglomerados dessa doença, utilizando o geoprocessamento e análise espacial. A pesquisa foi feita com os dados disponibilizados no Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN/DATASUS) dos municípios paulistas que apresentaram casos de leishmaniose visceral humana no período de 2007 a 2020. As bases dos limites municipais, administrativos e sedes municipais foram obtidas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os procedimentos realizados neste trabalho são divididos em duas etapas. A primeira etapa consiste em aplicação de análises espaciais de eventos pontuais para estudar a distribuição dos casos de LVH e compreender sua disseminação e tendência no Estado de São Paulo no espaço-temporal. Na segunda etapa, foram realizadas análises de padrões espaciais de eventos agregados por área para entender os padrões de agrupamento dos casos de LVH, identificando a autocorrelação espacial da doença no Estado. Os procedimentos e mapas temáticos foram feitos nos sistemas de informação geográfica ArcGIS Pro e ArcMap.

Palavras-chave: Geoprocessamento, Análises Espaciais, Espaço-temporal, Leishmaniose Visceral Humana.

ABSTRACT

Visceral Leishmaniasis (VL) is the most severe form of leishmaniasis, with 95% of cases in humans resulting in death when left untreated, besides being considered the parasitic disease most prone to outbreaks. In 2020, 90% of cases reported to the World Health Organization were concentrated in just 10 countries, including Brazil, which accounted for 97% of cases in the Americas during the same period. Faced with this concerning scenario, the National Week for the Control and Combat of Leishmaniasis was established in Brazil in 2012 through Law No. 12,604/2012, aiming to promote educational and preventive actions related to the disease. In the state of São Paulo, 273 municipalities reported confirmed cases of Human Visceral Leishmaniasis, accumulating a total of 2,743 disease records from 2007 to 2020. The main vector responsible for transmitting this disease is a species of phlebotomine sandfly called *Lutzomyia longipalpis*, with dogs considered the main sources of infection for these insects in urban areas. Geoprocessing techniques and spatial analysis play a fundamental role in public health, allowing for a deep understanding of the geospatial distribution of diseases and their behavior over space and time. Therefore, in this research it was conducted analyses and investigations to understand the spread of human visceral leishmaniasis in the state of São Paulo, as well as to comprehend the spatiotemporal distribution and clusters of this disease, using geoprocessing and spatial analysis. The research utilized data provided by the Information System for Notifiable Diseases (SINAN/DATASUS) from São Paulo municipalities reporting cases of Human Visceral Leishmaniasis from 2007 to 2020, with boundary, administrative, and municipal seat data provided by the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE). The procedures in this study are divided into two stages. The first stage involves spatial analyses of point events to study the distribution of LVH cases and understand their dissemination and trend in the state of São Paulo over space and time. In the second stage, analyses of spatial patterns of aggregated events by area were conducted to understand the clustering patterns of LVH cases, identifying the spatial autocorrelation of the disease in the state. The procedures and thematic maps were created using the ArcGIS Pro and ArcMap geographic information systems.

Keywords: Geoprocessing, Spatial Analysis, Spatiotemporal, Human Visceral Leishmaniasis.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Gráfico da evolução LVH São Paulo (2007 a 2020)	30
Gráfico 2 - LVH por microrregião de SP (2007 a 2020)	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Índice de Moran da taxa de incidência da LVH em SP (2007-2020)	41
---	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diferentes tipos de padrões pontuais: (a) regular (b) aleatório e (c) agrupado	18
Figura 2 - Função K: municípios com casos notificados de LVH de SP (2007 a 2020).....	20
Figura 3 - Estimador de densidade Kernel	21
Figura 4 - Índice de associação espacial local de Anselin	23
Figura 5 - Municípios com casos notificados de LVH (2007 a 2020)	25
Figura 6 - Modelagem de dados geográficos	26
Figura 7 - Evolução da Taxa de Incidência dos municípios de SP (2007-2020)	34
Figura 8 - Elipse direcional da LVH no Estado de São Paulo (2007-2020)	37
Figura 9 - Função K de Ripley: LVH São Paulo (2008, 2014 e 2020)	38
Figura 10 - Estimador de densidade Kernel: LVH (2008, 2014 e 2020)	40
Figura 11 - Índice de Associação Espacial Local de Anselin: LVH São Paulo (2007-2020).	43

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 JUSTIFICATIVA.....	13
1.2 OBJETIVO.....	14
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1 ANÁLISE DE PADRÕES ESPACIAIS DE EVENTOS PONTUAIS.....	16
2.1.1 Estatística descritiva espacial.....	16
2.1.2 Média do Vizinho mais Próximo.....	18
2.1.3 Função K de Ripley.....	19
2.1.4 Estimador de densidade <i>Kernel</i>	20
2.2 ANÁLISE DE PADRÕES ESPACIAIS DE EVENTOS AGREGADOS POR ÁREA.....	21
2.2.1 Índice de associação espacial global de Moran.....	22
2.2.2 Índice de associação espacial local de Anselin.....	23
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
3.1 MATERIAIS.....	24
3.2 MÉTODO PROPOSTO.....	24
3.2.1 Levantamento e organização dos dados.....	25
3.2.2 Geoprocessamento e análises espaciais.....	26
4 RESULTADOS E ANÁLISES.....	29
4.1 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DA LVH NO ESTADO DE SÃO PAULO.....	29
4.1.1 Análises de padrões espaciais da LVH no Estado de São Paulo.....	36
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48

1 INTRODUÇÃO

Leishmanioses são doenças com transmissão vetorial causadas por protozoários parasitas com mais de 20 espécies de leishmania. Nos humanos, esses parasitas são transmitidos quando há a picada de um inseto do sexo feminino pertencente aos flebotomíneos portando parasitas de leishmania. Existem três tipos principais da doença, a leishmaniose cutânea (LC), que é a leishmaniose mais comum; a leishmaniose mucocutânea (LMC), que é conhecida por ser a forma mais incapacitante da doença; e a leishmaniose visceral humana (LVH), também denominada de calazar (kala-azar), que é a forma mais grave das leishmanioses (World Health Organization, 2022).

De acordo com a *World Health Organization* (2022), a leishmaniose visceral humana é uma zoonose de evolução crônica fatal em mais de 95% dos casos quando não tratada e é considerada uma das doenças parasitárias mais propensas a surtos e mortalidades. Em 2020, 90% de todos os casos notificados à Organização Mundial da Saúde (OMS) concentraram-se em apenas 10 países, a saber: Brasil, China, Etiópia, Eritreia, Índia, Quênia, Somália, Sudão do Sul, Sudão e Iêmen.

Nas Américas, a LVH é considerada endêmica em 13 países, os quais acumulam 67.922 novos casos, entre o período de 2001 e 2020, equivalente a uma média de 3.400 casos por ano. No ano de 2020, o Brasil foi responsável por 97% (1.933) dos casos notificados do total de casos que ocorreram em todo o continente americano (Organização Pan-Americana da Saúde, 2021).

No Brasil, a principal espécie responsável por transmitir a LV em humanos é a *Lutzomyia longipalpis*, uma espécie de flebotomíneos popularmente chamada de mosquito-palha, asa-dura, tatuquiras, birigui, dentre outros nomes. Além disso, os cachorros são considerados as principais fontes de infecções para esses vetores nas áreas urbanas (Brasil, 2021).

De acordo com a *World Health Organization* (2010), quando usados de formas adequadas e com dados consistentes, os sistemas de informações geográficas podem ser considerados ferramentas importantes para entender a distribuição espacial da leishmaniose visceral humana e auxiliar nas tomadas de decisões para o planejamento urbano referente ao combate e controle da doença e à disseminação dos vetores.

As análises de dados espaciais e aplicações das técnicas de geoprocessamento na área da Saúde se tornaram ferramentas importantes para compreender e monitorar

doenças crônicas não transmissíveis e transmissíveis, além de possibilitar entender como os fatores ambientais e socioeconômicos podem influenciar na distribuição espacial dessas doenças. O geoprocessamento pode ser descrito como técnicas e procedimentos computacionais realizados em um Sistema de Informação Geográfica (SIG) para manusear e analisar dados espaciais (Ribeiro *et al.*, 2014). Notando a importância dessas ferramentas na área da Saúde, em 2006, no Brasil, foi lançado o programa de capacitação e atualização em abordagens do espaço em análises de saúde pública (Brasil, 2006).

Muitos trabalhos utilizam o geoprocessamento para analisar a distribuição espacial de diversas doenças. Alcântara *et al.* (2020), por exemplo, investigaram a distribuição espacial e a disseminação da covid-19 no Estado de São Paulo utilizando o Índice de Moran Bivariado para mapear a autocorrelação espacial e os padrões de agrupamento de óbitos causado pelo vírus em relação à densidade populacional e o número de leitos hospitalares. O índice mostrou baixa correlação entre os óbitos e a densidade populacional, quanto ao número de leitos hospitalares, a relação foi ainda mais baixa.

A LV é uma doença que desperta interesse na comunidade científica, pois estuda informações espaciais na área da Saúde. Devido à sua gravidade, muitos pesquisadores tentam entender e explicar sua distribuição e disseminação com o geoprocessamento e análises espaciais. Santos (2018) aplicou técnicas, como o estimador de densidade *Kernel*, Índice de Moran, *Local indicators of spatial association (LISA)* e o Moran Bivariado para identificar regiões de aglomerações de casos e a correlação com outras variáveis e áreas de risco no município de São José de Ribamar/MA, no período de 2007 a 2016. A pesquisa concluiu que os fatores socioeconômicos estão relacionados com os casos de LVH, apresentando maior intensidade de casos em áreas que apresentam problemas de saneamento básico e infraestrutura.

Pacheco (2020) analisou a distribuição espacial da LV humana e canina em Virgem da Lapa, Minas Gerais, no período de 2016 a 2018. O estudo apontou que as áreas que mostraram agrupamentos espaciais dos casos de LVH são próximas a bairros que foram recentemente ocupados e contêm algumas características rurais. Além disso, foi constatado que não existe relação entre a vegetação e o número de casos de LVH, indicando que os vetores estão adaptados a regiões urbanizadas.

Outro aspecto importantes quando se trata de doenças causadas por vetores são as análises espaciais para levantar as rotas de disseminação desses insetos. Um estudo no espaço-temporal de notificações de LVH no Estado de São Paulo, no período de 1999 a

2013, mostrou que a expansão dos casos no Estado ocorria no curso da Rodovia Marechal Rondon, no sentido oeste-leste (Cardim *et al.*, 2016).

A LVH é uma doença grave e endêmica no Brasil, com uma alta taxa de mortalidade quando não tratada adequadamente. Tendo em vista essa gravidade, foi estabelecida em 2012 a Semana Nacional de Controle e Combate à Leishmaniose, visando à conscientização e à prevenção da doença. No Estado de São Paulo, onde a LVH é endêmica, é importante compreender os padrões de dispersão da doença e identificar áreas de risco. Portanto, esta pesquisa tem como objetivo analisar a distribuição espaço-temporal da LVH em São Paulo, entre 2007 e 2020, utilizando técnicas de geoprocessamento e análises espaciais para identificar áreas de maior incidência e subsidiar medidas preventivas e de controle.

1.1 JUSTIFICATIVA

A leishmaniose visceral humana é extremamente grave, e quando não tratada adequadamente, a probabilidade de morte é muito alta. No Brasil, essa doença é considerada endêmica desde 1998, acumulando até 2020 75.896 casos, com uma média de aproximadamente 3.449 casos por ano (WHO, 2021).

Tendo em vista esse cenário preocupante sobre as leishmanioses, foi estabelecida no Brasil em 2012, a Semana Nacional de Controle e Combate à Leishmaniose, através da Lei nº 12.604, de 3 de abril de 2012, realizada anualmente na semana que contém o dia 10 de agosto no calendário. A data tem como propósito promover ações educativas e preventivas, debates sobre as políticas públicas de vigilância e controle da leishmaniose, apoiar as atividades de prevenção e combate à leishmaniose organizadas e desenvolvidas pela sociedade civil e mostrar os avanços técnico-científicos relacionados à prevenção e ao combate à leishmaniose, tornando a população ciente sobre a forma de disseminação do vetor, os sintomas e riscos da doença e os modos de prevenção.

A LVH é uma doença potencialmente fatal, de acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS). Ela é considerada endêmica em diversas regiões brasileiras, incluindo o Estado de São Paulo, que é o mais populoso do Brasil. Isso tem um impacto direto na dinâmica da doença. Portanto, é fundamental realizar o levantamento dos padrões de dispersão da doença e identificar áreas de risco relacionadas à LVH no Estado de São Paulo como parte essencial do desenvolvimento de estratégias para combater a disseminação do vetor.

Desse modo, pesquisas que buscam entender a distribuição espacial da leishmaniose visceral humana no Estado de São Paulo contribuem para a explicação de tal fenômeno, como os estudos de Cardim *et al.* (2016), que tiveram como foco identificar os aglomerados da doença e dos casos de óbitos no oeste paulista, no período de 1999 a 2013, usando apenas o estimador de densidade Kernel, e o de Paula (2016), que fez uma análise da distribuição espaço-temporal da doença no Estado de São Paulo, entre os anos de 1970 e 2014, a partir dos gráficos e mapas coropléticos dos casos notificados. Avelino e Hiramoto (2022) também analisaram a evolução da leishmaniose visceral humana entre 1970 e novembro de 2021, no Estado de São Paulo, a partir de mapas temáticos coropléticos.

