



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Instituto de Ciências Biológicas

Programa de Pós-Graduação em Parasitologia

**DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DOS MOSQUITOS *Aedes aegypti* E *Aedes albopictus*
(DIPTERA: CULICIDAE) E DA CIRCULAÇÃO DE ARBOVÍRUS NO CAMPUS PAMPULHA
DA UFMG.**

AGUSTIN HINOJOSA GAVILANES

BELO HORIZONTE, MG

JULHO, 2022

AGUSTIN HINOJOSA GAVILANES

**DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DOS MOSQUITOS *Aedes aegypti* E *Aedes albopictus*
(DIPTERA: CULICIDAE) E DA CIRCULAÇÃO DE ARBOVÍRUS NO CAMPUS PAMPULHA
DA UFMG**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Parasitologia do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito para a obtenção do título de Mestre em Parasitologia.

Área de concentração: Entomologia

Orientador: Prof. Dr. Álvaro Eduardo Eiras

Coorientador: Dr. Fabrício Thomaz de Oliveira Ker

BELO HORIZONTE, MG

JULHO, 2022

043 Gavilanes, Agustin Hinojosa.

Distribuição espaço-temporal dos mosquitos *Aedes aegypti* e *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) e da circulação de arbovírus no Campus Pampulha da UFMG [manuscrito] / Agustin Hinojosa Gavilanes. – 2022.

95 f. : il. ; 29,5 cm.

Orientador: Prof. Dr. Álvaro Eduardo Eiras. Coorientador: Dr. Fabrício Thomaz de Oliveira Ker.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Parasitologia.

1. Parasitologia. 2. *Aedes*. 3. Zika virus. 4. Dengue. 5. Análise Espaço-Temporal. 6. Controle de Vetores. I. Eiras, Álvaro Eduardo. II. Ker, Fabrício Thomaz de Oliveira. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Biológicas. IV. Título.

CDU: 576.88/.89



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PARASITOLGIA

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

AGUSTIN HINOJOSA GAVILANES - 437/2022/06

ENTRADA 1º/2020 - MATRICULA: 2020655432

Às **14:00** horas do dia **quatro de agosto de 2022**, no ICB - Bloco E3/Sala 164, realizou-se a sessão pública para a defesa da Dissertação de **Agustin Hinojosa Gavilanes**. A presidência da sessão coube ao **Professor Álvaro Eduardo Eiras**, orientador. Inicialmente, o presidente fez a apresentação da Comissão Examinadora constituída pelos doutores: **David Soeiro Barbosa**, UFMG, **Maria Helena Franco Morais**, PBH, **Fabricio Thomaz de Oliveira**, UFMG, coorientador e **Álvaro Eduardo Eirasa**, UFMG, orientador. Em seguida, o candidato fez a apresentação do trabalho que constitui sua **Dissertação de Mestrado**, intitulada: "**Distribuição Espaço-temporal dos Mosquitos *Aedes Aegypti* e *Aedes Albopictus* (diptera: Culicidae) e da Circulação de Arbovírusno Campus Pampulha da UFMG**", área de concentração: **Entomologia**. Seguiu-se a arguição pelos examinadores e logo após, a Comissão reuniu-se, sem a presença do candidato e do público e decidiu considerar **aprovada** a **Dissertação de Mestrado**. O resultado final foi comunicado publicamente ao candidato pelo presidente da Comissão. Nada mais havendo a tratar, o presidente encerrou a sessão e lavrou a presente ata que, depois de lida, se aprovada, será assinada pela Comissão Examinadora.

Belo Horizonte, 04 de agosto de 2022.

Assinatura dos membros da banca examinadora:



Documento assinado eletronicamente por **Alvaro Eduardo Eiras, Professor do Magistério Superior**, em 05/08/2022, às 17:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **David Soeiro Barbosa, Professor do Magistério Superior**, em 05/08/2022, às 18:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Maria Helena Franco Morais, Usuário Externo**, em 05/08/2022, às 21:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#)



Documento assinado eletronicamente por **Fabricio Thomaz de Oliveira Ker, Usuário Externo**, em 08/08/2022, às 09:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1604443** e o código CRC **132459E6**.

Referência: Processo nº 23072.242022/2022-11

SEI nº 1604443

“Dedico este trabalho ao meu tio Santiago, ao meu pai, a minha mãe e a Jojô.”

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Brasil, País que escolhi para seu meu, e ao povo brasileiro que ultimamente vem sofrendo tão constantemente e que financiou minha educação, estes dados e a estrutura para desenvolver este projeto. Espero que este projeto retribua o esforço, especialmente dos mais pobres, mesmo que um pouquinho.

Agradeço aos meus pais, Adrian e Alejita, sem os quais nada disso seria possível. Pelo carinho, confiança, amor e sacrifício. E meu irmão Camilito, toda minha família que mora aqui e além da cordilheira, que apesar da distância, jamais deixaram de torcer por mim.

A minha companheira Jojo, que embarcou no curso do PPG de Parasito comigo, e deixou este caminho muito mais suave e feliz. E que sem o seu toque de meiguice e insubstituível afeto, de imenso amor e carinho, este trabalho não teria tido o mesmo sabor e motivação.

Ao Prof. Álvaro Eiras, meu orientador, agradeço a oportunidade de trabalhar com estes dados fantásticos. Mas além disso, gostaria de agradecer imensamente pelo caminho que me ofereceu quando a pandemia começou, e que tem se tornado tão agradável de aprender. E finalmente pelo tempo dedicado a este trabalho, seja em reuniões, correções e conversas. Obrigado.

Ao Fabrício Ker, meu coorientador, que de maneira muito amigável dedicou todo este tempo para ensinar, corrigir e guiar no estudo/ferramentas do geoprocessamento, sem os quais este trabalho definitivamente não seria o mesmo.

A Elis por ter dedicado tempo para revisão deste trabalho, especialmente durante a pandemia e na época que era apenas um projeto.

Aos meus colegas de laboratório (e ex), e em especial aos do projeto de monitoramento e da virologia, que sem eles estes dados e a qualidade deles não seria a mesma.

A Hil, que se tornou quase irmã, primeiramente pela generosidade de dividir tão carinhosamente este projeto, que também é dela, e por toda a amizade incrível que você proporciona.

E aos meus demais amigos, que trazem sempre alegria e brilho a minha vida, obrigado!

“... naquele império, a arte da cartografia logrou tal perfeição que o mapa de uma única província ocupava toda uma cidade, e o mapa do império, toda uma província. Com o tempo, esses mapas desmedidos não satisfizeram mais e os colégios de cartógrafos levantaram um mapa do império, que tinha o tamanho do império e coincidia pontualmente com ele. Menos dedicadas ao estudo da cartografia, as gerações seguintes entenderam que esse dilatado mapa era inútil e não sem impiedade o entregaram às inclemências do sol e dos invernos. Nos desertos do oeste perduram despedaçadas ruínas do mapa, habitadas por animais e por mendigos; em todo o país não há outra relíquia das disciplinas geográficas.”

Jorge Luis Borges, Do rigor na ciência, 1946.

RESUMO

O monitoramento de mosquitos adultos de *Aedes aegypti* é componente importante da vigilância epidemiológica e, recentemente, a distribuição espaço-temporal de populações de vetores tem sido relevante para direcionamento de práticas de controle vetorial e a redução do risco de transmissão de arbovírus (Dengue, Zika vírus e Chikungunya). A presença de *Ae. aegypti* e transmissão de Dengue e Zika vírus no Campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais (CP-UFMG) tem preocupado a comunidade acadêmica. Durante 2017-2020 foi conduzido o projeto de “Monitoramento e Controle do *Aedes*”, através do uso da armadilha GAT e do sistema MI-Aedes, visando direcionar práticas de controle e de prevenção. Os dados dos índices entomológicos foram avaliados, porém é necessário desenvolver estudos de dispersão espacial de *Ae. aegypti* e *Aedes albopictus* e da circulação de arbovírus no CP-UFMG para priorizar as áreas para controle vetorial. Este trabalho se objetivou a descrever e analisar os padrões espaciais e temporais dos dados do monitoramento de *Ae. aegypti* e *Ae. albopictus* e da circulação viral de ZIKV e DENV no CP-UFMG. Dados do sistema MI-Aedes/Vírus de 2018-2020 do CP-UFMG contendo os índices entomológicos e de análise molecular para detecção de arbovírus foram organizados e inseridos no *software* ArcGIS para geoprocessamento e realização de análises espaciais. Inicialmente foi realizado o descritivo espacial dos dados, via mapa de pontos e análise de densidade de Kernel e posteriormente verificou-se a autocorrelação espacial através da análise do Índice de Moran, enquanto para verificar abundância vetorial/mosquitos infectados no CP-UFMG foi realizado Krigagem e Cokrigagem Ordinárias. Foram analisados o total de 22.913 mosquitos capturados, no qual 22.467 (98%) *Ae. aegypti* e 446 (2%) *Ae. albopictus*. Foi observado que a abundância de mosquitos variou sazonalmente, com maior abundância na época de chuvas (setembro a janeiro) e com menor na época seca (maio-agosto). Em 2019, foi detectado *Ae. aegypti* infectados por DENV-2 no CP-UFMG nos mesmos meses em que aumentou o número de casos de dengue na Região da Pampulha, a mesma região do estudo, e em Belo Horizonte. Foi detectado também *Ae. aegypti* infectados com ZIKV em durante 2018-2020 e *Ae. albopictus* em 2018. A formação de zonas de alta/intermediária densidade ocorreu majoritariamente nos edifícios da Escola de Veterinária (EV), Escola de Belas Artes (EBA) e Instituto de Ciências Biológicas (ICB), e em período chuva e com maior número de mosquitos, foi registrado a formação de zonas de intermediária densidade Escola de Engenharia (ENG). Já para *Ae. albopictus*, a região com maior

densidade/abundância de mosquitos foi o ICB. Foi registrado que *Ae. aegypti* é mais abundante que *Ae. albopictus* (Análise de Kernel/Krigagem Ordinária). Em relação aos mosquitos *Ae. aegypti* e *Ae. albopictus* infectados por arbovírus, foi observado que o ICB apresentou maior densidade de mosquitos infectados por DENV-2, enquanto na EV e na EBA houve maior densidade de mosquitos infectados por ZIKV. Embora estes locais apresentem alta densidade de mosquitos, a autocorrelação espacial, correlação espacial estatisticamente detectável entre as quadras dos edifícios do CP-UFMG, foi detectada somente para *Ae. aegypti* e DENV-2, sendo o primeiro o único a formar conglomerados espaciais (*clusters*, Alto-Alto) na região da EBA. Verificou-se que a distribuição espacial de *Ae. aegypti* e *Ae. albopictus* infectados com DENV-2 e ZIKV foi heterogênea em áreas de alta infestação e com conglomerados espaciais. Portanto, a análise espacial integrada ao monitoramento pode identificar áreas prioritárias para as atividades de prevenção, controle vetorial e reduzir o potencial risco de transmissão de arboviroses à população.

Palavras-chave: Análise espaço-temporal, Distribuição vetorial, *Aedes aegypti*, *Ae. albopictus*, ZIKV, DENV-2.