Os estudos abordados destacam a relevância de analisar a distribuição espaço-temporal da leishmaniose visceral humana em âmbito estadual, possibilitando que os gestores da área da saúde compreendam o padrão da doença e identifiquem os municípios que apresentam agrupamentos com altas taxas de incidência de casos notificados a fim de implementar medidas preventivas relacionados à doença e à disseminação do vetor.

Nesta pesquisa, é utilizado uma variedade de técnicas de geoprocessamento e análises espaciais, considerando a distribuição da leishmaniose visceral humana como um evento pontual ou como dados agregados por área. Isso contribuirá significativamente para compreender a distribuição espaço-temporal e identificar áreas de riscos das taxas de incidência da doença no Estado de São Paulo. Esse tipo de abordagem mais abrangente vai levantar mais detalhes sobre os casos notificados da doença no Estado, permitindo fazer uma análise da distribuição espaço-temporal da doença de forma mais eficiente e consistente.

1.2 OBJETIVO

Esta pesquisa tem como principal objetivo realizar análises espaciais e ao longo do tempo de padrões espaciais da leishmaniose visceral humana no Estado de São Paulo entre os anos de 2007 e 2020. Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Identificar e visualizar o padrão espacial das ocorrências de leishmaniose visceral humana por sede de município, no período de estudo;
- Identificar e visualizar o padrão espacial das ocorrências de leishmaniose visceral humana por área de município, no período de estudo e

- Verificar a tendência espacial dos casos de leishmaniose visceral humana ao longo do período de estudo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, será apresentada e descrita a fundamentação teórica que servirá como apoio para o desenvolvimento deste trabalho. Sendo assim, os tópicos abordados são: análise de padrões espaciais de eventos pontuais, análise de padrões espaciais de eventos agregados por área e análise multivariada.

2.1 ANÁLISE DE PADRÕES ESPACIAIS DE EVENTOS PONTUAIS

As análises sobre os padrões pontuais são realizadas quando a localização do evento é uma variável relevante e importante (Fischer, 2015). As análises pontuais são usadas para identificação de possíveis áreas com concentração de algum evento. Os dados de eventos pontuais apresentam as seguintes características: às áreas dos eventos não são medidas válidas, os pontos estão associados às ocorrências dos eventos como também podem estar ou não associados a valores, como casos notificados de alguns determinados eventos (Druck *et al.*, 2004).

Segundo Fischer (2015), as análises de padrões sobre eventos pontuais estão relacionadas com as propriedades de primeira e segunda ordem da exploração de pontos espaciais. A propriedade de primeira ordem implica na variação do valor médio do procedimento, e a propriedade de segunda ordem procede uma estrutura de correlação espacial ou dependência espacial do processo.

Neste trabalho, serão aplicadas algumas funções de análises pontuais sobre eventos dos casos notificados de leishmaniose visceral humana, a saber: estatística descritiva espacial, média do vizinho mais próximo, função K de Ripley e estimador de densidade *Kernel*.

2.1.1 Estatística descritiva espacial

A estatística descritiva espacial considera algumas medidas, como centro médio, centro mediano, distância padrão e a elipse do desvio padrão, para poder analisar os fenômenos pontuais através das suas localizações geográficas (Lee, 2009).

O centro médio é entendido como a localização central ou média de um conjunto de pontos espacialmente distribuídos, que é calculado usando os valores médios das coordenadas x e y dos pontos de uma determinada região de interesse (Delmelle, 2009).

De acordo com Lee (2009), o centro médio é uma estimativa do ponto focal espacial de um conjunto de dados pontuais. Tendo um conjunto de pontos espaciais (P), composto por n pontos (p) distribuídos no espaço bidimensional, o centro médio (C) é calculado como mostra a Equação 2.1.

$$C = (x_c, y_c) = \left(\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \right); \text{ sendo } i = 1 \dots n \quad (2.1)$$

O centro mediano utiliza o conceito de mediana, no qual o centro mediano é o ponto em que as suas coordenadas (x, y) são definidas como medianas de todas as coordenadas x e todas as coordenadas y em um conjunto de dados pontuais distribuídos espacialmente em uma região de estudo (Lee, 2009).

A distância padrão é usada para medir o grau em que os pontos estão agrupados ou dispersos em volta do centro médio (Lee, 2009). A distância padrão (SD) de um conjunto de pontos espaciais pode ser determinada de acordo com a Equação 2.2.

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_c)^2 + \sum_{i=1}^n (y_i - y_c)^2}{n}}; \text{ sendo } i = 1 \dots n \quad (2.2)$$

Outra medida importante na análise de eventos pontuais espaciais é a elipse do desvio padrão, que fornece uma elipse que indica a tendência da aglomeração do fenômeno. O tamanho da elipse mostra se o evento está agrupado ou disperso em torno do centro médio (Lee, 2009).

O cálculo da elipse é feito através de operações algébricas para transformar as coordenadas em um novo sistema de coordenadas, que tem o centro médio como a origem, como mostra a equação 2.3.

$$\begin{aligned} x'_i &= x_i - x_c \\ y'_i &= y_i - y_c \end{aligned} \quad \text{sendo } i = 1 \dots n \quad (2.3)$$

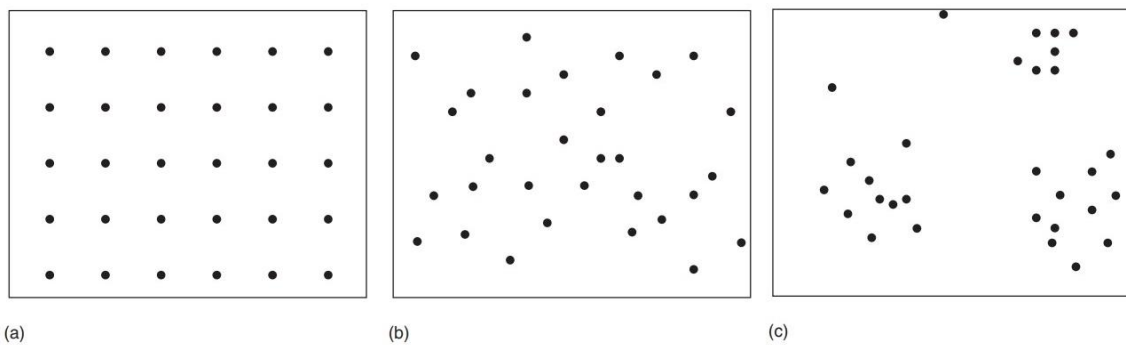
Em seguida, é aplicada uma equação (equação 2.4) para determinar o ângulo direcional da elipse.

$$\tan\theta = \frac{(\sum_{i=1}^n (x'_i)^2 - \sum_{i=1}^n (y'_i)^2) + \sqrt{(\sum_{i=1}^n (x'_i)^2 - \sum_{i=1}^n (y'_i)^2)^2 + 4(\sum_{i=1}^n x'_i y'_i)^2}}{2 \sum_{i=1}^n x'_i y'_i} \quad (2.4)$$

2.1.2 Média do Vizinho mais Próximo

O método da Média do Vizinho mais Próximo, que é uma estimacão de propriedades de segunda ordem de eventos pontuais, calcula a distância entre cada ponto e o seu vizinho mais próximo em uma camada de dados de pontos espacialmente distribuídos a fim de determinar se os pontos apresentam um padrão espacial regular (Figura 1.a), aleatório (Figura 1.b) ou agrupado (Figura 1.c) (Chang, 2010).

Figura 1 - Diferentes tipos de padrões pontuais: (a) regular (b) aleatório e (c) agrupado



Fonte: Lu (2009)

O cálculo da estatística para o método do vizinho mais próximo é dado pela razão (R), que é determinada através da média observada entre os vizinhos mais próximos (d_{obs}) e a média que é esperada para uma distribuição hipoteticamente aleatória (d_{esp}), como mostra a equação 2.5 a seguir.

$$R = \frac{d_{obs}}{d_{esp}} = \frac{\bar{d}}{\frac{1}{2\sqrt{\lambda}}} \quad (2.5)$$

Sendo \bar{d} a média das distâncias dos incidentes ao seu vizinho mais próximo, λ o número total de incidentes na área, d_{obs} significa a distância observada média entre os incidentes e seus vizinhos, e o d_{esp} a distância esperada entre incidentes em condições aleatórias.

De acordo com Chang (2010), caso a razão (R) seja menor que 1, o padrão espacial apresenta agrupamento; se for maior que 1 o padrão, a tendência é a dispersão. Esse método é uma forma de analisar a estatística da distribuição dos pontos com o esperado para a Aleatoriedade Espacial Completa (*Complete Spatial Randomness – CSR*) (Druck *et al.*, 2004).

2.1.3 Função K de Ripley

A função K, denominada como medida de momento de segunda ordem reduzido, pode ser uma alternativa ao método da média do vizinho mais próximo para fornecer a quantidade de padrão espacial, que apresenta agrupamento em uma escala mais ampla (Druck *et al.*, 2004).

Para o cálculo dessa função, um círculo com raio específico (h) é posto sobre cada ponto do conjunto (i), iniciando uma contagem dos pontos que estão dentro desse círculo (j). Quando finalizado, o círculo é movido para outro ponto e faz o mesmo processo. Depois que esse processo é realizado para todos os pontos existentes (n) dentro de uma área de estudo (A), o raio do círculo é expandido, cujo procedimento é feito até que o círculo alcance o maior raio especificado (Delmelle, 2009). A estimativa da função K ($K(b)$) é dada pela equação 2.6.

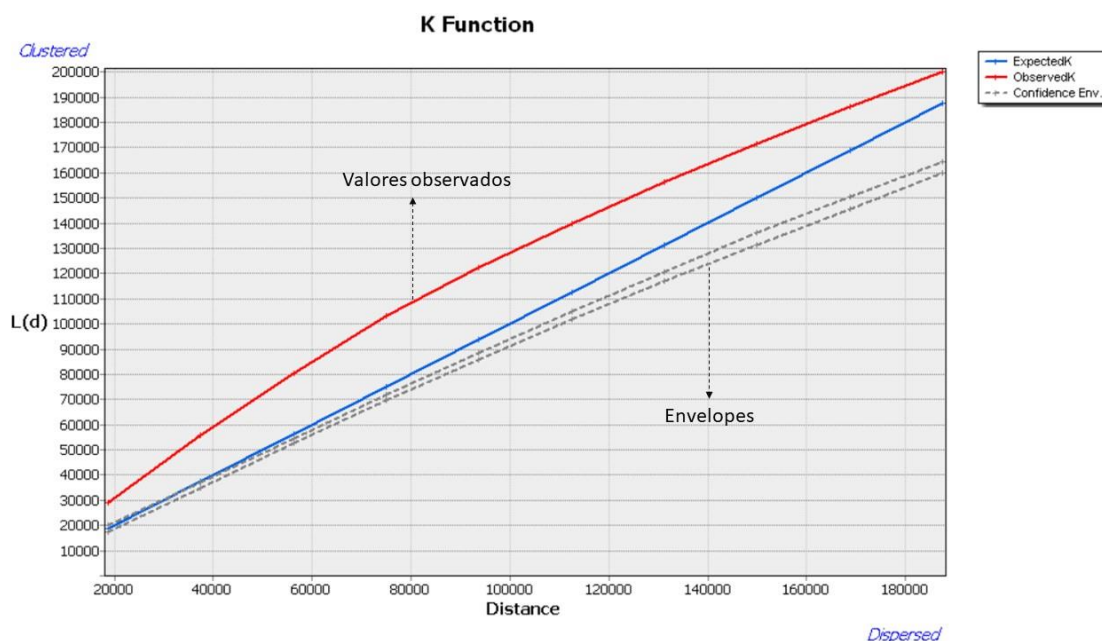
$$K(b) = \left(\frac{A}{n^2}\right) \sum_{i \neq j} \sum l_b(d_{ij}) \quad (2.6)$$

Sendo, d_{ij} a distância entre dois eventos i e j dentro de uma região de estudo (A), e $l_b(d_{ij})$ um indicador da função definido como mostra a equação 2.7.

$$l_b(d_{ij}) = \begin{cases} 1 & \text{se } d_{ij} \leq b \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (2.7)$$

De acordo com Delmelle (2009), para cada conjunto de dados observados, os valores 5% mais altos e mais baixos estimados da função K para esses padrões aleatórios formam os envelopes superior e inferior sobre a hipótese nula de Aleatoriedade Espacial Completa (CSR). Quando um valor observado apresenta um valor da função K, que está entre o envelope superior e o inferior, o padrão espacial é aleatório para esses pontos; quando o valor calculado da função K está acima dos envelopes, o padrão é agrupado; e quando está abaixo, o padrão é regular (Figura 2).