ABSTRACT

Monitoring adult *Aedes aegypti* mosquitoes is an fundamental part of epidemiological surveillance and, recently, the spatio-temporal distribution of vector populations has been relevant for targeting vector control practices and reducing the risk of arbovirus transmission (Dengue, Zika virus and Chikungunya). The presence of *Ae. aegypti* and transmission of dengue and Zika virus on the Pampulha Campus of the Federal University of Minas Gerais (CP-UFMG) has worried the academic community. During 2017-2020, the “Aedes Monitoring and Control” project was executed, using the GAT trap and the MI-Aedes system, to direct control and prevention practices. Data from entomological indices were evaluated, but it was necessary develop studies of spatial dispersion of *Ae. aegypti* and *Aedes albopictus* and the circulation of arboviruses in CP-UFMG. This work describe and analyze the spatial and temporal patterns of *Ae. aegypti* and *Ae. albopictus* and the viral circulation of ZIKV and DENV in CP-UFMG. Data from the 2018-2020 MI-Aedes/Virus system of CP-UFMG containing entomological indices and molecular analysis for arbovirus detection were organized and entered into ArcGIS software for geoprocessing and spatial analysis. Initially, the spatial description of the data was carried out, via point map and Kernel density analysis, and later, the spatial autocorrelation was verified through the analysis of the Moran Index, while Kriging was performed to verify vector/infected mosquitoes abundance in the CP-UFMG. A total of 22,913 captured mosquitoes were analyzed, in which 22,467 (98%) *Ae. aegypti* and 446 (2%) *Ae. albopictus*. It was observed that the abundance of mosquitoes varied seasonally, with higher abundance in the rainy season (September to January) and lower in the dry season (May-August). In 2019, registered an increase in the number of *Ae. aegypti* infected by DENV-2 caught at CP-UFMG in the same months in which the number of dengue cases increased in the Pampulha Region, the same region as the study, and in Belo Horizonte. *Ae. aegypti* infected with ZIKV in during 2018-2020 and *Ae. albopictus* in 2018. The formation of high/intermediate density zones occurred mostly in the buildings of the Veterinary School (VS), School of Arts (SoA) and Institute of Biological Sciences (IBC), and in rainy periods and with a greater number of mosquitoes, the formation of zones of intermediate density Engineering School (ENG) was recorded. For *Ae. albopictus*, the region with the highest density/abundance of mosquitoes was the ICB. It was recorded that *Ae. aegypti* is more abundant than *Ae. albopictus* (Kernel Analysis/Ordinary Kriging). In relation to *Ae. aegypti* and *Ae. albopictus* infected by arbovirus, it was observed that the ICB had a higher density of mosquitoes infected by DENV-2, while in

VS and SoA there was a higher density of mosquitoes infected by ZIKV. Although these sites have a high density of mosquitoes, the spatial autocorrelation, a statistically detectable spatial correlation between the blocks of the CP-UFMG buildings, was detected only for *Ae. aegypti* and DENV-2, being the first the only one to form spatial cluster (High-High) in the SoA region. It was found that the spatial distribution of *Ae. aegypti* and *Ae. albopictus* infected with DENV-2 and ZIKV was heterogeneous in areas of high infestation and with spatial cluster. Therefore, spatial analysis integrated with monitoring can identify priority areas for prevention and vector control activities and reduce the potential risk of transmission of arboviruses to the population.

Key-words: Spatio-temporal analysis, Vector distribution, *Aedes aegypti*, *Ae. albopictus*, ZIKV, DENV-2.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Mapa de distribuição global de <i>Aedes aegypti</i> (A) e <i>Aedes albopictus</i> (B)..... | 19 |
| Figura 2: Estrutura da armadilha Gravid Aedes Trap e seus componentes (A) e vistoria da Gravid Aedes Trap (B)..... | 25 |
| Figura 3: Exemplo de mapa temático elaborado pelas plataformas Monitoramento Inteligente de Aedes e Monitoramento Inteligente de Vírus..... | 27 |
| Figura 4: Representação esquemática dos compartimentos da GAT..... | 34 |
| Figura 5: Mapa da distribuição das armadilhas nas áreas e subáreas no CP-UFMG, mapa referência para localização de quadras e edifícios no CP-UFMG e mapa de áreas florestadas. . | 38 |
| Figura 6: Comparação entre o número de armadilhas positivas para <i>Aedes aegypti</i> e <i>Aedes albopictus</i> e o armadilhas positivas com mosquitos infectados com arbovírus | 45 |
| Figura 7: Comparação entre o número de <i>Aedes aegypti</i> e <i>Aedes albopictus</i> capturados semanalmente, e a variação da precipitação..... | 47 |
| Figura 8: Comparação entre a o número de mosquitos coletados e o número de mosquitos infectados por arbovírus capturados..... | 48 |
| Figura 9: Comparação entre o número de mosquitos infectados por DENV-2 e ZIKV e o número de casos de dengue em Belo Horizonte, na Regional Pampulha e casos suspeitos de ZIKV..... | 49 |
| Figura 10: Comparação entre os mapas de densidade de Kernel para <i>Aedes aegypti</i> , <i>Aedes albopictus</i> , “Vetores” (somatória dos dados vetoriais), DENV-2, ZIKV e “Arbovírus” (somatória do número de mosquitos infectados por arbovírus)..... | 52 |
| Figura 11: Comparação entre o LISA encontrada para os dados de IMFAq de <i>Aedes aegypti</i> , <i>Aedes albopictus</i> , somatória do número de mosquitos coletados, mosquitos infectados por DENV-2, ZIKV e somatória do número de mosquitos infectados..... | 55 |
| Figura 12: Comparação entre o Índice de Moran mensal de <i>Aedes aegypti</i> e <i>Aedes albopictus</i> durante os meses avaliados. Variação da correlação espacial entre as duas espécies (Índice de Moran Bivariado)..... | 62 |
| Figura 13: Mapa de Krigagem Ordinária individual para os dados individuais de <i>Aedes aegypti</i> , <i>Aedes albopictus</i> , vetores, DENV-2, ZIKV e arbovírus..... | 67 |
| Figura 14: Cokrigagem ordinária para os dados totais de <i>Aedes aegypti</i> e <i>Aedes albopictus</i> ; <i>Aedes aegypti</i> e DENV-2; <i>Aedes aegypti</i> , <i>Aedes albopictus</i> e ZIKV..... | 68 |
| Figura 15: Razão de Kernel utilizando as densidades de <i>Aedes aegypti</i> e <i>Aedes albopictus</i> ; <i>Aedes aegypti</i> e DENV-2 e Vetores-Arbovírus | 70 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1: Distribuição de armadilhas GAT no Campus Pampulha da UFMG. | 34 |
|--|----|

Tabela 2: Índice de Moran Bivariado viral-entomológico. ZIKV corresponde aos resultados de 2018 e 2020, enquanto o restante dos resultados é correspondente a DENV-2. 63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC – Almojarifado Central

ADM 2 – Unidade Administrativa 2

ADM 3 – Unidade Administrativa 3

AICEX- Anexo do Instituto de Ciências Exatas

BC – Biblioteca Central

BIOT- Biotério

CAD 1 – Centro de Atividades Didáticas 1

CAD 2 – Centro de Atividades Didáticas 2

CAD 3 – Centro de Atividades Didáticas 3

CEU – Centro Esportivo Universitário

CM – Centro de Microscopia

CO – Canteiro de Obras

COLTEC – Colégio Técnico

CP – Centro Pedagógico

CP-UFMG – Campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais

CTE – Centro de Treinamento Esportivo

DAV – Departamento de Áreas Verdes

DGA – Departamento de Gestão Ambiental

DLO - Departamento de Logística Suprimentos Serviços Operacionais.

DPFP – Departamento de Planejamento Físico e Projetos

DQ – Departamento de Química

E. ENG – Estacionamento da Escola de Engenharia

E.E. – Estação Ecológica

EBA - Escola de Belas Artes

ECI – Escola de Ciência da Informação

EFFETO – Escola de Educação Física e Terapia Ocupacional

EM – Escola de Música

ENG – Escola de Engenharia

ESTF- Estufa

EV – Escola de Veterinária

FAE – Faculdade de Economia

FAE – Faculdade de Educação

FAFICH – Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas

FALE – Faculdade de Letras

FAR- Faculdade de Farmácia

FEE – Floresta Universitária

GAT – Gravid Aedes Trap

ICB – Instituto de Ciências Biológicas

ICEX – Instituto de Ciências Exatas

IGC – Instituto de Geociências

IM – Índice de Moran

IMFA – Índice Médio de Fêmeas de Aedes

IMFA_q - Índice Médio de Fêmeas de Aedes por Quadra

IMP – Imprensa

INOVA – Incubadora de Empresas da UFMG

LINTEC - Laboratório de Inovação Tecnológica em Controle de Vetores

LIRAA - Levantamento Rápido de Índices para *Aedes aegypti*

MI-Aedes/Vírus – Monitoramento Inteligente do Aedes/Vírus

MS – Ministério da Saúde

ODONTO - Faculdade de Odontologia

OMS – Organização Mundial de Saúde

PBH – Prefeitura de Belo Horizonte

PÇS – Praça de Serviços

PNCD – Programa Nacional de Combate da Dengue.

REI – Reitoria Universitária

RHD- Recursos Hídricos

RMBH – Região Metropolitana de Belo Horizonte

RU 1 – Restaurante Universitário

RU 2 – Restaurante Universitário 2

SE – Semana Epidemiológica

SIG/GIS – Sistema de Informação Geográfica/ *Geographic Information System*

TU – Teatro Universitário

UMEI – Unidade Municipal de Educação Infantil Alaide Lisboa

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 19 |
| 1.1. Aspectos gerais sobre <i>Aedes aegypti</i> e <i>Aegypti albopictus</i> | 19 |
| 1.2. Importância epidemiológica | 20 |
| 1.3. Dispersão vetorial | 21 |
| 1.4. Monitoramento vetorial | 22 |
| 1.5. Armadilhas para a captura de mosquitos adultos | 23 |
| 1.6. Gravid Aedes Trap (GAT) | 24 |
| 1.7. Monitoramento Inteligente de Aedes (MI-Aedes) e Monitoramento Inteligente de Vírus (MI-Vírus) | 25 |
| 1.8. Análises espaço-temporais para vetores e arbovírus | 28 |
| 1.9. Técnicas de análise espacial de insetos vetores e arbovírus | 30 |
| 2. JUSTIFICATIVA | 31 |
| 3. OBJETIVOS | 33 |
| 3.1. Objetivo Geral | 33 |
| 3.2. Objetivos Específicos | 33 |
| 4. METODOLOGIA | 33 |
| 4.1. Área de estudo | 33 |
| 4.2. Armadilha GAT | 33 |
| 4.3. Detecção de arbovírus em mosquitos capturados pela armadilha GAT | 38 |
| 4.4. Banco de dados entomológicos, mosquitos infectados e casos de arbovirose | 39 |
| 4.5. Análise descritiva | 40 |
| 4.6. Análise de densidade de Kernel | 40 |
| 4.7. Análise de Autocorrelação Espacial | 41 |
| 4.8. Análise de Krigagem | 43 |
| 4.9. Limitações metodológicas do estudo | 43 |
| 4.10. Comitê de Ética | 44 |
| 5. RESULTADOS | 44 |
| 5.1. Análise exploratória e estatística descritiva | 44 |
| 5.2. Descritivo espacial do vetor no Campus da Pampulha da UFMG | 50 |
| 5.3. Análise e Estatística Espacial | 53 |
| 5.3.1. Densidade de Kernel | 53 |
| 5.3.1.1 Kernel mensal e semanal | 56 |
| 5.3.2. Autocorrelação espacial | 58 |
| 5.3.3. Krigagem | 64 |

| | |
|--|-----------|
| 5.3.3.1. Krigagem Ordinária Individual..... | 64 |
| 5.3.3.2. Co-Krigagem..... | 67 |
| 5.3.4. Razão de Kernel | 69 |
| 6. DISCUSSÃO | 71 |
| 7. CONCLUSÃO | 81 |
| 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 82 |
| 9. REFERÊNCIAS | 84 |

1. INTRODUÇÃO

1.1. Aspectos gerais sobre *Aedes aegypti* e *Aedes albopictus*

Os mosquitos da espécie *Aedes aegypti* e *Aedes albopictus* são classificados como parte da ordem Diptera, família Culicidae e gênero *Aedes*. Ambas as espécies apresentam distribuição mundial, sendo *Ae. aegypti* com presença concentrada nas regiões tropicais e subtropicais (FORATTINI *et al.*, 2002., KRAEMER *et al.*, 2015), enquanto *Ae. albopictus* com concentração acentuada na Australásia e Oceania, conforme apresentado na Figura 1.

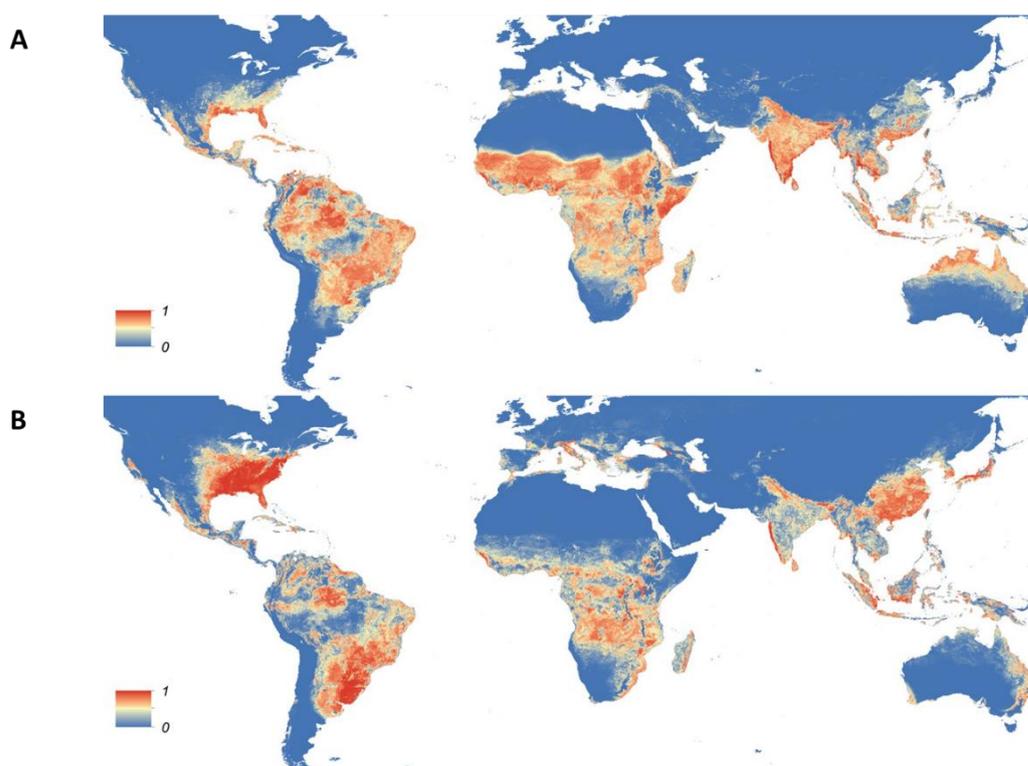


Figura 1: Mapa de distribuição global de *Aedes aegypti* (A) e *Aedes albopictus* (B), as regiões de maior concentração estão indicadas em cor avermelhada.

Fonte: KRAEMER, M. U. *et al.* The global distribution of the arbovirus vectors *Aedes aegypti* and *Ae. albopictus*. *eLife*, v. 4, p. e08347, 30 jun. 2015 – Figura 1 e 2 (A e B) (Editado).

A introdução do *Ae. aegypti* no Brasil ocorre em dois momentos, primeiramente durante o tráfico negreiro de pessoas escravizadas entre as costas africanas e brasileiras durante o período colonial, e depois no final dos anos 1960, com introdução também marítima e provavelmente na região nordeste. Atualmente o *Ae. aegypti* está presente em todo o território nacional (FORATTINI *et al.*, 2002; FIGUEIREDO *et al.*, 2010; BRAGA *et al.*, 2015; ZARA *et al.*, 2016; SOUZA-NETO *et al.*, 2018). A presença autóctone de

Ae. albopictus foi detectada em 1986 (FORATTINI *et al.*, 2002; FERREIRA-DE-LIMA *et al.*, 2018) e, em 2014, já estava presente em 24 dos 27 estados brasileiros (CARVALHO; LOURENÇO, 2014).

São espécies com ciclo de vida holometábolo composto pelos estágios de ovo, quatro estádios larvais, pupa e adulto (FORATTINI *et al.*, 2002; ANESHH *et al.*, 2017). As fases de larva e pupa são estritamente aquáticas e o estágio adulto terrestre, sendo a fase sexuada do ciclo de vida, tendo como principal objetivo a reprodução. Os adultos se alimentam de açúcares vegetais. Entretanto, as fêmeas requerem da ingestão sanguínea para desenvolvimento ovariano, denominado vitelogênese. Apesar conseguirem realizar repasto em outros vertebrados, os humanos são a fonte sanguínea mais procuradas, em particular por *Ae. aegypti* (FORATTINI *et al.*, 2002; LOURENÇO DE OLIVEIRA, 2015).

O *Ae. aegypti* apresenta alto grau de sinantropia, podendo desenvolver completamente o ciclo de vida em meio urbano e domiciliar, enquanto *Ae. albopictus* apresenta comportamento mais exofílico, vivendo no peridomicílio ou mesmo longe das casas, portanto, possui contato reduzido com humanos (FORATTINI *et al.*, 2002; LOURENÇO DE OLIVEIRA, 2015; FERREIRA-DE-LIMA *et al.*, 2018).

Para realizar a hematofagia em humanos, as fêmeas de ambas as espécies possuem diversos mecanismos fisiológicos, morfológicos e químicos para captar informações térmicas, visuais e odoríficas para direcionar o movimento em direção ao hospedeiro (PUTNAM E SCOTT *et al.*, 1995; TAKKEN *et al.*, 2013). Durante a hematofagia no humano ocorre o mecanismo de transmissão de arbovírus, fêmeas que apresentam carga viral nas glândulas salivares no momento da picada e acabam por inocular, junto a saliva, o arbovírus no humano (GLUBER *et al.*, 1998; LOURENÇO DE OLIVEIRA, 2015).

1.2.Importância epidemiológica

Entre os arbovírus transmitidos pelo *Ae. aegypti* e pelo *Ae. albopictus*, estão os vírus causadores da dengue e zika. O vírus DENV, agente etiológico causador da dengue, pertence à família Flaviridae, gênero Flavivirus e apresenta 4 sorotipos denominados DENV-1, DENV-2, DENV-3 e DENV-4. O espectro clínico da dengue engloba desde infecções assintomáticas e oligossomáticas, com poucas e leves manifestações clínicas, até quadros severos como a dengue hemorrágica e outros quadros clínicos associados a processos de reinfecção viral (CUNHA *et al.*, 1995; WHO, 2009). A presença

concomitante de diversos sorotipos virais em uma mesma localidade pode agravar o quadro epidemiológico local (HALSTEAD *et al.*, 1988; MANGOLD *et al.*, 2013).

O Zika vírus (ZIKV) também é um flavivírus com identificação das linhagens asiática no Brasil (FARIA *et al.*, 2016; CUGOLA *et al.*, 2016; GRUBAUGH *et al.*, 2018), causadora do surto de 2015, e, recentemente, da linhagem africana (KASPRZYKOWSKI *et al.*, 2020). A doença em geral é assintomática, porém, alguns quadros graves estão relacionados a alterações no desenvolvimento de recém-nascidos, como a microcefalia ou complicações neurológicas como a síndrome de Guillain-Barré (PLOURDE *et al.*, 2016; POSSAS *et al.*, 2017).

Ambas as arboviroses estão presentes no estado de Minas Gerais, onde foram registradas cinco grandes epidemias de dengue na última década (2010, 2013, 2015, 2016 e 2019), totalizando mais de 1,8 milhões de casos. As epidemias de Zika no estado ocorreram em 2016 e 2019, com cerca de 16 mil casos prováveis no total (MINAS GERAIS, 2015-2019). Em 2020, embora ocorreram notificações nas semanas epidemiológicas (SE) 7 e 11 superiores a dos anos 2015 e 2019, com o surgimento do quadro pandêmico do SARS-CoV-2, agente etiológico da Covid-19, houve queda nas notificações de dengue (BRASIL, 2020).

1.3. Dispersão vetorial

A dispersão dos mosquitos vetores é um fenômeno complexo que depende da variabilidade genética e a suscetibilidade viral, além de ser elemento chave para o entendimento dos padrões de presença vetorial (DAVID *et al.*, 2009). A dispersão de *Ae. aegypti* e *Ae. albopictus* é motivada, majoritariamente, pela busca pela alimentação e locais de reprodução, provocando o deslocamento das fêmeas, o qual é influenciado pelo regime de chuvas e secas, dado que a disponibilidade de potenciais criadouros é favorecida pela precipitação pluviométrica, enquanto a seca favorece a dispersão (LOURENÇO DE OLIVEIRA, 2015).

Aparentemente, fêmeas de *Ae. aegypti* tendem a se deslocar menos (~ 78 metros) quando existe a abundância de criadouros (AZIL *et al.*, 2014). Em regiões urbanas com presença de criadouros, o deslocamento médio das fêmeas foi de 288 metros (MACIEL DE FREITAS *et al.*, 2008). Porém a ausência de criadouros pode induzir ao deslocamento de 320 a 800 metros (HONÓRIO *et al.*, 2003; LIEW *et al.*, 2004).

A escolha do local de oviposição é direcionada por fatores físicos, como coloração e formato do recipiente de oviposição, e por fatores químicos, como a presença de matéria orgânica e liberação de voláteis do local (DAY *et al.*, 2016). A escolha do local ideal para a oviposição é de extrema relevância, pois abrigará os estágios imaturos, etapa mais vulnerável do ciclo de vida.

As fêmeas de *Ae. aegypti* apresentam alguns comportamentos específicos como o de “oviposição em saltos”, que consiste na distribuição de ovos por diversos criadouros, possivelmente aumentando a abrangência da presença vetorial (ABREU *et al.*, 2015; DAY *et al.*, 2016). Desta forma, a distribuição e dispersão vetorial não é homogênea, com locais com maior concentração populacional onde e quando há maior número de criadouros produtivos e contínuos associados à presença humana (LOURENÇO DE OLIVEIRA, 2015; DAY *et al.*, 2016). Locais com maiores concentrações de criadouros produtivos e perenes tem papel-chave na proliferação de vetores, visto que os mosquitos que dali emergem se dispersam para as regiões vizinhas.

1.4. Monitoramento vetorial

A distribuição dos mosquitos vetores é resultante do processo de dispersão que pode ser mensurada pelo monitoramento de fases imaturas (ovas, larvas e pupas) ou de adultos. Atualmente, o monitoramento entomológico é uma ferramenta importante para a redução do risco de transmissão de dengue e outras arbovirose (OMS, 2012). Essa etapa é fundamental para a obtenção de dados referentes à espécie, sexo, para avaliar a dinâmica populacional e indicar locais de concentração vetorial, além de constituir indicadores para aplicação e/ou avaliação da eficácia de medidas de controle (KALLURI *et al.*, 2007).

No Brasil, a realização de programas de monitoramento e controle vetorial são de atribuição municipal e estadual, cujos protocolos metodológicos seguem as Diretrizes Nacionais para a Prevenção e Controle de Epidemias da Dengue (DNPCE) (BRASIL, 2021). O monitoramento é realizado por meio da vistoria predial para realização de pesquisas entomológicas, que empregam procedimentos distintos para coleta de ovos, larvas, pupas ou adultos, além de verificar a presença de criadouros. A coleta vetorial permite elaborar índices entomológicos, que favorecem a classificação do imóvel. Atualmente a coleta entomológica de *Ae. aegypti* utiliza armadilhas para coleta de ovos e adultos, colocados de forma estratégica nos imóveis (BRASIL, 2021).

As armadilhas utilizadas para a captura de ovos são denominadas armadilhas de oviposição (*ovitrap/ovitrapas*) e a captura larval é realizada mediante busca ativa de criadouros artificiais, utilizando puçás, conchas entomológicas e outras ferramentas (FOCKS *et al.*, 2003; BRASIL, 2021; DAY *et al.*, 2016; BARRERA *et al.*, 2022). Os dados gerados pela coleta de larvas são utilizados no Levantamento Rápido de Índices para *Aedes aegypti* (LIRAA), que fornecem a porcentagem de imóveis positivos (Índice de Infestação Predial (IIP)) em uma determinada região, identificando os principais tipos de criadores e sendo utilizado como instrumento para avaliação das medidas de controle, porém não é usado para desencadear o controle do vetor (BRASIL, 2013).

1.5. Armadilhas para a captura de mosquitos adultos

A captura de adultos de *Ae. aegypti*, diferentemente da captura de outros estágios, fornece dados mais aproximados da população de mosquitos na área, pois os outros estágios são impactados por diversos fatores, como a oviposição em saltos e a mortalidade larval, que afetam o número de futuros adultos, diminuindo a precisão e aumentando a dificuldade de relacionar índices larvais ou de coleta de ovos com o tamanho real da população de adultos (BESERRA *et al.*, 2006; DAY *et al.*, 2016).

Armadilhas entomológicas são definidas pela OMS como “estruturas ou artefatos que permitem a entrada de vetores, possibilitando o contato que resulta na captura, morte ou esterilização” (OMS, 2018). As armadilhas utilizadas no monitoramento de populações adultas de *Ae. aegypti* incorporam em sua estrutura diversos elementos que promovem a atração, como vapor d’água, calor, estímulos olfatórios e visuais. Além disso, podem ser classificadas como ativas, utilizando eletricidade para acionar mecanismos de sucção do fluxo de ar para captura de mosquitos, e passivas, aquelas que não utilizam eletricidade e nem requerem mecanismos de sucção (SILVER, 2008; HOEL *et al.*, 2009; BARRERA *et al.*, 2022).