Figura 2 - Função K: municípios com casos notificados de LVH de SP (2007 a 2020)



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

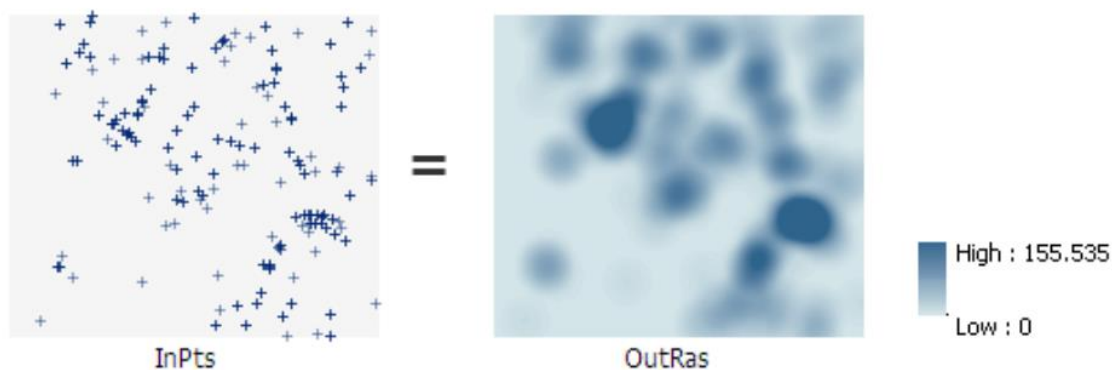
2.1.4 Estimador de densidade *Kernel*

Os métodos da média do vizinho mais próximo e a função K de Ripley não fornecem as localizações de *clusters* (agrupamentos). Esses procedimentos apenas indicam uma tendência geral para o padrão espacial dos pontos, que pode ser agrupado, aleatório ou disperso.

O mapeamento usando o estimador de densidade Kernel (Figura 3) proporciona uma forma de identificar através da análise visual as áreas agrupadas do fenômeno. De acordo com Delmelle (2009), o cálculo desse estimador de densidade é feito dividindo-

se toda a região de interesse em uma grade, e um raio de pesquisa é posto em torno de cada ponto da grade (g) de modo similar ao da média de janela móvel. Uma janela adequadamente definida pelo tamanho do raio (t) é movida sobre a grade. Com isso, a intensidade de cada ponto é estimada a partir da contagem do evento por unidade que está dentro da janela centralizada sobre esse ponto na grade.

Figura 3 - Estimador de densidade Kernel



Fonte: Esri (2023-a)

O estimador de densidade Kernel (Figura 3) em um ponto na grade ($\hat{\lambda}_\tau(g)$), pode ser matematicamente estimado, como mostra a Equação 2.8.

$$\hat{\lambda}_\tau(g) = \sum_{h_i \leq \tau} \frac{3}{\pi\tau^2} \left(1 - \frac{h_i^2}{\tau^2}\right) \quad (2.8)$$

2.2 ANÁLISE DE PADRÕES ESPACIAIS DE EVENTOS AGREGADOS POR ÁREA

As análises espaciais realizadas sobre áreas são entendidas como métodos para a análise de dados espaciais em que a localização geográfica é associada a alguma área que é delimitada por polígonos, como limites nacionais, estaduais, bairros, setores censitários ou algum polígono que corresponde a uma área de interesse de estudo, quando não há a localização exata do evento, mas de um valor para uma área (Druck *et al.*, 2004).

De acordo com Lu (2009), a análise de padrões por áreas detecta se o fenômeno forma agrupamento e mostra a localização e a extensão do agrupamento. Esses aspectos

são estudados por meio de análise de primeira e segunda ordem, que correspondem à análise em escala global e em escala local.

No contexto de análise espacial por áreas, um conceito importante é a autocorrelação espacial, entendida como a expressão computacional da dependência espacial, ou seja, a autocorrelação espacial realiza medidas de variáveis distribuídas espacialmente de formas distintas (Druck *et al.*, 2004).

Nesta pesquisa, serão aplicados alguns métodos para realizar as análises por áreas sobre os casos notificados de leishmaniose visceral humanas, como o índice de associação espacial global de Moran, índice de associação espacial local de Anselin e a estatística de *Getis-Ord*.

2.2.1 Índice de associação espacial global de Moran

A autocorrelação espacial pode ser analisada tanto de forma global como local. As medidas globais são feitas para resumir a autocorrelação espacial; já as medidas locais fazem avaliações da autocorrelação espacial em um determinado local de interesse (Alcântara *et al.*, 2020).

O índice de autocorrelação espacial de Moran (*Moran's I*) é uma medida de autocorrelação espacial global ou agrupamento usada para determinar o grau de autocorrelação espacial (Moran, 1950) e pode ser calculada pela seguinte equação.

$$I = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} ; i \neq j \quad (2.9)$$

Sendo, I o valor *Moran's I*, n o número de áreas (polígonos), y_i o valor do atributo dessa área (i), \bar{y} é o valor médio dos atributos da área de interesse e w_{ij} correspondem aos elementos da matriz.

O índice de Moran, de forma resumida, faz um teste em que a hipótese nula é de independência espacial, cujo valor do índice seria zero. O *Moran's I* varia de -1 a 1. Quando o índice apresenta um valor maior que zero, significa que há autocorrelação espacial e agrupamento dos dados relacionados com as localizações geográficas. Porém, quando o valor é menor que zero, implica que não existe autocorrelação espacial e os dados apresentam uma distribuição dispersa (Câmara *et al.*, 2004).

2.2.2 Índice de associação espacial local de Anselin

Quando são realizadas análises em grandes quantidades de áreas, é normal que resultem em diferentes tipos de associação espacial. Dessa forma, é melhor aplicar procedimentos que fazem avaliações dos padrões espaciais em maior detalhe. O índice de associação Espacial Local de Anselin (*Anselin's Local Indicators of Spatial Association* – LISA) é um indicador local que determina um valor único para cada região da área de estudo, permitindo-se levantar os agrupamentos (Câmara *et al.*, 2004).

O índice de associação espacial local de Anselin é usado para identificar os locais com máxima autocorrelação espacial, em que a dependência espacial é mais evidente (Anselin, 1995). Sua formulação matemática está definida na equação 2.10.

$$I_i = \frac{y_i - \bar{y}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})} \sum_{j=1}^n (y_j - \bar{y}); \quad i \neq j \quad (2.10)$$

Sendo I_i o resultado do índice de associação espacial local de Anselin (LISA); n , o número de áreas (polígonos); y_i o valor do atributo dessa área (i) e \bar{y} é o valor médio dos atributos da área de interesse. O LISA (Figura 4) sempre indicará clusters e outliers estatisticamente significativos para um nível de confiança de 95%.

Figura 4 - Índice de associação espacial local de Anselin



Fonte: Esri (2023-b)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

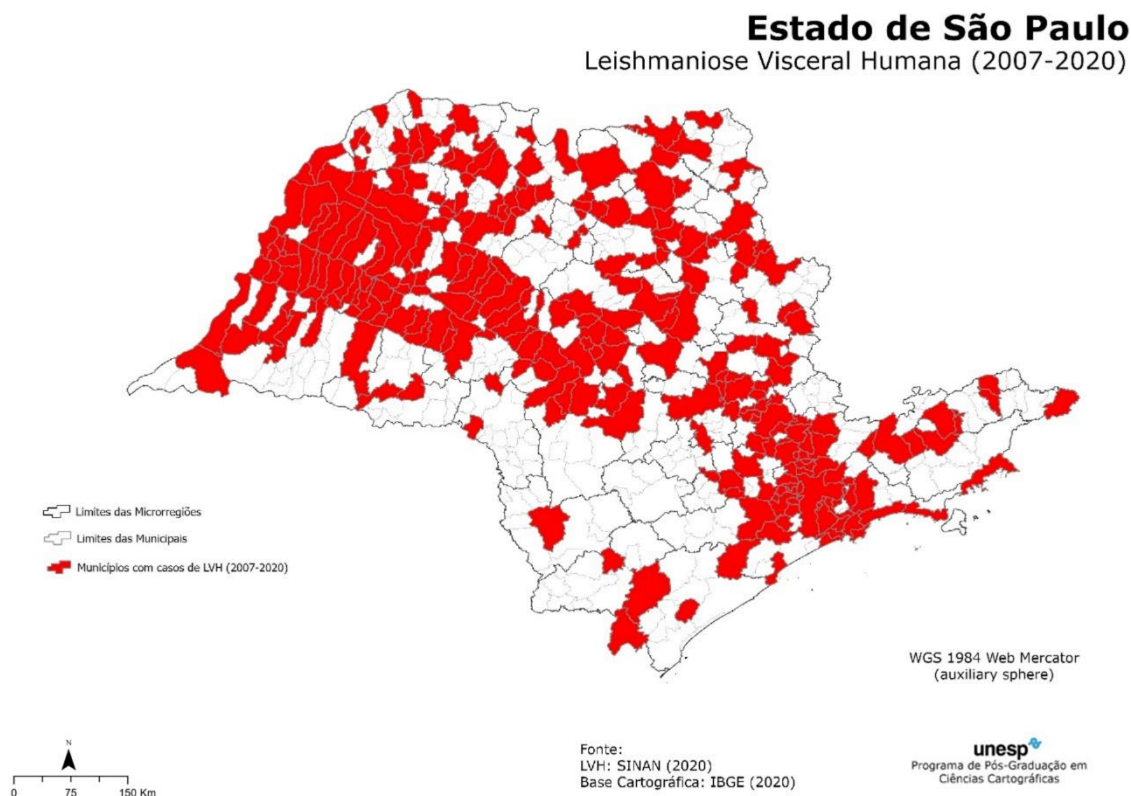
Os dados e programas computacionais que serão utilizados no desenvolvimento deste trabalho serão descritos a seguir:

- Sistemas de Informações Geográficas (SIG): ArcGIS Desktop 10.8 e ArcGIS Pro 3.0.
- Bases cartográficas fornecidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020): malhas territoriais de limite político-administrativo de municípios, malha de rodovias, sedes municipais.
- Dados alfanuméricos de casos notificados de LVH fornecidos pelo Sistema Nacional de Agravos de Notificação (SINAN, 2020), sistema vinculado ao departamento de informática do Sistema Único de Saúde do Brasil (DATASUS).

3.2 MÉTODO PROPOSTO

O Estado de São Paulo é composto por 645 municípios e tem uma população estimada em 44.420.459 habitantes (IBGE, 2022). Entre os anos de 2007 e 2020, 273 municípios paulistas notificaram casos confirmados da leishmaniose visceral humana, acumulando nesse período um total de 2.743 registros da doença (Brasil, 2021). Será realizado um estudo exploratório, temporal e espacial dos dados de casos absolutos e taxa de incidência da LVH registrados no Sistema de Informação de Agravos de Notificações (SINAN) nos municípios do Estado de São Paulo no período de 2007 a 2020 (Figura 5).

Figura 5 - Municípios com casos notificados de LVH (2007 a 2020)



Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

3.2.1 Levantamento e organização dos dados

Para realizar a análise exploratória, espacial e temporal da leishmaniose visceral humana no Estado de São Paulo, foram usados os registros dos casos notificados por municípios de cada ano, correspondente ao período de 2007 a 2020. Esses dados foram obtidos no banco de dados do Sistema Nacional de Informação de Agravos e Notificação (SINAN/DATASUS, 2020).

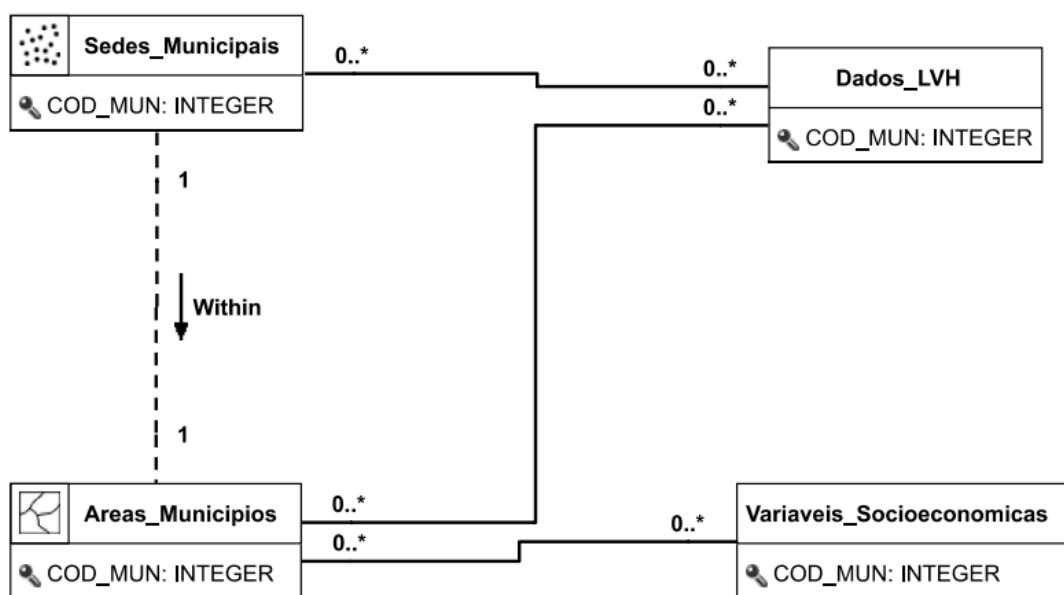
As bases cartográficas no formato *shapefile*, como os limites das unidades federativas, limites municipais, as sedes municipais e rodovias, foram retiradas dos dados do IBGE (2020).