Atualmente existe muita variedade de armadilhas disponíveis comercialmente, com diferentes níveis de desempenho, como a BG-Sentinel (BGS-BioGents), CDC-Trap (CDC-USA), Mosquito Magnet Trap (MMT- USA) e BG-GAT (BioGents). A BGS é uma armadilha ativa, classificada como padrão ouro, e usa energia elétrica, capaz de mimetizar as correntes de suor liberadas pelo corpo humano para atrair as fêmeas de mosquito, com eficiência reconhecida por diversos trabalhos de amostragem, monitoramento e controle de populações de *Aedes* sp., sendo inclusive utilizada em

alguns programas de monitoramento (ROSE *et al.*, 2006; BARRERA *et al.*, 2014; ENGLBRECHT *et al.*, 2015; DEGENER *et al.*, 2015; LI Y. *et al.*, 2016; EIRAS *et al.*, 2018; EMCA, 2021). A CDC-Trap é outra armadilha ativa que usa energia elétrica, entretanto requer do uso de dióxido de carbono para ter desempenho satisfatório na captura de mosquitos, embora não seja específica para a captura do *Ae. aegypti*, e é utilizada em alguns programas de monitoramento de culicídeos de hábitos noturnos (LÜHKEN *et al.*, 2014; EMCA, 2021). Em função da diversidade de armadilhas, a escolha deve considerar diversos fatores como custo, facilidade de uso e performance (CODEÇO *ET. AL.*, 2015).

No Brasil, os custos operacionais, laborais e metodológicos, impedem o uso de armadilhas como a BGS ou CDC-Trap em programas de monitoramento, de forma que se faz necessário o uso de outras armadilhas. O uso de armadilhas específicas para captura de grávidas de *Ae. aegypti*, que sejam independentes do uso de energia elétrica, de fácil manuseio e menor custo promoveu o desenvolvimento e avaliação de novas armadilhas Autocidal Gravid Ovitrap (CDC-AGO) em Porto Rico (E.U.A) (BARRERA *et al.*, 2014), na Austrália a Gravid Aedes Trap (EIRAS *et al.*, 2014) e no Brasil a Adultrap (GOMES *et al.*, 2002) e MosquiTrap (EIRAS & RESENDE, 2009).

A eficiência entre essas armadilhas foi avaliada por trabalhos realizados recentemente no Brasil (DENEGER *et al.*, 2015, CAMÂRA *et al.*, 2022), que compararam a Mosquitrap e Adultrap, respectivamente, com a BGS e verificaram que ambas as armadilhas são menos efetivas para a coleta de *Ae. aegypti* que a BGS. A Mosquitrap e Adultrap também foram comparadas com armadilhas de oviposição (RESENDE *et al.*, 2013; LEANDRO *et al.*, 2020, CODEÇO *et al.*, 2015), e embora a sensibilidade para detecção do *Ae. aegypti* seja inferior as armadilhas de oviposição, a confiabilidade da estimativa de abundância de adultos obtida a partir da contagem de ovos é baixa (CODEÇO *et al.*, 2015).

1.6. Gravid Aedes Trap (GAT)

A GAT é uma armadilha passiva, de fácil instalação e manuseio, desenhada para capturar grávidas de *Ae. aegypti*, mas também capaz de capturar fêmeas de *Ae. albopictus* (EIRAS *et al.*, 2014; Ritchie *et al.*, 2014; CILEK *et al.*, 2017). A captura do vetor não danifica a estrutura morfológica permitindo a identificação e manipulação em campo e a detecção de mosquito infectados por arbovírus (DENG-2-3 e ZIKV) (EIRAS *et al.*, 2018).

A GAT apresenta um formato cilíndrico, conforme apresentado na figura 2, e é composta por: (I) base preta em formato de balde; (II) tela divisora de cor preta; (III) câmara translúcida; (IV) funil de entrada de cor preta e (V) tampa perfurada (Eiras *et al.*, 2014).

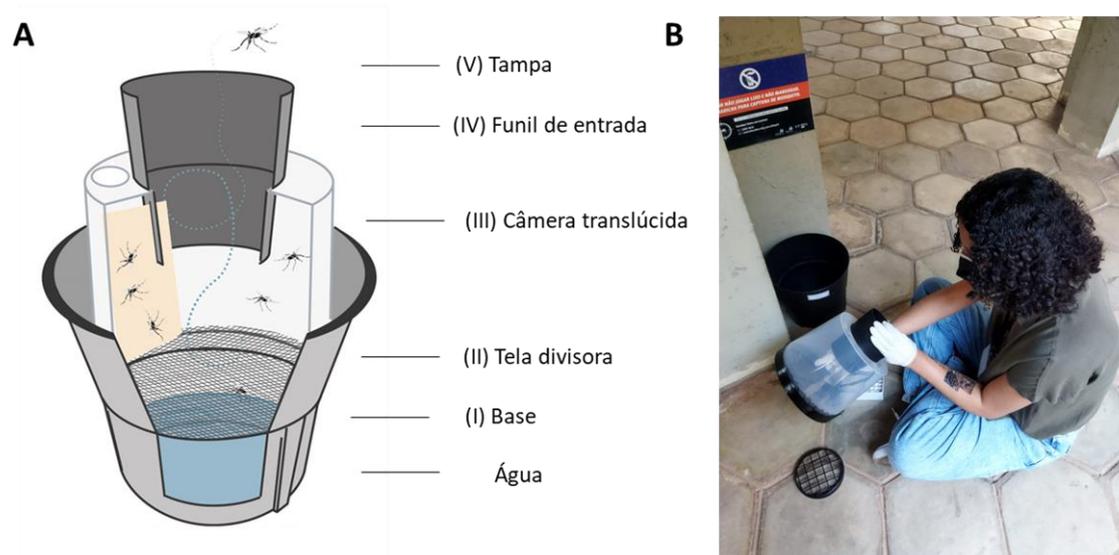


Figura 2: Estrutura da armadilha Gravid Aedes Trap e seus componentes (A) e vistoria da Gravid Aedes Trap (B).

Fonte: BioGents (Disponível em: <https://us.biogents.com/wp-content/uploads/BG-GAT-cross-section-principle-of-function-675x1024.jpg> (Editado)) (A); Imagem fornecida pelo autor (B).

A efetividade da GAT para captura de fêmeas de *Ae. aegypti* foi confirmada em diversos estudos (EIRAS *et al.*, 2018; HARWOOD *et al.*, 2017; EIRAS *et al.* 2021) e o seu desempenho foi superior quando comparada a outros modelos de armadilhas para grávidas de *Aedes*, como a Mosquitrap Sticky-ovitrap (RITCHIE *et al.*, 2014). No entanto, a GAT apresentou menor taxa de captura quando comparada a CDC-Trap (CILEK *et al.*, 2017) e a BGS. Porém o número de fêmeas de *Ae. aegypti* coletadas quando comparada a BGS foi significativamente maior (RITCHIE *et al.*, 2014). A capacidade da GAT para detectar a presença de *Ae. albopictus* similar a BGS também foi confirmada por Johnson e colaboradores (2016).

1.7. Monitoramento Inteligente de Aedes (MI-Aedes) e Monitoramento Inteligente de Vírus (MI-Vírus)

Na vigilância entomológica, o registro de dados deve ser simples e contínuo, garantindo o fluxo de informação durante o período de aplicação do monitoramento e de atividade dos vetores (GOMES *et al.*, 2002). Ultimamente tem aumentado o uso de sistemas de informação geográfica (SIG/GIS), ferramentas automatizadas capazes de

registrar, armazenar, apresentar e analisar dados espaciais, especialmente em estudos epidemiológicos, possibilitando a perspectiva espacial sobre diversas doenças (EISEN *et al.*, 2011; CHANDA *et al.*, 2012; EIRAS *et al.*, 2019). A integração entre monitoramento, uso de armadilhas e ferramentas de georreferenciamento tem surgido como importante método integrado de direcionamento de práticas de controle via sinalização dos locais de maior concentração populacional de vetores (REGIS *et al.*, 2008; EIRAS *et al.*, 2009; FLACIO *et al.*, 2015; EIRAS *et al.*, 2018).

O Monitoramento Inteligente do Aedes (MI-Aedes®, Ecovec/Rentokill) é um sistema inovador e foi classificado em 2006 como uma das cinco melhores tecnologias de saúde do mundo em benefício da humanidade (UFMG, 2006). Esse sistema utiliza os dados de campo fornecidos pelas armadilhas e um sistema de informação geográfica (GIS) para registrar e mapear, em tempo real, a distribuição vetorial (EIRAS & CARVALHO, 2009; EIRAS *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2021).

O MI-Aedes consegue representar o cenário local em forma de mapa temático, em que são apresentadas a distribuição das armadilhas georreferenciadas e o número de fêmeas capturadas por armadilha. O número de mosquitos capturados é ranqueado e indicado por cores (cinza: sem captura; verde: 1 mosquito coletado; amarelo: 2 mosquitos capturados; vermelha: 3 ou mais mosquitos capturados) e em um único mapa é possível visualizar todos os pontos de captura, com suas respectivas colorações, distinguindo as regiões com maior taxa de captura entomológica e, conseqüentemente, maior densidade vetorial. Além dos mapas, a plataforma também armazena e tabela as informações entomológicas, como número de mosquitos coletados por semana epidemiológica, sexo e espécie, atuando como um banco de dados (EIRAS E RESENDE, 2009; SANAVRIA *et al.*, 2017; EIRAS *et al.*, 2019).

O sistema MI-Aedes também fornece informações da circulação de arbovírus entre os mosquitos de uma determinada região da área de monitoramento. Os mosquitos capturados são submetidos a testes moleculares, como *Reverse Transcription Quantitative Real-Time PCR* (RT-qPCR), e as informações de mosquitos infectados são inseridas no MI-Vírus, plataforma integrada ao sistema MI-Aedes em que são inseridos o local de detecção viral, data da captura dos espécimes infectados e a identificação dos arbovírus (p.e: DENV1-4, CHIKV e ZIKV) (SANAVRIA *et al.*, 2017; EIRAS *et al.*, 2019). Dessa forma, os dados sobre os arbovírus identificados nos mosquitos infectados serão representadas nos mapas temáticos, possibilitando a visualização não apenas da

situação entomológica local, mas também da circulação viral, demonstrando regiões de maior potencial de transmissão de arbovírus como mostra a figura 3.

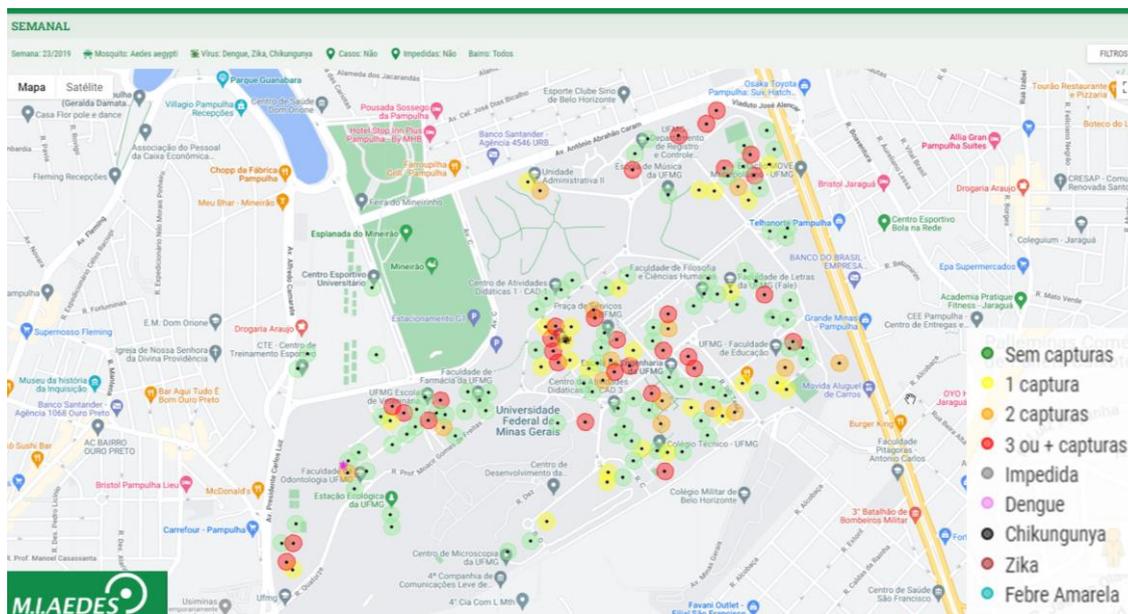


Figura 3: Exemplo de mapa temático elaborado pelas plataformas Monitoramento Inteligente de Aedes e Monitoramento Inteligente de Vírus. Círculos coloridos representam os números de mosquitos capturados pelas armadilhas georreferenciadas (verde: sem captura; amarelo: 1 mosquito capturado; laranja: 2 mosquitos capturados; vermelho: 3 ou mais mosquitos capturados) e o círculo rosa representa a positividade viral nos mosquitos capturados, no caso para DENV-all, enquanto de outras cores refere-se a outros arbovírus (Eiras et al., 2019)

Fonte: Ecovec (Adaptado), Semana Epidemiológica 23 de 2017, Campus Pampulha da UFMG.

O uso do MI-Aedes em regiões urbanas foi avaliado 21 cidades, do estado de Minas Gerais, que usam o sistema MI-Aedes para mapeamento da população de *Ae. aegypti* e posterior direcionamento de práticas de controle (PEPIN et al., 2013). Os resultados deste trabalho indicam que o uso da ferramenta para o direcionamento das atividades de controle resultou na prevenção de, no mínimo 27 mil casos de dengue e economia de recursos financeiros superior a 7 milhões de dólares (custos diretos e indiretos).

Alguns estudos relacionaram o mapeamento entomológico e viral (mosquitos infectados), com auxílio da ferramenta MI-Aedes/Vírus, e verificaram que a presença viral está espacialmente e temporalmente associada a elevação no número de mosquitos, indicando assim regiões de risco e de possível transmissão de arbovírus (PEPIN et al., 2013; PEPIN et al., 2015; SANAVIRA et al., 2017).

Recentemente, foi realizado o monitoramento vetorial do Campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais (CP-UFMG), devido a preocupação da comunidade acadêmica com o aumento de casos de arboviroses observado no CP-UFMG. Houve assim, a demanda pela Reitoria e Departamento de Gestão Ambiental da UFMG em solucionar e/ou amenizar o problema da presença do mosquito e arbovírus no Campus, através da implementação do projeto “Monitoramento e Controle de *Aedes aegypti* na UFMG”. O projeto foi conduzido em 2017-2020 e utilizou a armadilha GAT para coletar mosquitos e o sistema MI-Aedes para gerar mapas georrefenciados em tempo real da distribuição dos mosquitos vetores no campus. O resultado deste projeto registrou a captura e geolocalização de mais de 38 mil culicídeos no CP-UFMG, identificando quais edifícios do campus apresentam o maior número de mosquitos e, posteriormente, direcionou atividades de controle de larvas de mosquitos pela Gerencia Regional de Zoonoses da Pampulha, da prefeitura de Belo Horizonte e controle da população adulta de mosquitos, por meio do uso de inseticidas, remoção de criadouros, modificação predial (tamponamento de canos, bueiros e esgoto) e externa (manejo de córregos) (SILVA, 2021).

1.8. Análises espaço-temporais para vetores e arbovírus

Apesar da capacidade de mapeamento oferecida pelo MI-Aedes/Vírus, o entendimento da distribuição espacial de vetores e da variação populacional ao longo do tempo exige a aplicação de estudos mais aprofundados, com a realização de análises espaço-temporais.

Os estudos de análise espaço-temporal de eventos em saúde buscam identificar se a ocorrência das doenças é aleatória ou se apresenta padrões de distribuição. Atualmente, o enfoque é a detecção de conglomerados (*clusters*), que consistem na agregação no tempo e espaço de casos de um determinado evento de saúde (CDC, 1990; CAVALCANTE *et al.*, 2020). Para insetos vetores, essa categoria de análise busca entender como ocorre o surgimento e distribuição de conglomerados vetoriais em uma determinada localidade ao longo do tempo, pois consideram que cada local apresenta características climáticas, socioeconômicas e de urbanização próprias, que influenciam e condicionam a presença vetorial local (CARBAJO *et al.*, 2006; EISEN *et al.* 2009; HONORATO *et al.* 2010; CARVALHO *et al.* 2012; DUNCUMBE *et al.* 2013; ESPINOSA *et al.*, 2016; CAVALCANTE *et al.*, 2020).

Para *Ae. aegypti* e *Ae. albopictus*, o registro dos padrões espaciais de distribuição já foi realizado por alguns estudos. Vários utilizaram dados provenientes de monitoramentos vetoriais previamente realizados, os quais confirmam que o padrão de distribuição espacial de ambas as espécies é heterogêneo, com formação de áreas quentes (*hotspots*) e/ou conglomerados vetoriais em algumas regiões em detrimento de regiões de pouca densidade vetorial (*coldspots*), e identificando/selecionando quais locais deveriam ser priorizados durante as práticas de controle (SOUZA-SANTOS, 2000; LAGROTTA *et al.*, 2008; EISEN *et al.*, 2009; ALBIERI *et al.*, 2010; BARRERA *et al.*, 2011; CARVALHO *et al.*, 2012; MELO *et al.*, 2012; AZIL *et al.*, 2014; LACON *et al.* 2014; SANAVRIA *et al.* 2017; PORCASI *et al.*, 2019; ROWE *et al.*, 2020; SCHULTES *et al.* 2021).

A formação e surgimento de conglomerados vetoriais ocorre sazonalmente, com registro de aumento e/ou redução populacional ao longo do tempo, indicando que a distribuição temporal também é heterogênea (MELO *et al.*, 2012; CHIARAVALLOTI-NETO *et al.*, 2014; LACON *et al.*, 2014; BARBOSA *et al.*, 2014; PARRA *et al.*, 2018, PORCASI *et al.*, 2019). No Brasil, este aumento populacional de *Ae. aegypti* e *Ae. albopictus* possui correlação com a periodicidade das chuvas e de altas temperaturas do verão (EIRAS e RESENDE, 2009; CHIARAVALLOTI-NETO *et al.*, 2014; ESPINOSA *et al.* 2016; EIRAS *et al.*, 2018;). A identificação dos intervalos de pico populacional específicos de cada região associados à análise espacial corrobora para indicar quando e onde ocorrerá a formação de conglomerados populacionais, zonas de possível risco de transmissão de arbovírus.

A presença de arbovírus (casos de arbovirose e/ou mosquitos infectados) também tem sido enfoque de diversos estudos de análise espacial/espaço-temporal, os quais demonstram que existe correlação espacial e temporal positiva entre o aumento da população de mosquitos com o aumento no número de casos de arbovirose (CHIARAVALLOTI-NETO *et al.*, 2014; BARBOSA *et al.*, 2014; DOS SANTOS *et al.*, 2017; PARRA *et al.*, 2018; DE ALBUQUERQUE *et al.* 2018, CAVALCANTE *et al.* 2020).

Outro assunto abordado em algumas análises espaço-temporal é a presença simultânea de *Ae. aegypti* e *Ae. albopictus* em uma mesma localidade. Partindo da premissa que ambas as espécies compartilham e competem por diversos recursos, e procuram identificar como estas espécies se relacionam, se existe dominância por parte

de alguma espécie e determinar qual é a preferência espacial de cada uma. Alguns estudos demonstraram que ambas as espécies podem coexistir, porém, existe clara divisão espacial, com predomínio de *Ae. aegypti* em espaços urbanizados, enquanto *Ae. albopictus* é mais abundante em regiões periurbanas/florestadas (HONÓRIO *et al.*, 2009; DUCOMBE *et al.* 2013; WILKE *et al.* 2021). Este comportamento é registrado até mesmo em regiões de menor extensão, como demonstrado no parque Piqueri, localizado no centro da cidade de São Paulo (SP) (espaço florestado reduzido e em região urbana), no qual existe a preferência e maior densidade de *Ae. albopictus* na região central do parque (florestada), enquanto *Ae. aegypti* apresentou preferência e maior abundância na região periférica e mais próxima dos edifícios, avenidas e carros (urbanizada) (HEINISCH *et al.*, 2019).

1.9. Técnicas de análise espacial de insetos vetores e arbovírus

A análise espacial é comumente utilizada por meio de ferramentas e metodologias que permitam associar espacialmente os diferentes dados. Existem diversas técnicas de análise espacial que podem ser utilizadas para analisar espacialmente a distribuição de insetos vetores e arbovírus.

A detecção de locais de maior densidade populacional pode ser avaliada através da elaboração de descritivos explanatórios, como por exemplo, mapas coropléticos e mapas de pontos. Os mapas coropléticos são superfícies (mapas) constituídos por polígonos e que evidenciam a proporcionalidade dos dados representados, enquanto mapas de pontos utilizam a coloração dos pontos para evidenciar contrastes entre os dados presentes (DELMELLE, 2016, VASCONCELOS E PINHO, 2017; ACHARYA *et al.*, 2018). Já a análise de densidade de Kernel, um tipo de análise espacial, diferentemente dos mapas coropléticos, calcula a densidade dos pontos (onde cada ponto corresponde a um dado georreferenciado) e gera superfícies (mapas) que evidenciam áreas de maior densidade de pontos. No caso de insetos vetores e arbovírus, a maioria dos estudos utilizam estas técnicas para contrastar localizações, através da comparação do número de mosquitos coletados ou número de casos de arboviroses (DELMELLE, 2016; CARVALHO *et al.*, 2012; SHABBIR *et al.*, 2020)

A autocorrelação espacial e detecção de conglomerados espaciais podem ser mensurados e avaliados mediante a aplicação de diversas técnicas geoestatísticas, por exemplo, o Índice de Moran, que permite avaliar e identificar quais dados espaciais

apresentam autocorrelação positiva ou negativa. Em cenários de autocorrelação espacial positiva é possível verificar a existência de autocorrelação espacial local, através da detecção de conglomerados espaciais. O uso destas técnicas em análise espacial para vetores e arbovírus é bem documentado, verificando estatisticamente quais regiões possuem conglomerados vetoriais, conglomerados virais e se/onde existe correlação entre eles (CHIARAVALLOTTI-NETO *et al.*, 2014; SCHULTES *et al* 2021).

Já a Krigagem, procedimento geoestatístico avançado, é utilizado como método de interpolação de dados espaciais para geração de superfícies (mapas) de distribuição espacial. Diferentemente de outras técnicas de interpolação de dados, a Krigagem inclui na análise a predição de dados espaciais, isto é, os mapas gerados abrangem e estimam valores para pontos sem informação prévia, baseado em dados espaciais próximos. Este aspecto é importante para o estudo de análise espacial de vetores e arbovírus, pois é oneroso e difícil obter dados de toda a área de estudo/região de monitoramento. Assim, nos estudos de análise espacial de vetores e/ou arbovírus, a Krigagem serviu como ferramenta para determinar a distribuição e abundância espacial de mosquitos vetores (DUNCOMBE *et al.*, 2013; TSAI *et al.*, 2018, PARRA *et al.*, 2018; DE AZEVEDO *et al.*, 2020)

Assim, o entendimento da relação espacial e temporal de vetores e arbovírus colabora para a identificação de locais chaves e, em vários casos com regiões com presença vetorial contínua, onde é fundamental a realização ações preventivas, campanhas educacionais e aplicação de medidas de controle, já que o direcionamento espacial e temporal destas atividades corrobora para a otimização de recursos financeiros e humanos e com a redução do risco de casos humanos.

2. JUSTIFICATIVA

O monitoramento de vetores adultos como *Ae. aegypti* e *Ae. albopictus* é um componente importante da vigilância epidemiológica e, recentemente, a análise espaço-temporal da distribuição de populações de vetores tem sido relevante para direcionamento de práticas de controle vetorial.

O Ministério da Saúde, através das Diretrizes Nacionais para a Prevenção e Controle de Epidemias da Dengue (DNPCE), classifica alguns imóveis como “Pontos

Estratégicos” (PE). São imóveis onde há concentração de depósitos que servem de recipientes para desova da fêmea de *Ae. aegypti* e/ou locais vulneráveis a introdução do vetor (BRASIL, 2021). Em virtude destas características, esses imóveis são locais de propagação vetorial e de risco de transmissão de arbovírus.