Os dados dos casos notificados de LVH, limites municipais e sedes municipais contêm em comum o código dos municípios (COD_MUN) do IBGE, que é composto de sete dígitos, sendo os dois primeiros referentes ao código da Unidade da Federação. Dessa forma, o pré-processamento constitui a criação de um banco de dados, realizando o

procedimento de junção no *software* ArcGIS Pro das informações tabuladas dos casos notificados de LVH com as sedes e limites municipais.

Para melhor entendimento da criação do banco de dados e das relações de dados georreferenciados e dados alfanuméricos, será mostrada na Figura 6 uma modelagem de dados geográficos.

Figura 6 - Modelagem de dados geográficos



Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

3.2.2 Geoprocessamento e análises espaciais

Com o banco de dados criado, as próximas etapas foram: realizar análises de padrões espaciais de eventos pontuais dos casos notificados de LVH nos municípios do Estado de São Paulo, no período de 2007 a 2020 e analisar os padrões espaciais de eventos agregados por área dos casos notificados de LVH nos municípios paulistas no período de 2007 a 2020.

A taxa de incidência foi obtida com base na população censitária dos dados fornecidos pelo IBGE (2020). Para calcular o coeficiente de incidência bruto, foi feita a divisão do número de casos de leishmaniose visceral humana confirmados por município

de notificação pela população total do município, em cada ano do período analisado, sendo o resultado multiplicado por 100.000. Após o tratamento e organização dos dados da LVH humana para cada ano da série histórica, foram realizadas as análises espaciais no sistema de informação geográfica.

Na primeira etapa, foram realizadas as análises de padrões espaciais de eventos pontuais com o propósito de estudar a distribuição espacial dos casos notificados de LVH e auxiliar no entendimento da disseminação da doença no espaço-temporal. Os processamentos dessa etapa foram realizados no *software* ArcGIS Pro usando as sedes municipais para analisar os casos notificados de LVH (eventos pontuais) com o uso das seguintes funções.

- Média do Vizinho Mais Próximo (*Average Nearest Neighbor*): o procedimento forneceu a hipóteses sobre o padrão observado, se é aleatório, aglomerado ou se os casos notificados de LVH estão regularmente distribuídos espacialmente (Chang, 2010).
- Função K de Ripley (*Multi-Distance Spatial Cluster Analysis Ripley's K Function*): além de informar o padrão espacial da doença, também forneceu uma distância que foi utilizada como raio de busca na análise de agrupamento (Druck *et al.*, 2004; Delmelle, 2009).
- Estatística descritiva espacial: foram aplicadas técnicas de medidas, como elipse do desvio padrão, para analisar os casos notificados de LVH por meio de sua localização geográfica, possibilitando compreender a direção em que a doença tende a se agrupar (Lee, 2009; Delmelle, 2009).
- Estimador de densidade *Kernel* (*Kernel Density*): esse procedimento fornecerá uma superfície que indicará a localização dos agrupamentos dos casos notificados de LVH (Delmelle, 2009).

A segunda etapa consistiu nas análises de padrões espaciais de eventos agregados por área e teve como objetivo entender os padrões espaciais dos casos notificados de LVH agregados nos limites municipais. Esse processo explicou a autocorrelação espacial da doença no espaço. As operações dessa etapa foram realizadas no ArcGIS Pro e envolveu os seguintes processamentos:

- Índice de associação espacial global de Moran (*Global Moran's I*): calculou um único valor que é usado como uma medida do grau de autocorrelação espacial. Com base nesse valor foi possível analisar se existe uma correlação espacial

positiva ou uma correlação espacial negativa dos casos notificados da LVH nos municípios paulistas (Moran, 1950; Alcântara *et al.*, 2020).

- Índice de associação espacial local de Anselin (*Anselin Local Moran's I*): esse indicador local forneceu um valor específico para cada área, permitindo assim a identificação de agrupamentos e a autocorrelação espacial dos casos notificados da LVH em maior detalhe. Além disso, identificou os *outliers* (Anselin, 1995; Câmara *et al.*, 2004).
- Para as análises e interpretações dos resultados obtidos em cada procedimento descrito anteriormente, foram gerados mapas temáticos usando os sistemas de informações geográficas ArcGIS Pro.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

Neste capítulo, serão apresentados todos os resultados obtidos nos processamentos de geoprocessamento que foram descritos na metodologia e serão feitas discussão e análises espaciais dos mapas temáticos gerados.

4.1 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DA LVH NO ESTADO DE SÃO PAULO

A LVH no Estado de São Paulo remonta ao século XX, quando os primeiros casos da doença foram registrados na região. Inicialmente considerada uma enfermidade rural, a LVH gradualmente se espalhou para áreas urbanas, tornando-se um problema de saúde pública significativo no Estado. A transmissão da LVH é mediada por parasitas do gênero leishmania, que são transmitidos aos seres humanos através da picada de flebotomíneos infectados, principalmente a *Lutzomyia longipalpis* (Alencar *et al.*, 2013).

Anteriormente, a LVH era mais comum em áreas rurais e silvestres de São Paulo, onde as condições ambientais propiciavam a presença dos vetores e dos hospedeiros animais, como roedores e marsupiais (Brasil, 2014). A urbanização e a expansão desordenada das cidades criaram novos habitats para os flebotomíneos, facilitando a sua adaptação aos ambientes urbanos e à proliferação da doença. A introdução de animais domésticos, especialmente cães, também desempenhou um papel crucial na transmissão da LVH, uma vez que esses animais podem servir como reservatórios da leishmania e atrair os vetores para áreas habitadas (Camargo; Katz, 2002).

Ao longo do tempo, a LVH tornou-se uma preocupação crescente para as autoridades de saúde pública de São Paulo. Campanhas de controle e prevenção foram implementadas, incluindo medidas de eliminação de criadouros de vetores, tratamento de cães infectados e educação da população sobre medidas preventivas (Costa; Pereira, 2003). No entanto, apesar dos esforços, a doença continua a ser um desafio devido à sua complexidade e à persistência dos vetores em áreas urbanas e rurais.

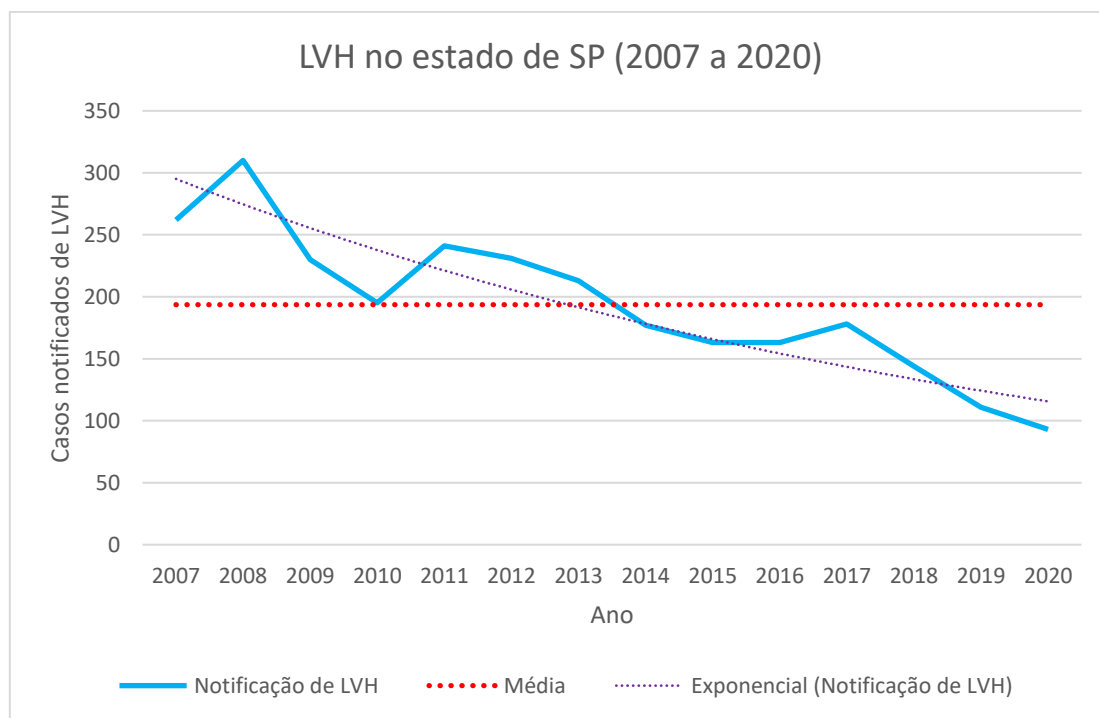
A *Lutzomyia longipalpis* é o principal vetor da LVH em São Paulo, sendo encontrada em diversas regiões do Estado (Gontijo; Melo, 2004). Esse flebotomíneo é conhecido por sua capacidade de se adaptar a diferentes ambientes e por sua preferência por áreas com condições favoráveis, como vegetação densa e acúmulo de matéria

orgânica. Além disso, a presença de hospedeiros vertebrados, como roedores, marsupiais e cães, contribui para a manutenção do ciclo de transmissão da leishmaniose.

De modo geral, a LVH no Estado de São Paulo é marcada pela sua evolução de uma doença rural para uma preocupação urbana, com a expansão dos vetores e a urbanização desempenhando um papel central nesse processo. A compreensão da história e da ecologia da LVH é fundamental para o desenvolvimento de estratégias eficazes de controle e prevenção da doença no Estado.

No período de 2007 a 2020 foram registrados 2.743 casos de leishmaniose visceral humana no Estado de São Paulo, sendo que entre 2007 e 2013 os casos de LVH eram mais altos. A partir de 2014 houve uma queda dos casos registrados (Gráfico 1).

Gráfico 1 - Gráfico da evolução LVH São Paulo (2007 a 2020)

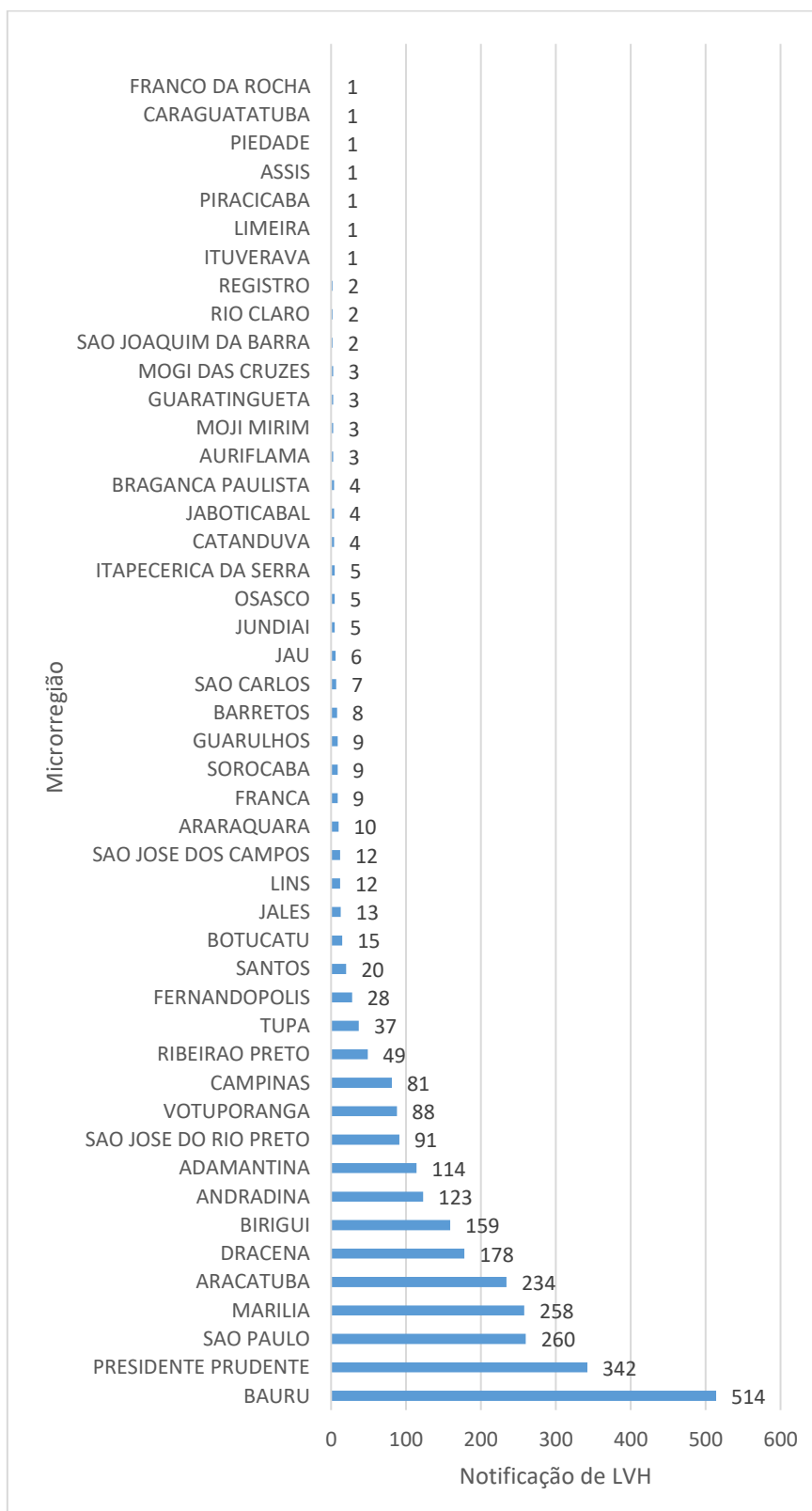


Fonte: SINAN/DATASUS (2023)

De acordo com o Gráfico 1, nota-se que em três anos os casos de LVH no Estado de São Paulo mostram uma divergência significativa. Em 2008, registrou-se o maior número de casos (308 casos); em 2014, o número de LVH registrado se aproximou da média dos casos do período analisado (177 casos); e em 2020, ocorreu o menor número notificado (93 casos).

A microrregião com o maior número de casos registrados de LVH no período de 2007 a 2020 foi Bauru, com 514 notificações de LVH, seguida das microrregiões de Presidente Prudente (342 casos) e Marília (258 casos). A microrregião da grande São Paulo registrou nesse período 260 casos de LVH (Gráfico 2).

Gráfico 2 - LVH por microrregião de SP (2007 a 2020)

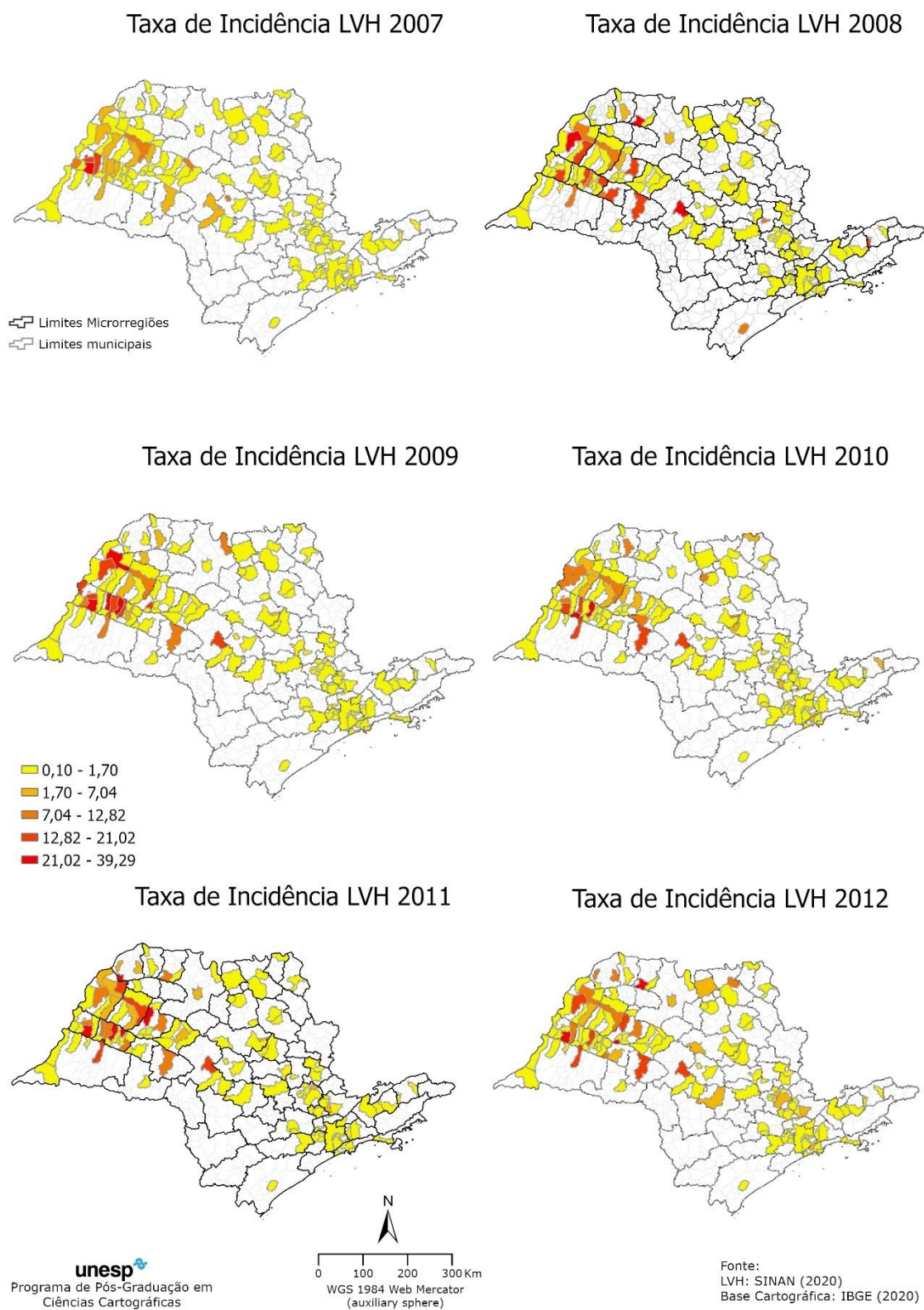


Fonte: SINAN/DATASUS (2023).

De acordo com a evolução das taxas de incidências dos casos de LVH por município entre os anos de 2007 e 2020 (Figura 7), observa-se que as concentrações das

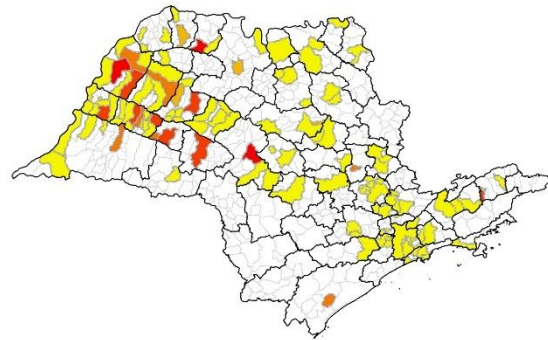
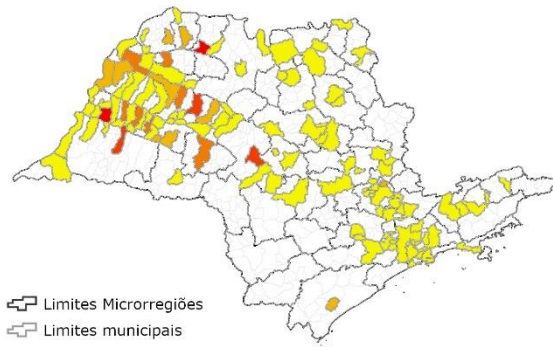
maiores taxas de incidências ficam nos municípios do oeste e noroeste paulista, principalmente nas microrregiões que fazem divisa com o Estado do Mato Grosso do Sul (MS).

Figura 7 - Evolução da Taxa de Incidência dos municípios de SP (2007-2020)



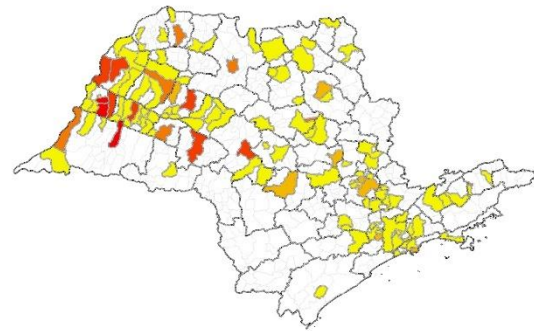
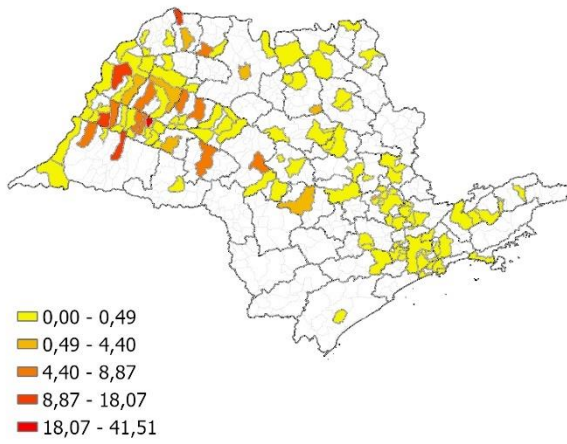
Taxa de Incidência LVH 2013

Taxa de Incidência LVH 2014



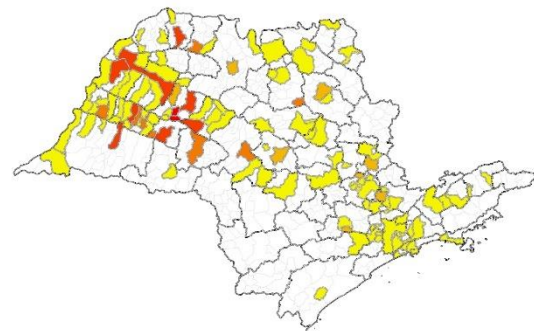
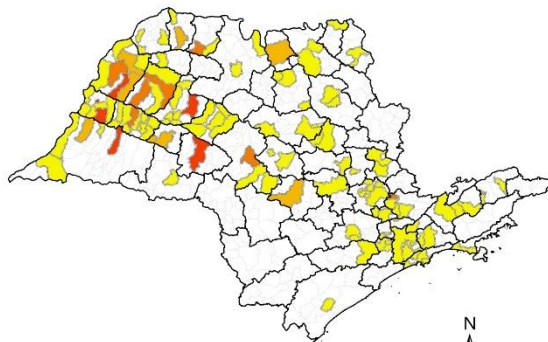
Taxa de Incidência LVH 2015

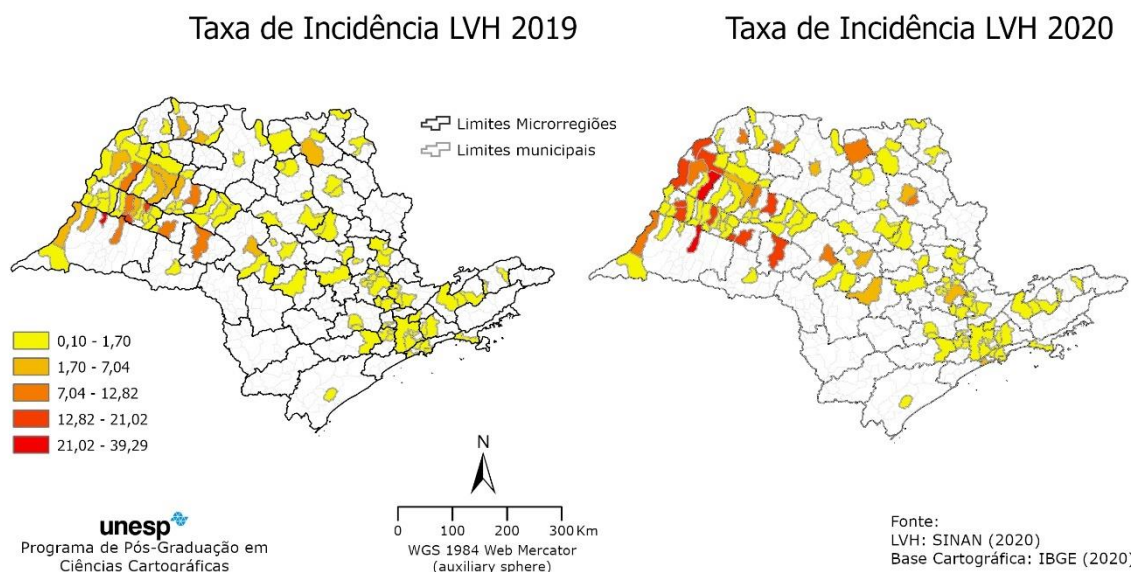
Taxa de Incidência LVH 2016



Taxa de Incidência LVH 2017

Taxa de Incidência LVH 2018





Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Com base na análise da distribuição espacial das taxas de incidências da LVH (Figura 7), os municípios que apresentam taxas de incidência significativamente altas ao longo dos anos de 2007 a 2020 são: Dracena, com um média da taxa de incidência da LVH nesse período de 22.79; Adamantina, com uma média de taxa de incidência 12.46; e Andradina, com uma taxa de incidência média nesse período de 9.29.