O CP-UFGM, localizado na cidade de Belo Horizonte (MG), é classificado como PE e apresenta circulação diária acima de 55 mil pessoas. A presença do vetor *Ae. aegypti* no CP-UFGM foi relatada pela primeira vez em 2002 (SILVA *et al.*, 2003) e em 2016, a confirmação de vetores infectados pelos arbovírus DENV-1, DENV-3 e ZIKV (EIRAS *et al.* 2018). Devido ao risco de transmissão desses arbovírus, estabeleceu-se um projeto de monitoramento de mosquitos transmissores de arbovírus fundamentado no uso do MI-Aedes e da armadilha GAT para a coleta de fêmeas de *Ae. aegypti* e da análise molecular para identificação de arbovírus em mosquitos capturados na armadilha GAT no CP-UFGM. O projeto foi desenvolvido em parceria com a Pro-Reitoria de Administração, o Departamento de Gestão Ambiental da UFGM, a Prefeitura de Belo Horizonte e o Laboratório de Inovação Tecnológica e Empreendedorismo no Controle de Vetores (LINTEC).

Os resultados preliminares identificaram a existência de padrão sazonal na variação da densidade populacional do *Ae. aegypti*, com aumento da abundância entre meses de setembro e janeiro e redução entre maio e agosto. As regiões de maior abundância, com os maiores indicadores entomológicos, estiveram localizadas na Escola de Veterinária. Observou-se também que, em 2019, em virtude das diversas atividades de controle realizadas no CP-UFGM e do monitoramento realizado pela GAT, houve redução significativa no tamanho (número de mosquitos) da população de *Ae. aegypti* no CP-UFGM (SILVA, 2021).

Portanto, a presente pesquisa faz parte do projeto de monitoramento de vetores do CP-UFGM, utilizando os dados obtidos pelo projeto para descrever e analisar os padrões espaciais e temporais de *Ae. aegypti* e *Ae. albopictus*, bem como da circulação de arbovírus no CP-UFGM, determinando as áreas de risco e sugerindo locais para medidas de prevenção e controle, assuntos que não foram abordados no trabalho de Silva (2021).

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo Geral

Descrever e analisar os padrões espaciais e temporais a partir de dados do monitoramento de *Ae. aegypti* e *Ae. albopictus* e da circulação viral de ZIKV e DENV no Campus Pampulha da UFMG entre 2018-2020, determinando as áreas de risco e sugerindo locais para aplicação de medidas de prevenção e controle.

3.2. Objetivos Específicos

3.2.1. Descrever a distribuição espacial e temporal de *Ae. aegypti*, *Ae. albopictus*, DENV-all e ZIKV.

3.2.2. Verificar a existência e a localização de conglomerados espaciais de *Ae. aegypti*, *Ae. albopictus*, DENV-all e ZIKV.

3.2.3. Determinar a densidade vetorial e viral no CP-UFMG;

3.2.4. Determinar as áreas de risco vetorial e de circulação de arboviroses; para aplicação de medidas de prevenção e controle

4. METODOLOGIA

4.1. Área de estudo

O estudo foi realizado no Campus da Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais (CP-UFMG), localizado na região da Pampulha, em Belo Horizonte (MG). O campus possui uma área 2,8 milhões m², com 38 edifícios cuja maioria são unidades acadêmicas da instituição. A área apresenta um fluxo diário superior a 55 mil pessoas provindas de toda a Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) (UFMG/PDIM,2018). O período do estudo ocorreu entre os anos de 2018 e 2020, sendo este último ano, foi avaliado apenas os três primeiros meses, durante o período das 1-11SE em decorrência da pandemia de COVID-19 e consequente interrupção das atividades de monitoramento (UFMG, 2020).

4.2. Armadilha GAT

A armadilha Gravid Aedes Trap (GAT) foi utilizada para a captura dos mosquitos durante a etapa de monitoramento no Campus Pampulha. No interior da armadilha foi

adicionado 1,5 L de água e 0,5 gramas do larvicida pyriproxyfen (Sumilarv®-EUA) para impedir o desenvolvimento de larvas no interior da GAT. Um atraente sintético, feito à base de voláteis extraídos do capim colômbio (*Panicum maximum*) foi colocado no interior da câmara translúcida (EIRAS E RESENDE, 2009) e substituído a cada 60 dias (EIRAS *et al.*, 2014; RITCHIE *et al.*, 2014; CILEK *et al.*, 2017), e uma tela impregnada com alfacipermatrina (4,8%) para abater os mosquitos atraídos para o interior da armadilha (HERINGER *et al.*, 2016). A representação esquemática das partes da GAT está disposta na Figura 4.

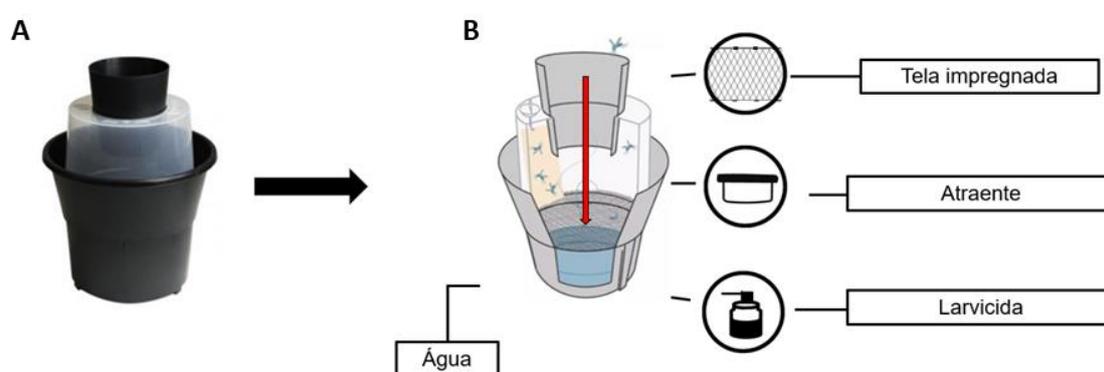


Figura 4: Representação esquemática dos compartimentos da GAT.

Fonte: Foto da GAT (Disponível em: <https://vet.ufmg.br/noticias/exibir/3206/?l=english> (A); BioGents (Disponível em: <https://us.biogents.com/wp-content/uploads/BG-GAT-cross-section-principle-of-function-675x1024.jpg> (Editado) (B)

No total foram instaladas 210 armadilhas no CP-UFMG (Tabela 1 e Figura 5), posicionadas em locais visíveis, fora do alcance da movimentação diária local, protegidos da chuva e do sol. Cada armadilha foi georreferenciada e demarcada com código individual (IDs) conforme a região e sub-região de instalação.

Tabela 1: Distribuição de armadilhas GAT no Campus Pampulha da UFMG.

| Área-Referência | Quadra | Ponto de referência (sigla) | Prédio | Número armadilhas | Porcentagem de armadilhas |
|-----------------|--------|-----------------------------|---|-------------------|---------------------------|
| A-EBA | 1 – 4 | EBA | <ul style="list-style-type: none"> Escola de Belas Artes Departamento de Gestão Ambiental Depart. Planeja. Físico e Projetos | 13 | 6,2% |

| | | | | | |
|----------|---------|--------|---|----|------|
| | | | <ul style="list-style-type: none"> • Dep. Log. Sup e Serviços Oper. • Dep. Log. Sup e Serviços Oper. • Dep. De Areas Verdes • Teatro Universitário | | |
| | 5 – 6 | ADM 2 | <ul style="list-style-type: none"> • Unidade Administrativa 2; • Almoarifado Central; • Imprensa | 7 | 3% |
| | 7 | EM | <ul style="list-style-type: none"> • Escola de Música; • Canteiro de Obras | 3 | 1,5% |
| | 8 | ADM 3 | <ul style="list-style-type: none"> • Unidade Administrativa 3 | 2 | 1% |
| | 9 | UMEI | <ul style="list-style-type: none"> • UMEI | 5 | 2,4% |
| B-ENG | 10 – 12 | FAE | <ul style="list-style-type: none"> • Faculdade de Educação; • Restaurante Setorial 1; • Centro Pedagógico | 18 | 8,6% |
| | 13 – 16 | ENG | <ul style="list-style-type: none"> • Engenharia; • Estacionamento Engenharia; • Centro de Atividades Didáticas 3; • Instituto de Geociências | 25 | 12% |
| C-FAFICH | 17 – 19 | REI | <ul style="list-style-type: none"> • Reitoria; • Centro de Ativ. Didáticas 1; • Praça de Serviços; • Biblioteca Central | 14 | 6,7% |
| | 20 – 22 | FAFICH | <ul style="list-style-type: none"> • Faculdade de Ciências Econômicas; • Faculdade de Filosofia e Cie. Humanas; • Escola de Ciência da Informação; • Faculdade de Letras; • Centro de Atividades Didáticas 2 | 19 | 9% |
| D-ICEX | 23 – 25 | ICEX | <ul style="list-style-type: none"> • Instituto de Ciências Exatas; • INOVA; • COLTEC | 18 | 8,6% |
| | 26 – 27 | DQ | <ul style="list-style-type: none"> • Departamento de Química; • Recursos Hídricos; • Centro de Microscopia | 10 | 4,8% |
| | 28 | RU2 | <ul style="list-style-type: none"> • Restaurante Setorial 2; • Anexo ICEX | 6 | 2,9% |

| | | | | | |
|----------|---------|--------|--|----|-------|
| E-ICB | 30 – 31 | ICB | <ul style="list-style-type: none"> • Instituto de Ciências Biológicas; • Farmácia; Biotério; • Estufa | 22 | 10,5% |
| EF-EV | 32 | EV | <ul style="list-style-type: none"> • Escola de Veterinária | 19 | 9% |
| F-EFFETO | 33 – 34 | EFFETO | <ul style="list-style-type: none"> • Faculdade de Odontologia; • Escola de Ed. Fisic., Fisio e TO | 19 | 9% |
| | 35 | EE | <ul style="list-style-type: none"> • Estação Ecológica | 4 | 1,9% |
| | 36 | CEU | <ul style="list-style-type: none"> • Centro Esportivo Universitário; • Centro de Treinamento Esportivo | 6 | 2,9% |

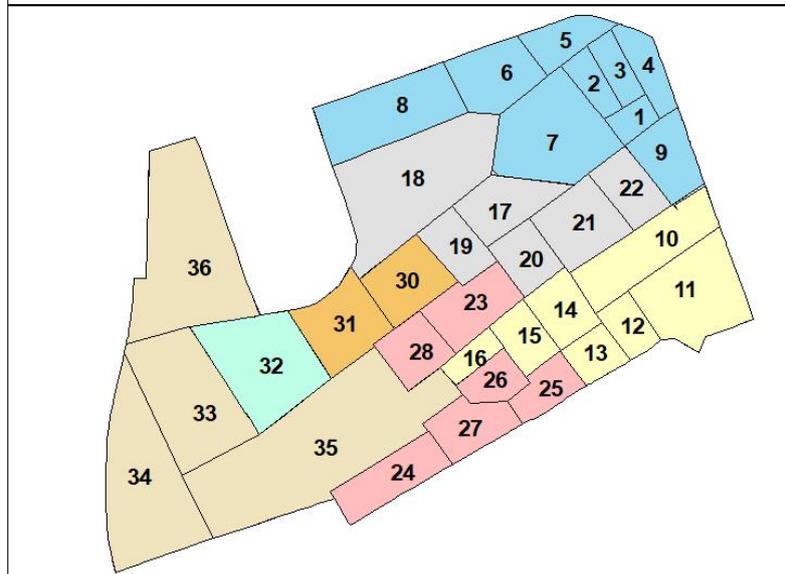


Figura 5: Mapa da distribuição das armadilhas nas áreas e subáreas no CP-UFMG (superior), mapa referência para localização de quadras e edifícios no CP-UFMG (meio) e mapa de áreas florestadas (inferior).

As instalações e vistorias foram realizadas por cinco alunos de iniciação científica, treinados para a identificação das espécies e sexo dos mosquitos capturados, além de realizarem a manutenção e limpeza das armadilhas. As vistorias foram realizadas semanalmente, conforme o calendário epidemiológico do Ministério da Saúde (SINAN, 2018-2020) no período de janeiro de 2018 a março de 2020. Durante as vistorias, as fêmeas de *Ae. aegypti* e *Ae. albopictus* foram coletadas e armazenadas em microtubos Eppendorfs de 1,5 ml contendo 140µL de guanidina para posterior análise molecular/viral.