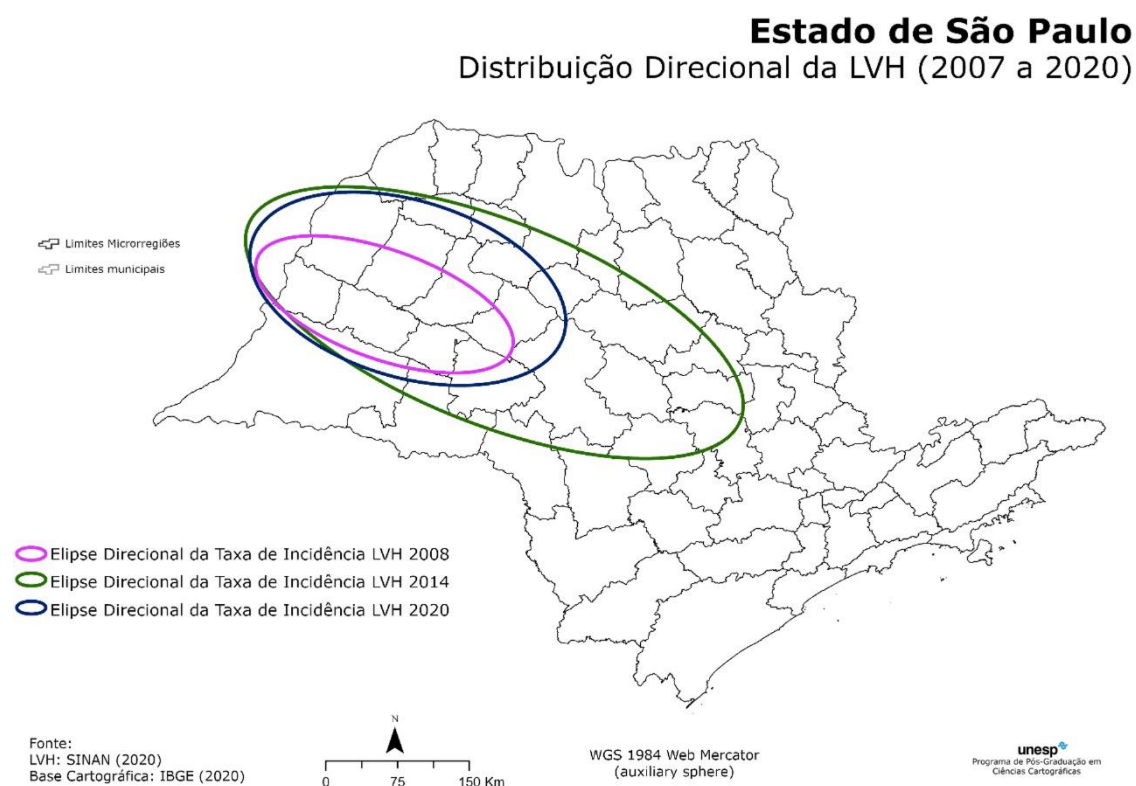
4.1.1 Análises de padrões espaciais da LVH no Estado de São Paulo

I Análise da direção das ocorrências ao longo do tempo

Para investigar a tendência da distribuição espacial da taxa de incidência da LVH no Estado de São Paulo, foram criadas elipses direcionais, considerando-se as sedes dos municípios para os anos de 2008, que registraram o maior número de casos da doença, 2014, representando a média da incidência ao longo do período analisado, e 2020, com o menor número de casos notificados de LVH.

No mapa temático (Figura 8) a seguir, será apresentada a elipse direcional da taxa de incidência por município da LVH nos anos 2008, 2014 e 2020 no Estado de São Paulo.

Figura 8 - Elipse direcional da LVH no Estado de São Paulo (2007 a 2020)



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

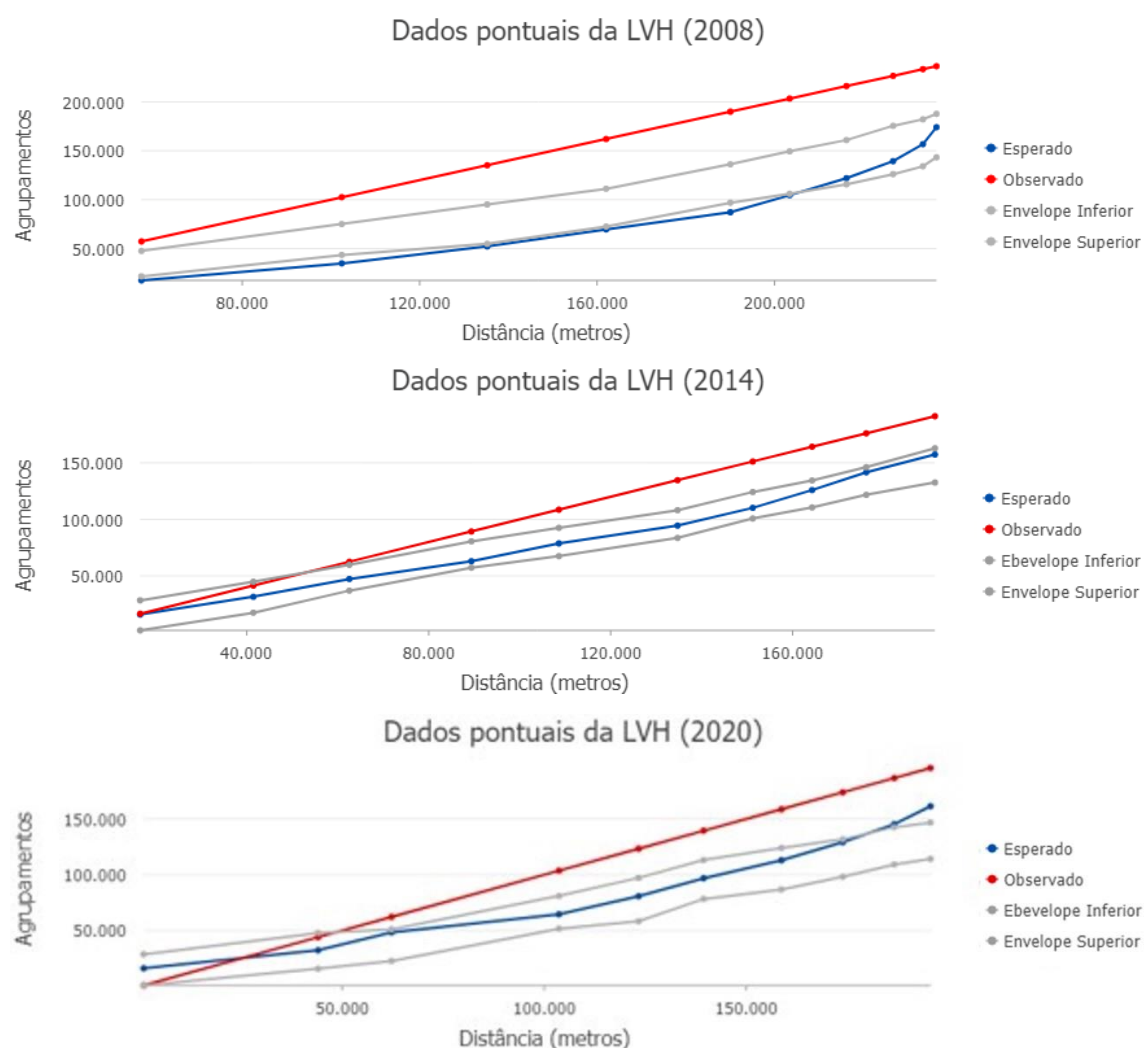
De acordo com o mapa (Figura 8), no ano de 2008, quando ocorreu o maior registro da doença, a elipse se concentrou sobre as microrregiões de Dracena e Adamantina, áreas que também apresentaram o agrupamento mais forte da doença. Em 2014, a elipse direcional expandiu em direção à Grande São Paulo, mostrando um grande aumento de casos notificados nessa região durante esse período. Já em 2020, a direção da LVH coincidiu com a de 2008, mas com um aumento no eixo menor da elipse, evidenciando a influência do crescimento de casos de LVH nas microrregiões de Andradina e Araçatuba

II Detecção de padrão espacial

Para analisar o padrão espacial dos dados da taxa de incidência da LVH no Estado de São Paulo, foi aplicado a função K de Ripley (Análise de Aglomerados Espaciais

Multidistância - Função K de Ripley). Essa análise foi realizada considerando-se as sedes municipais e excluindo-se os valores nulos nos anos em que houve mudanças significativas nos dados: 2008 (ano com o maior número notificado de casos de LVH), 2014 (próximo à média do período de 2007 a 2020) e 2020 (ano com o menor número de casos registrados). O gráfico resultante, com os valores obtidos da função K de Ripley, está disponível para análise na Figura 9 a seguir.

Figura 9 - Função K de Ripley: LVH São Paulo (2008, 2014 e 2020)



Fonte: ArcGIS PRO (Dados LVH)

A análise dos resultados obtidos para a função K de Ripley revela padrões significativos no agrupamento da leishmaniose visceral humana ao longo do tempo e em diferentes regiões geográficas de São Paulo.

No ano de 2008, observou-se consistentemente um agrupamento da doença, com uma concentração notável nas microrregiões de Dracena e Adamantina. Esse padrão sugere uma alta interação espacial entre os casos de leishmaniose visceral humana nessa área durante esse período.

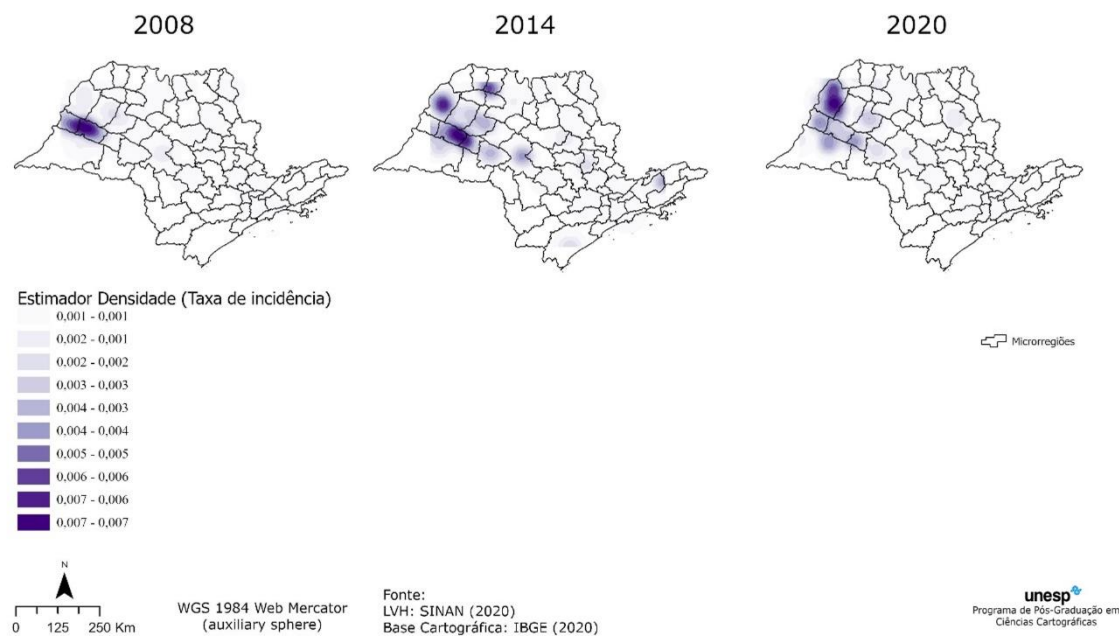
Entretanto, em 2014, houve uma mudança perceptível no padrão de agrupamento, agora considerando uma distância mais ampla de 60 km. Esse fenômeno indica uma possível influência dos casos notificados na região da Grande São Paulo, sugerindo uma propagação da doença para áreas mais distantes e uma provável interconexão entre os diferentes focos da enfermidade.

Já em 2020, o padrão de agrupamento da LVH se estreitou, apresentando-se mais concentrado em uma área próxima de 50 km. Durante esse período, a doença novamente demonstrou uma tendência de concentração, especialmente na região do oeste paulista, sugerindo uma possível intensificação ou foco renovado da enfermidade nessa área específica.

Essas variações temporais e geográficas nos padrões de agrupamento da LVH destacam a importância da vigilância epidemiológica contínua e da implementação de estratégias de controle adaptativas, considerando as dinâmicas espaciais e temporais da doença.

Considerando-se os resultados do gráfico da função K de Ripley, foi utilizado um raio de busca de 60 km para gerar o mapa de densidade e identificar os agrupamentos das taxas de incidência da LVH nos anos de 2008, 2014 e 2020. Além disso, foi gerado um mapa temático para análise dos resultados obtidos (Figura 10).

Figura 10 - Estimador de densidade Kernel: LVH (2008, 2014 e 2020)

Estado de São Paulo: LVH

Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Em 2008, observou-se um claro padrão de agrupamento da doença, especialmente nas microrregiões de Dracena e Adamantina, indicando uma forte interação espacial entre os casos. O raio de busca de 60 km revelou que os casos estavam intimamente concentrados dentro dessa distância, sugerindo uma propagação limitada da doença nesse período.

No entanto, em 2014, o padrão de agrupamento se expandiu consideravelmente, abrangendo uma área mais ampla dentro do raio de 60 km. Isso sugere uma disseminação da LVH para além das microrregiões originais, com uma influência significativa dos casos notificados na região da Grande São Paulo.

Em 2020, embora o padrão de agrupamento tenha se mantido, houve uma redução na área de concentração dentro do raio de 60 km. Os casos de LVH ainda estavam agrupados, principalmente na região do oeste paulista, sugerindo uma persistência ou concentração renovada da doença nessa área específica. A diminuição da área de agrupamento pode indicar uma possível estabilização ou focalização dos casos dentro dessa região.

Essa análise ressalta a importância de considerar não apenas a distribuição espacial dos casos de LVH ao longo do tempo, mas também a influência do raio de busca do Kernel na identificação de padrões de agrupamento.

III Índice de associação espacial global

Na Tabela 1 a seguir serão apresentados os resultados obtidos para o índice de associação espacial global de Moran (*Moran's I*) para compreender o padrão espacial da taxa de incidência da LVH no Estado de São Paulo entre os anos de 2007 e 2020.

Tabela 1 - Índice de Moran da taxa de incidência da LVH em SP (2007-2020)

Ano	z-score	p-valor	Índice de Moran	Padrão Espacial
2007	8,028	0,001	0,207	Agrupado
2008	8,780	0,001	0,249	Agrupado
2009	6,820	0,001	0,194	Agrupado
2010	3,430	0,002	0,081	Agrupado
2011	5,110	0,002	0,145	Agrupado
2012	1,700	0,080	0,042	Agrupado
2013	2,100	0,030	0,051	Agrupado
2014	1,200	0,027	0,028	Agrupado
2015	2,790	0,005	0,062	Agrupado
2016	2,450	0,004	0,064	Agrupado
2017	2,060	0,030	0,042	Agrupado
2018	6,010	0,001	0,168	Agrupado
2019	3,960	0,002	0,090	Agrupado
2020	3,740	0,002	0,102	Agrupado

Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Os resultados obtidos dos índices de Moran (Tabela 1) mostram que as taxas de incidências da LVH são agrupadas em todos os anos em que a doença foi analisada no Estado de São Paulo, mostrando um padrão de agrupamento espacial consistente. Esses resultados sugerem que os municípios com alta taxa de incidência da LVH são adjacentes ou próximos de municípios com valores altos da doença. Essa análise indica a presença de uma tendência ou padrão espacial da distribuição da LVH nos municípios do Estado de São Paulo entres os anos de 2007 e 2020.

O índice de Moran obtido para cada ano analisado dos dados LVH no Estado São Paulo mostra uma mudança de autocorrelação espacial nesse período. Nos anos de 2007, 2008, 2010, 2013 e 2014, a autocorrelação espacial foi mais forte. Já nos anos de 2019 e 2020, a autocorrelação foi mais fraca, e nos anos de 2011, 2012, 2015, 2016 e 2018, houve uma autocorrelação moderada.

Ao longo do período analisado, nota-se que a tendência temporal da LVH apresenta variações de acordo com os resultados obtidos no Índice de Moran (Tabela 1). Isso indica que a doença no Estado de São Paulo não é estática e apresenta flutuações no decorrer do tempo.

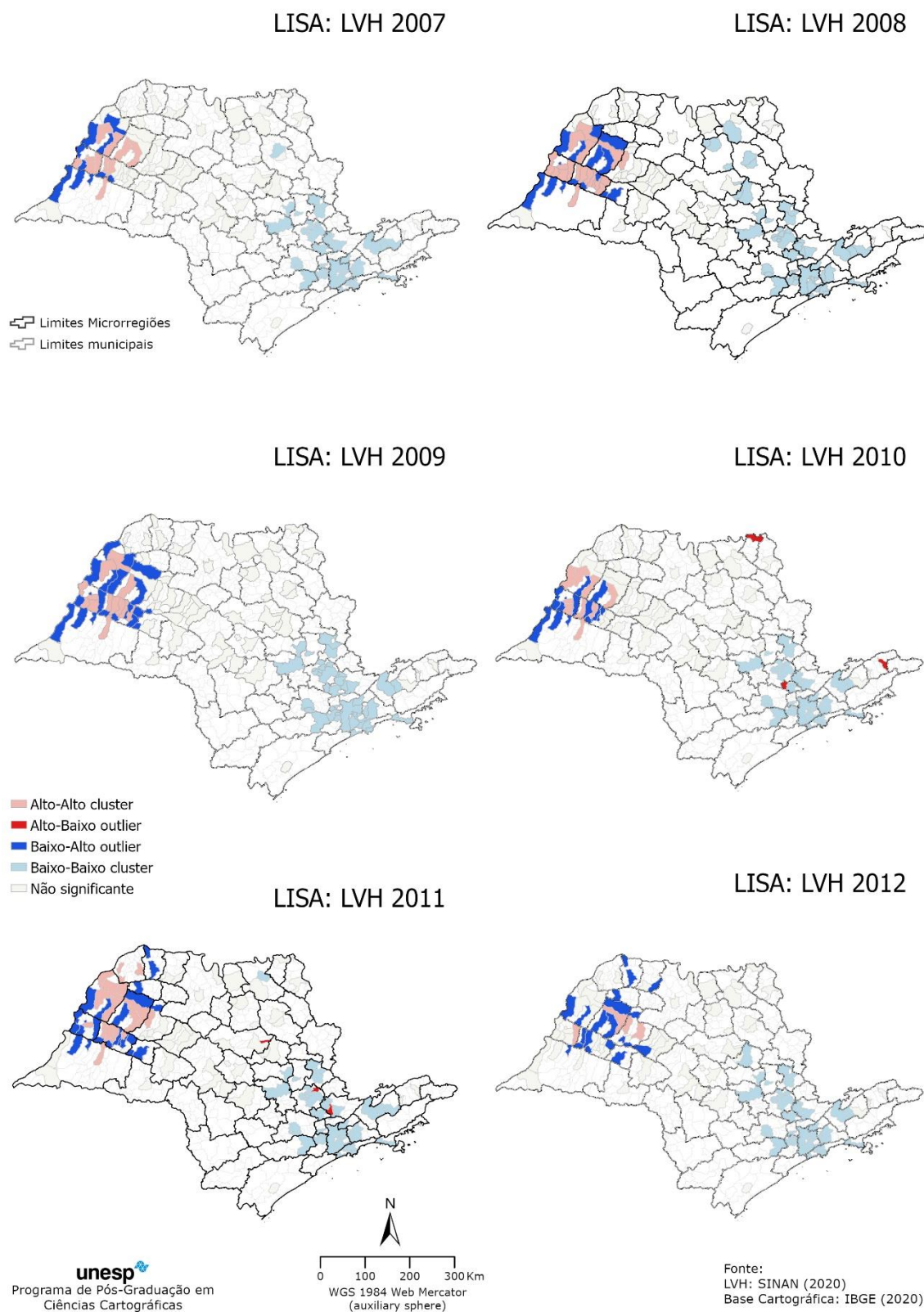
O fato de o Índice de Moran ser positivo nos anos de 2007 a 2020 mostra a presença de autocorrelação espacial da LVH nos municípios paulistas. Isso implica que as regiões que concentram autovalores de caso da doença tendem a ser agrupadas.

IV Índice de associação espacial local

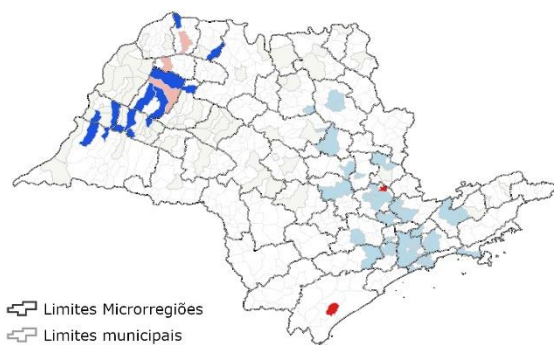
Todos os resultados obtidos para analisar o padrão espacial da taxa de incidência da LVH no Estado de São Paulo entre os anos de 2007 e 2020 apresentaram um valor para o conjunto de dados como um todo, ou seja, uma análise global. O Índice de Associação Espacial Local de Anselin (LISA) permite fazer uma interpretação mais detalhada da distribuição e do comportamento espacial da doença.

Para a aplicação do LISA, deve-se usar uma medida de vizinhança adequada. Considerando-se nesta pesquisa os dados da taxa de incidência da LVH, a vizinhança foi baseada em distância inversa. A distância inversa considera para as áreas mais próximas um peso maior nos cálculos, o que permite levantar padrões de disseminação das doenças em áreas geograficamente próximas. Os *clusters* identificados pela associação local de Anselin são estatisticamente significativos para um nível de confiança de 95%. Os resultados gerados pelo LISA serão apresentados nos mapas temáticos (Figura 11) a seguir.

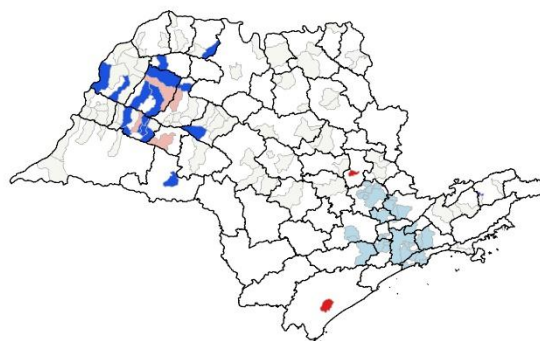
Figura 11 - Índice de Associação Espacial Local de Anselin: LVH São Paulo (2007-2020)



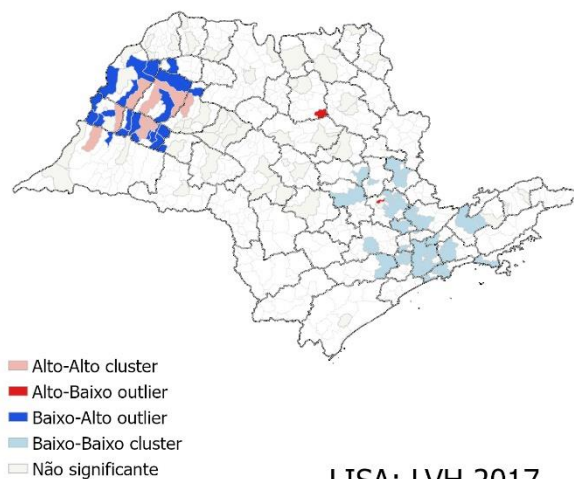
LISA: LVH 2013



LISA: LVH 2014



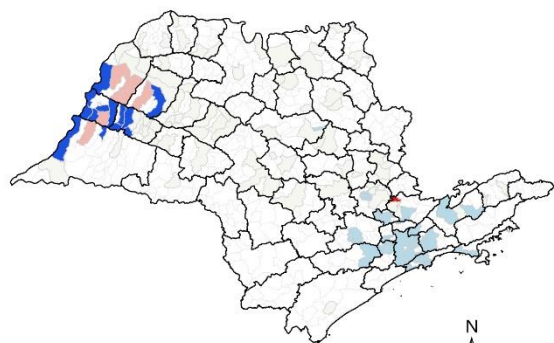
LISA: LVH 2015



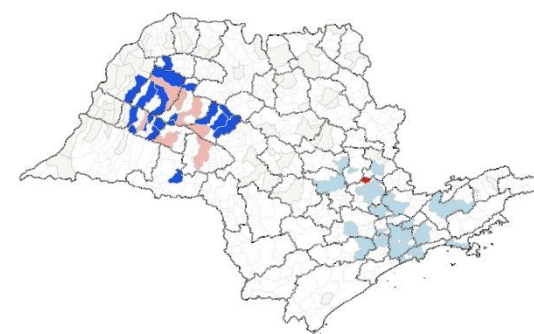
LISA: LVH 2016

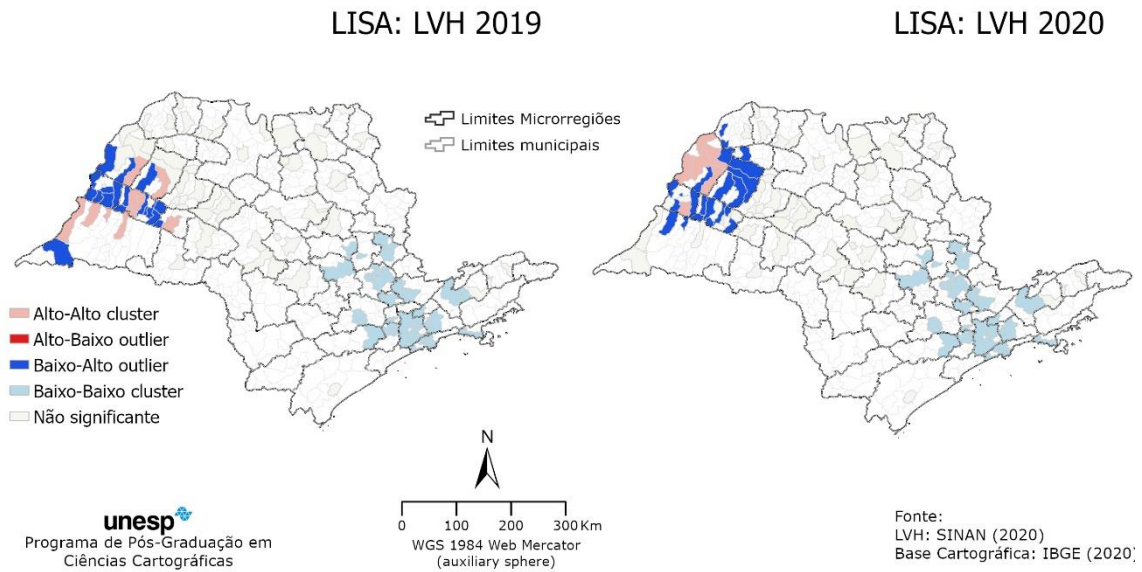


LISA: LVH 2017



LISA: LVH 2018





Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Os resultados da aplicação do LISA apresentados nos mapas temáticos (Figura 11) mostram que no período de 2007 a 2020 os dados da LVH nos municípios da região da Grande São Paulo apresentam baixo-baixo *cluster*, o que significa que os municípios adjacentes nessas áreas possuem baixa taxa de incidência da LVH. Nessa área também a distribuição da LVH nos municípios é mais homogênea, ou seja, não há muitos casos de *outliers*.