4.3. Detecção de arbovírus em mosquitos capturados pela armadilha GAT

Os mosquitos coletados durante a etapa de monitoramento foram enviados ao Laboratório de Biologia Molecular do LINTEC para detecção de mosquito infectados por arbovírus. Os mosquitos foram agrupados em pools de, no máximo 30 mosquitos, conforme a quadra de origem, espécie e semana epidemiológica. Posteriormente, os pools foram macerados e centrifugados a 14.000 rpm (20.000 xg) e o sobrenadante foi utilizado para a extração do RNA via QIAamp® Viral RNA Mini Kit (Qiagen) e análise viral via Real Time-qPCR (BOOM, 1990, LEPARC-GOFFART, 2009; SANTIAGO, BALM, 2013, EIRAS, 2018).

Para a detecção da presença de Zika vírus (ZIKV) foi utilizada o Kit Power SYBR green RNAt0-Ct (Applied Biosystems), com volume final do mix 10 µL e concentração final dos primers à 300 nM. A detecção viral para DENV-all foi feita via SuperScript® III Platinum® One-Step Quantitative RT-PCR System (Life Technologies), com volume final foi de 12,5µL em concentrações de 160 nM (1,6 pmol/reacção) e 60 nM da Sonda usando TaqMan®.

Os primers e sondas utilizados para a detecção de todos os vírus DENV-all e ZIKV já descritos na literatura (LEPARC-GOFFART *et al.*, 2009; BALM *et al.*, 2012; SANTIAGO *et al.*, 2013). Para ambas as reacções virais, o RNA viral foi incluído como controle externo em todas as reacções de RT-qPCR. Para o RT-qPCR foram utilizadas reacções com ciclos de 50°C durante 15 min e 95°C durante 2 min, seguidos por 40 ciclos a 95°C por 15 segundos e a 60°C por 30 segundos via termociclador StepOne® System (Applied Biosystems®) e o software StepOne® v2.2.2 (Applied Biosystems).

4.4. Banco de dados entomológicos, mosquitos infectados e casos de arboviroses

Após a identificação dos mosquitos, foi feita a inserção individual dos dados entomológicos referentes a cada armadilha de forma direta no sistema MI-Aedes, possibilitando a geração de informação em tempo real. Os dados de detecção viral (DENV-all e ZIKV) obtidos após a análise molecular foram inseridos no sistema MI-Vírus por quadra, devido à limitação da aplicação de testes de detecção viral para cada mosquito capturado.

Os dados foram transportados da plataforma MI-Aedes e MI-Vírus no formato de planilhas eletrônicas e agrupados em uma única base de dados, utilizando o *software* Microsoft Excel 2016 (Office®) contendo as seguintes informações para cada ponto: identificação da armadilha (IDs), coordenada geográfica, quadra de origem, número de mosquitos coletados, data da coleta, espécie coletada (*Ae. aegypti* e *Ae. albopictus*), e tipo viral (DENV-all ou ZIKV).

As armadilhas que apresentaram período de monitoramento inferior a 80% do período do estudo, por motivos de remoção, danificação ou outros motivos, não foram consideradas para as análises espaço-temporal (APÊNDICE 1)

4.4.1. Índices entomológicos e virais:

Os dados entomológicos e virais foram, então, organizados por coordenada da armadilha, e totalizados em diferentes intervalos temporais (semana, mês, ano e total) e agregações espaciais (por ponto georreferenciado, por quadra e por área). Também foram elaborados os índices entomológicos: (a) Índice Médio de Fêmeas de Aedes (IMFA) e IMFAq (IMFA por quadra), através das equações abaixo (EIRAS & RESENDE, 2009; PARRA *et al.*, 2018; BJØRNSTAD *et al.*, 2018).

$$IMFA = (n \text{ de fêmeas capturadas}) / n \text{ de armadilhas vistoriadas}$$

$$IMFAq = (n \text{ de fêmeas capturadas por quadra}) / n \text{ de armadilhas vistoriadas por quadra}$$

Os dados referentes a mosquitos infectados também foram tabelados, apresentando a localização (geolocalização e quadra) das armadilhas positivas para arbovírus, número de mosquitos capturados, semana epidemiológica referente e qual arbovírus foi detectado.

4.4.2. Casos de Dengue e zika:

Os dados de casos de dengue e casos suspeitos de Zika vírus em Belo Horizonte e na Regional Pampulha foram extraídos dos boletins epidemiológicos, fornecidos pela Prefeitura de Belo Horizonte (Balanço Dengue 2018-2020/BELO HORIZONTE) e utilizados como referência de casos humanos na região do CP-UFMG. Como não há dados de casos humanos específicos da UFMG, entende-se que o aumento de vetores no campus poderia estar relacionado ao aumento de vetores nas regiões residenciais do entorno, e conseqüente aumento de casos nelas.

4.5. Análise descritiva

Para descrever a distribuição espacial dos vetores e arbovírus, realizou-se primeiramente a elaboração de tabelas e gráficos descritivos no *software* PRISMA GraphPad Prism versão 8.4.3 (San Diego, EUA). Posteriormente, gerou-se mapas descritivos de *Ae. aegypti*, *Ae. albopictus*, DENV-all e ZIKV. Os mapas descritivos da distribuição espacial e temporal dos vetores e arbovírus foram elaborados no formato de pontos, no qual cada ponto corresponde a uma armadilha.

Os mapas descritivos e as análises e estatísticas espaciais e temporais foram realizadas no *software* ArcMap 10.6.1 (ESRI, 2018), exceto para análise espacial bivariada, que foi realizada no *software* GeoDa 1.2 (Anselin and collaborators 2005, GPL license, USA 2022). Foi utilizado como sistema de coordenadas geográficas e DATUM o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas de 2000 (SIRGAS 2000) com o formato em metros de Universal Transverse Mercator (UTM) 23°Sul, correspondente à região Sudeste do Brasil (PDI/UFMG, 2018; PARRA *et al.*, 2018; DE AZEVEDO *et al.*, 2020; IBGE 2020).

O perímetro de cada área ou quadra ou unidade amostral foi desenhado a partir da sobreposição das imagens de satélite (World Boundaries and Places – ESRI/GIS User Community), utilizando como referência a divisão administrativa dos edifícios listados no PDI-2018, com alterações em algumas quadras para melhor distribuição das armadilhas (Apêndice 5).

4.6. Análise de densidade de Kernel

A técnica de análise espacial densidade de Kernel (ESRI, 2022a) foi utilizada para calcular a densidade vetorial e viral no CP-UFMG em diferentes períodos, com a

finalidade de identificar quando e onde ocorreram as zonas quentes e frias, ou seja, de alta ou baixa densidade vetorial e viral (SILVERMAN, 1998).

O raio de abrangência utilizado foi de 250 m, baseado em testes preliminares utilizando a semana de maior captura de *Ae. aegypti* (variável de maiores presença/números). Foram utilizados como referência estudos prévios do uso da GAT, que sinalizavam o potencial de captura da armadilha com raios entre 50-200 metros, e estudos de dispersão vetorial, onde tanto *Ae. aegypti* como *Ae. albopictus* apresentavam deslocamento dos vetores entre 100-600 metros em meio urbano (DE FREITAS *et al.*, 2009; BECKER *et al.*, 2017; WHO/2018). O raio foi ajustado de forma manter uma superfície contínua entre as armadilhas, evitando-se áreas sem cálculo entre elas.

Para os dados de mosquitos infectados por arbovírus totais realizou-se a equalização da população para 4,5% da população total, seguindo critérios previamente estabelecidos por Eiras e colaboradores (2018), no qual no CP-UFMG somente uma parcela dos mosquitos presentes em uma população são de fato suscetíveis a infecção viral.

A Razão de Kernel, utilizando as densidades de Kernel totais, foi realizada com a ferramenta Calculadora *Raster* (ESRI, 2022b), com o objetivo de verificar as regiões com similaridade entre as densidades observadas na técnica de densidade de Kernel.

4.7. Análise de Autocorrelação Espacial

Os mapas descritivos e as análises de densidade vetorial e de mosquitos infectados são importantes para pré-análise dos dados e determinação de zonas quentes, mas não permitem a verificação estatística da autocorrelação espacial. O Índice de Moran foi o teste geoestatístico utilizado para verificar a ocorrência de autocorrelação espacial entre as quadras, e identificar possíveis conglomerados de quadras com alta ou baixa abundância vetorial e/ou viral no CP-UFMG. Os conglomerados foram considerados significantes, ou seja, apresentaram autocorrelação espacial ($p < 0,05$) e se o padrão distribuição espacial existente é de conglomerado (Índice de Moran > 0) (ANSELIN, 1995; MITCHELL *et al.*, 2020).

Neste teste geoestatístico, foram utilizados como dados vetoriais os valores de IFMAq, baseado na análise de diferentes cenários e na busca por igualar o potencial de captura entre as quadras (APÊNDICE 11), e para as análises virais, utilizou-se o intervalo

temporal semanal e total, pois durante vários meses não ocorreu detecção viral no CP-UFMG.

Foram realizadas análises de autocorrelação espacial univariada e bivariada (correlação espacial entre duas variáveis). Primeiramente foi realizada a análise de autocorrelação espacial global (ESRI, 2022c; Anselin *et al.* 2005), para verificar se houve significância nos conglomerados observados na análise descritiva. Sendo significativa ($p < 0,05$), foi realizada a análise de autocorrelação espacial local ou *Local Indicators of Spatial Association* (LISA) (ESRI, 2022d; Anselin *et al.* 2005) para analisar e identificar os conglomerados e valores que diferem drasticamente do restante, mas são estatisticamente significativos (*outlier*) (LISA com $p < 0,05$).

Os parâmetros utilizados para análise de autocorrelação espacial foram: (I) *Contiguity Edges Corners*, como aspecto das relações espaciais e onde se avalia feições das quadras (polígonos) que dividem bordas; (II) método euclidiano utilizado para calcular a distância de cada quadra a quadra vizinha.

Os resultados do LISA podem ser enquadrados em quatro agrupamentos: (a) Alto-Alto (*clusters* positivos, correlação espacial positiva) quadras que apresentem valores de captura acima da média e seus vizinhos também; (b) Alto-Baixo (*outliers* positivos, correlação espacial negativa) quadras com valores acima da média, mas seus vizinhos apresentam valores abaixo da média; (c) Baixo-Alto (*outliers* negativos, correlação espacial negativa) quadras com valores abaixo da média, mas com vizinhos apresentando valores acima da média e (d) Baixo-Baixo (*clusters* negativos, correlação espacial positiva) quadras com valores abaixo da média com quadras vizinhas de igual baixo valor.

4.7.1. Análise espacial bivariada

Foi realizado a análise espacial bivariada através do teste geoestatístico Índice de Moran Global Bivariado, que permite a verificação de dependência espacial entre duas variáveis que compartilham o mesmo ponto (ANSELIN, 2006; QUEIROZ, 2021), neste caso, dados entomológicos e de mosquitos infectados. As análises bivariadas foram realizadas no *software* GeoDa 1.2 (Anselin and collaborators 2005, GPL license, USA 2022).

4.8. Análise de Krigagem

Além da identificação dos diversos conglomerados temporais, se fez necessário avaliar a interação espacial entre vetores e vírus, independente do raio de busca, identificando as áreas de abundância vetorial e viral, e as regiões que apresentam risco via concentração simultânea da presença vetorial-arboviral. Para isso, utilizou-se a análise de Krigagem e a Co-krigagem Ordinárias (ESRI, 2022e) como métodos de interpolação de dados para geração de mapas de distribuição da população do vetor e de mosquitos infectados, predizendo também a abundância em áreas de baixa cobertura pelas armadilhas. Estas técnicas têm como premissa básica a noção de dependência espacial, em que os dados espacialmente próximos tendem a ser mais similares do que aqueles espacialmente distantes (NIÑO *et al.*, 2011).

Preliminarmente, foi realizada Krigagem para cada variável de forma individual, e, posteriormente, foi realizada Co-krigagem para diferentes cenários, sempre com *Ae. aegypti* como variável principal e as demais como covariáveis: (I) *Ae. aegypti* e *Ae. albopictus*; (II) *Ae. aegypti* e arbovírus; (III) *Ae. albopictus* e arbovírus e (IV) *Ae. aegypti*, *Ae. albopictus* e arbovírus.

Em cada análise, o peso dos dados foi definido por semivariograma, utilizando a otimização do modelo via a técnica de *cross validation type* fornecido pelo próprio *software*. Além disso, os valores médios da análise foram ajustados manualmente para aproximação da curva de semivariograma, com modelo do tipo Stable e anisotropia negativa (APÊNDICE 10).