Já os municípios das regiões oeste e noroeste paulista apresentam alto-alto *cluster*, indicando um padrão agrupado nas cidades com altas taxas de incidência da doença. Essas regiões apresentam municípios com alto-baixo *outlier*, que são áreas com alta taxa de incidência com vizinhança que apresenta baixa taxa de incidência da LVH. Os *outlier* podem ser explicados, principalmente, pela ausência de registro da doença em alguns municípios.

Os resultados obtidos pelo LISA são condizentes com as outras análises espaciais, mostrando que a LVH apresenta um padrão espacial agrupado, e a disseminação da doença é mais densificada nas regiões oeste e noroeste paulista.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A LVH é uma doença extremamente grave e com alta taxa de mortalidade quando não tratada adequadamente, mas mesmo diante desse cenário, ela é classificada, de acordo com a OMS, como uma das doenças tropicais negligenciadas. No Brasil, a LVH é considerada endêmica desde 1998. Tendo em vista a situação e a seriedade da doença, foi sancionada a Lei nº 12.604, de 3 de abril de 2012 (Brasil, 2012), que tem o propósito de promover ações educativas e preventivas relacionadas à leishmaniose.

A geração de mapas temáticos através do uso de Sistema de Informação Geográfica (SIG) e com aplicações de técnicas de geoprocessamento permitiu fazer análises espaciais sobre a distribuição e aglomerados da LVH no Brasil, além de possibilitar levantar as áreas que apresentam maior risco e a tendência da doença.

Em São Paulo, no período de 2007 a 2020, as microrregiões que apresentaram maiores registros da doença foram Araçatuba, com 630 notificações de LVH, seguida das microrregiões de Presidente Prudente (541 casos) e Dracena (516 casos). Essas microrregiões ficam no oeste e noroeste paulista, além de ficarem próximas da divisa com o Estado do Mato Grosso do Sul.

As análises de eventos pontuais e por áreas da doença indicam que as regiões oeste e noroeste paulista são as que apresentam maiores agrupamentos. Os mapas temáticos e os resultados colaboraram para o entendimento da disseminação e distribuição espacial da LVH no Estado de São Paulo, deixando evidente a importância de estudos usando geoprocessamento e análises espaciais para apoio ao planejamento para ações na área da saúde.

É importante ressaltar que mesmo diante da gravidade que a LVH apresenta, ainda não existem protocolos de controles eficientes para diminuir ou cessar os casos de doença no Brasil, especialmente em regiões urbanas. Por isso, esta pesquisa é de extrema importância. As análises do espaço-temporal da distribuição espacial e aglomerados da LVH podem ser uma forma acessível e viável para ser usada por órgãos públicos no planejamento de políticas de controle do agravo da LVH no Brasil e promover ações mais eficazes na área da saúde pública.

As análises realizadas nesta pesquisa da distribuição espacial da leishmaniose visceral (LVH) no estado de São Paulo durante o período de 2007 a 2020 revelou uma concentração significativa da doença nas regiões noroeste e oeste paulista, com

evidências de autocorrelação espacial positiva ao longo desses anos. Destaca-se o ano de 2008, com o maior número de casos registrados, indicando um pico de incidência, enquanto em 2014 os registros se aproximaram da média do período analisado. Notavelmente, em 2020, houve uma diminuição nos casos registrados. Esses resultados enfatizam a persistência dos padrões geográficos da LVH ao longo do tempo e a importância de estratégias contínuas de controle e prevenção da doença nessas regiões, bem como a necessidade de investigar os fatores que contribuem para as variações temporais na incidência da LVH.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÂNTARA, E. MANTOVANI, J.; ROTTA, L.; PARK, E.; RODRIGUES, T.; CARVALHO, F. C.; SOUZA FILHO, C. R. Investigating spatiotemporal patterns of the COVID-19 in São Paulo State, Brazil. **Geospatial Health**. 2020.

ALENCAR, B. J. **A análise multivariada aplicada ao tratamento da informação espacial**: uma abordagem matemático-computacional em análise de agrupamentos e análise de componentes principais. 2009. Tese. (Doutorado) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, 2009.

ALENCAR, B. J.; BARROSO, L. C.; ABREU, J. F. Análise multivariada de dados no tratamento da informação espacial uma abordagem com a análise de agrupamentos. **Revista de Sistemas, Cibernética e Informática**. vol. 10 n° 2, Belo Horizonte, MG, 2013.

ALENCAR, J. E.; DIETZE, R. Leishmaniose visceral (Calazar). *In*: VERONESI, R. **Doenças infecciosas e parasitárias**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1991.

ALENCAR, J.; COSTA, M. F.; DE QUEIROZ, R. G. Ecology of phlebotomine sandflies (Diptera: Psychodidae) in Brazilian Atlantic Forest. **Insects**, 2013.

ANSELIN, L. Local indicators of spatial association - LISA. **Geog Anal** **27**. vol. 27 n° 2, Ohio State University, 1995.

AVELINO, S. G.; HIRAMOTO, R. M. A evolução da leishmaniose visceral no Estado de São Paulo, Brasil. *In*: **Anais da III Mostra dos Trabalhos de Conclusão de Curso da Especialização em Vigilância Laboratorial em Saúde Pública**. vol.3 n° 1, Jardim do Seridó, RN, 2022.

BRASIL. **Lei nº 12.604, de 3 de abril de 2012**. Institui o Código Civil. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 3 abr. 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112604.htm. Acesso em: 7 fev. 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Abordagens espaciais na saúde pública**: Série capacitação e atualização em geoprocessamento em Saúde. Brasília, 2006.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Leishmaniose Visceral**. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/l/leishmaniose-visceral>. Acesso em: 2 fev. 2022.

BRASIL.. **Manual de vigilância e controle da leishmaniose visceral**. Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Departamento de Vigilância Epidemiológica, 2014.

BRASIL. **Leishmaniose visceral**: casos confirmados notificados no sistema de informação de agravos de notificação – Brasil. 2021. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?sinanet/cnv/leishvbr.def>. Acesso em: 20 dez. 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância Epidemiológica. **Manual de vigilância e controle da leishmaniose visceral**. Brasília: Ministério da Saúde, 2014.

BRUNSDON, C.; FOTHERINGHAM, A. S.; CHARLTON, M. E. Geographically weighted regression: a method for exploring spatial nonstationarity. **Geographical analysis**. nº 4, vol. 28, Ohio State University, 1996.

CÂMARA, G.; CARVALHO, M. S.; CRUZ, O. G.; COREEA, V. Análise Espacial de Área. *In*: DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília: EMBRAPA, 2004.

CAMARGO-NEVES, V. L. F.; KATZ, G. Foco silencioso de leishmaniose visceral em área urbana. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**. vol. 39 nº 5, 2002.

CARDIM, M. F. M.; GUIRADO, M. M.; DIBO, M. R.; CHIARAVALLLOTI, N. F. Leishmaniose visceral no estado de São Paulo, Brasil: análise espacial e espaço-temporal. **Revista de Saúde Pública**. vol 50 nº 48, São Paulo, 2016.

CHANG, K.-T. **Introduction to Geographic Information Systems**. 5. ed. Boston: McGraw-Hill, 2010.

COSTA, C. H. N.; PEREIRA, H. F. Leishmaniose visceral no Brasil: quadro atual, desafios e perspectivas. **Revista Brasileira de Epidemiologia**. vol. 7 nº3, Belo Horizonte, MG. 2003.

DELMELLE, E. Point Pattern Analysis. *In*: **International Encyclopedia of Human Geography**. Elsevier. 2009.

DRUCK, S.; CARVALHO, M.S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.V.M. **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília, EMBRAPA, 2004.

DUARTE, M. I. S.; BADARÓ, R. S. Leishmaniose visceral: calazar. *In*: Focaccia, Roberto (ed). **Veronesi: tratado de infectologia**. 5.ed. São Paulo: Atheneu, 2015.

ESRI. Kernel Density. **Em ArcGIS Pro**. 2023. Disponível em: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/kernel-density.htm>. Acesso em: 27 nov. 2023.

ESRI. Cluster and Outlier Analysis (Anselin Local Moran's I). **Em ArcGIS Pro**. 2023. Disponível em: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/3.1/tool-reference/spatial-statistics/cluster-and-outlier-analysis-anselin-local-moran-s.htm>. Acesso em: 27 nov. 2024.

EVERITT, B. Cluster Analysis. **Heinemann Educational Books**, London, 1974.

FISCHER, M. M. Spatial Analysis in Geography. 2. ed. *In*: **International Encyclopedia of the social & Behavioral Sciences**. 2015.

GETIS, A.; ORD, J.K. The Analysis of Spatial Association by Use of Distance Statistics. *In: Geographical Analysis*. vol. 24 n°3, Ohio State University, 1992.

GONTIJO, C. M. F., & MELO, M. N. Leishmaniose visceral no Brasil: quadro atual, desafios e perspectivas. **Revista Brasileira de Epidemiologia**. 7(3), 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Banco de informações ambientais**. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br>. Acesso em: 15 fev. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Área Territorial**. 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15761-areas-dos-municipios.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 7 fev. 2022.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. Applied Multivariate Statistical Analysis. **Prentice Hall**, New Jersey, USA, 1998.

KILLICK-KENDRICK, R.; RIOUX, J. A. Mark-release-recapture of sand flies fed on leishmanial dogs: the natural life-cycle of *Leishmania infantum* in *Phlebotomus ariasi*. **Parasitologia**, v. 44, 2002. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12404811/>. Acesso em: 2 fev. 2022.

LAINSON R.; RYAN L, SHAW J. J. Infective stages of *Leishmania* in the sandfly vector and some observations on the mechanism of transmission. **Mem Inst Oswaldo Cruz**. vol 82 n°3, Yale University School of Medicine, 1987.

LEE, E. Statistics, Descriptive. *In: International Encyclopedia of Human Geography*. Elsevier Science, 2009.

LINDEN, R. Técnicas de Agrupamento. **Revista de Sistemas de Informação da FSMA**. n. 4, Macaé, Rio de Janeiro, 2009.

LU, Y. Spatial Clustering, Detection and Analysis of. *In: International Encyclopedia of Human Geography*. Elsevier Science, 2009.

MAIA-ELKHOURY, A. N.; ALVES, W. A.; SOUSA-GOMES, M. L.; SENA, J. M.; LUNA, E. A. Visceral leishmaniasis in Brazil: trends and challenges. **Cad. Saúde Pública**. vol. 24 n° 12, 2008.

MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de método de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: Ed. UFMG , 2005.

MITCHELL, ANDY. **The ESRI Guide to GIS Analysis**. v. 2. ESRI Press, 2005.

MORAN, P. A. P. Notes on continuous stochastic phenomena. **Biometrika**, vol. 34 n° 1, Oxford University Press, 1950.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE. **Leishmanioses**: informe epidemiológico das Américas. núm. 10, dez. 2021. Washington, D.C.: OPS; 2021. Disponível em: <https://iris.paho.org/handle/10665.2/51742>. Acesso em: 2 fev. 2022.

PACHECO, D. G. **Geografia da saúde**: distribuição espacial da leishmaniose visceral na área urbana do município de Virgem da Lapa, Minas Gerais. 2020. Dissertação (Mestrado Profissional em Saúde, Sociedade e Ambiente) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2020.

PAULA, E. M. N. de. **Distribuição espacial da leishmaniose visceral no Estado de São Paulo, Brasil, no período de 1970 a 2014**. 2016. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2016.

PENNA, H. A. Leishmaniose visceral no Brasil. **Brasil-Médico**, vol. 48, Rio de Janeiro, 1934.

RIBEIRO, M. A.; ALBUQUERQUE, I. M. N.; PAIVA, G. M.; VASCONCELOS, J. P. C.; ARAÚJO, M. A. V. F.; VASCONCELOS, M. I. O. Georreferenciamento: Ferramenta de análise do sistema de saúde de Sobral - Ceará. **SANARE**. vol. 13 n° 2, 2014.

SANTOS, M. S. B. D. **Leishmaniose Visceral Humana no município de São José de Ribamar, Maranhão**: uma análise espacial de 2007 a 2016. 2018. Dissertação (Mestrado) – Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, MA, 2018.

SILVA, J. J.; BRUNO; M. A. P.; SILVA, D. B. N. Pobreza multidimensional no Brasil: uma análise do período 2004-2015. **Brazilian Journal of Political Economy**. vol. 40 n° 1, 2020.

SNEATH, P. H. A.; SOKAL, R. R.; FREEMAN, W. H. Numerical Taxonomy – The Principles and Practice of Numerical Classification. **W. H. Freeman and Company**. vol. 24 n° 2, 1973.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Control of the Leishmaniasis. **WHO Technical Report**, 2010.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Data on leishmaniasis**. 2021. Disponível em: https://apps.who.int/neglected_diseases/ntddata/leishmaniasis/leishmaniasis.html. Acesso em: 2 mar. 2022.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Leishmaniasis fact sheet**. 2021. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/leishmaniasis>. Acesso em: 2 fev. 2022.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Leishmaniasis**. 2022. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/leishmaniasis>. Acesso em: 2 fev. 2022.