4.9. Limitações metodológicas do estudo

O presente trabalho apresentou algumas limitações técnicas para as análises espaço-temporais. A distribuição das armadilhas durante o projeto de monitoramento de vetores e detecção da circulação de arbovírus no CP-UFMG não foi inicialmente desenhada com a finalidade da realização de análises espaciais. A distância entre cada armadilha é irregular e alguns edifícios possuem um número maior de armadilhas que outros.

A realização do desenho das quadras apresenta limitações, pois apesar dos ajustes, existe diferença entre a extensão de cada quadra implicando em um índice de conectividade menor. Além disso, a distribuição das armadilhas não permitiu novos recortes espaciais para aumentar a conectividade.

Também é importante considerar a discrepância na captura de determinada espécie, que pode direcionar as análises para dados totais. Além disso, a realização de testes moleculares em cada mosquito coletado nas armadilhas tornaria o projeto extremamente oneroso, de forma que se equalizou a população de mosquitos infectados conforme previamente citado.

E é importante citar a impossibilidade de utilizar casos confirmados para Zika vírus, assim foi utilizado como parâmetro epidemiológico casos suspeitos para Zika vírus.

4.10. Comitê de Ética

O presente estudo incluiu apenas dados secundários, públicos e sem identificações individuais dos casos confirmados de dengue e de casos suspeitos de Zika vírus. Portanto, dispensa a aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa (CEP), conforme a Resolução do Conselho Nacional de Saúde (CNS) nº 466/2012, de 12 de dezembro de 2012 (CNS, 2012).

5. RESULTADOS

5.1. Análise exploratória e estatística descritiva

Do total de 210 armadilhas instaladas durante período de monitoramento, considerou-se 197 armadilhas, aquelas com constância superior ou igual a 80% durante o intervalo avaliado, para as análises do presente estudo. Considerando todo o tempo de estudo analisado, o mosquito *Ae. aegypti* foi capturado nas 100% (197) armadilhas, enquanto *Ae. albopictus* foi de 63% (Figura 6A).

Das 197 armadilhas analisadas e considerando todo o tempo de estudo analisado, 118 apresentaram positividade para detecção viral em 35 quadras, com 15% para DENV-2, 50% para ZIKV e 35% para ambos arbovírus (DENV-2 e ZIKV) (Figura 6B).

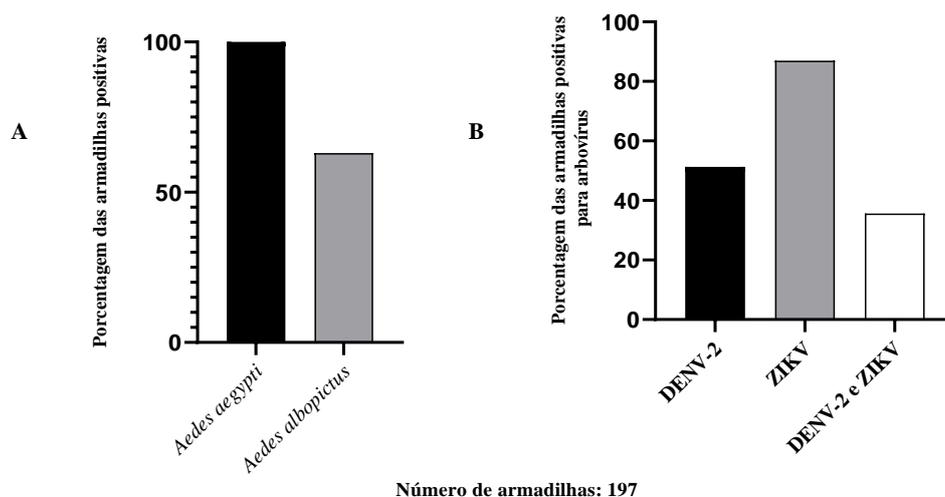


Figura 6: Comparação entre o número de armadilhas positivas para *Aedes aegypti* e *Aedes albopictus* (A) e o armadilhas positivas com mosquitos infectados com arbovírus (B).

Entre 2018 e 2020, registrou-se a coleta de 22.913 mosquitos, sendo 22.467 (91%) *Ae. aegypti* 1685 (6,85%) *Culex sp* e 446 (2%) *Ae. albopictus*. Os mosquitos do gênero *Culex* não foram utilizados nas análises do presente estudo. O total de mosquitos do gênero *Aedes* capturados nas armadilhas em 2018 (12.969) foi maior do que em 2019 (8.672) e em 2020 (891). Em 2020, o projeto foi interrompido na 11-SE devido a pandemia da COVID-19. Se considerarmos apenas as SE-1 a SE-11, observa-se o número de *Ae. aegypti* capturados em 2018-2019 foi similar, (2.892 e 2.876, respectivamente), porém ocorreu uma redução em 2020 (891). Já para *Ae. albopictus*, o número de mosquitos coletados foi maior em 2018, e similar entre 2019 e 2020.

Observou-se a captura dos mosquitos durante todas as semanas do estudo, com variação semanal do número de mosquitos coletados com maior incidência em períodos de chuvas (Figura 7). Ambas as espécies, *Ae. aegypti* e *Ae. albopictus*, registraram aumento no número de mosquitos capturados nas semanas epidemiológicas referentes aos meses iniciais (SE1-17) e finais (SE 35-52) para os anos de 2018 e 2019.

Para *Ae. aegypti*, é possível verificar que a captura de fêmeas ocorre em todas as semanas do ano, porém alguns meses registraram elevado número de mosquitos capturados, como por exemplo em janeiro (2018) que três semanas registraram coletas de 400 mosquitos ou mais (SE 01,03 e 04) correspondendo a 6,34% do número total de *Ae. aegypti* capturados no estudo (2018-2020). Foi observado em dezembro de 2018, duas semanas com coleta superior a 300 mosquitos (SE 51 e 52), sendo a primeira (SE 51, 633

mosquitos capturados) a semana em que foi capturado o maior número de mosquitos em todo o período analisado. Em 2019, não foi observado coletas superiores a 500 mosquitos e as maiores capturas ocorreram em janeiro (SE 03, 456 mosquitos) e fevereiro (SE 05, 442 mosquitos). Em fevereiro de 2020 foi observado o menor número de mosquitos capturados (SE 05, 45 mosquitos).

De maneira geral, o número de *Ae. albopictus* (Figura 7) coletados foi consideravelmente inferior ao observado para *Ae. aegypti*. As semanas de maior captura corresponderam aos meses de janeiro-abril (SE 01-17) e dezembro em 2018 (SE 48-52), janeiro-abril e novembro em 2019, e fevereiro-março (SE 9-11) em 2020. Estas semanas foram associadas a meses com maiores temperaturas e pluviosidades, enquanto nos meses de menor temperatura (julho e agosto) a captura foi reduzida ou nula. A semana de maior captura foi registrada no mês de março de 2018 (SE 10), com 19 *Ae. albopictus* capturados, enquanto não foi registrado captura da espécie em 39 semanas (33% do tempo analisado).

As maiores abundancias de mosquitos coletados foram observadas durante ou logo após os períodos de maior pluviosidade (Figura 7), no qual *Ae. albopictus* apresentou maior dependência do período de chuvas quando comparada a *Ae. aegypti*, já que não foi registrado captura da espécie durante no período de seca ou de menor precipitação pluviométrica, enquanto a captura de *Ae. aegypti* foi constante ao longo do período avaliado.

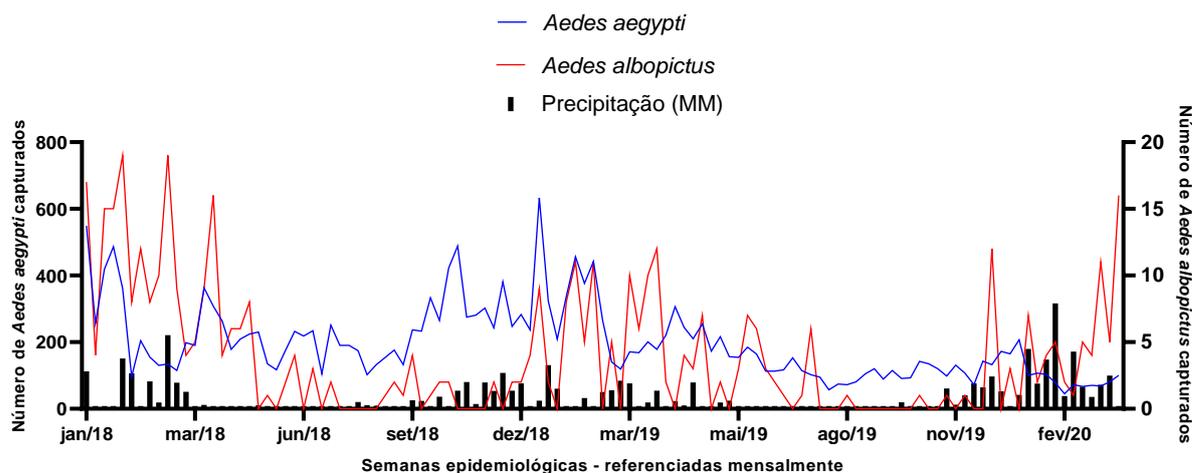


Figura 7: Comparação entre o número de *Aedes aegypti* e *Aedes albopictus* capturados semanalmente, e a variação da precipitação no Campus da Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais (2018-2020).

A detecção de mosquitos infectados por arbovírus ao longo do estudo foi distinta para ambos os arbovírus (Figura 8). DENV-2 foi detectado somente em 2019, o maior número de mosquitos infectados coletados ocorreu após algumas semanas do aumento do número de mosquitos capturados, referentes aos meses de janeiro e fevereiro (SE 01-08), enquanto o número de mosquitos infectados por DENV-2 foi maior entre abril-junho (SE 14-24), julho (SE 27 e 30) outubro (SE 40). É importante considerar que o calendário universitário coloca os meses de dezembro-fevereiro como férias, fazendo com que a circulação de pessoas no CP-UFMG seja reduzida.

Já ZIKV foi detectado em 2018, 2019 e 2020, em maior frequência e quantidade entre os meses de janeiro e abril (SE 02-16) de 2018, com semanas esporádicas em junho (SE 23) de 2019 e em fevereiro (SE 07-08) de 2020. Em 2018, se observa que o aumento no número de mosquitos infectados por ZIKV coincidiu com o aumento no número de mosquitos capturados, especialmente no mês de janeiro (SE 01-04).

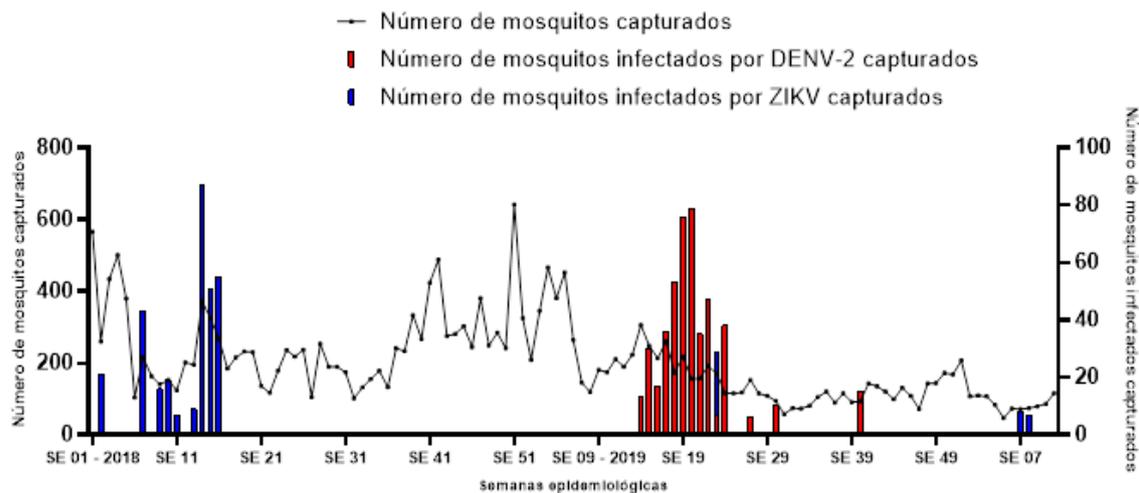


Figura 8: Comparação entre a o número de mosquitos coletados e o número de mosquitos infectados por arbovírus capturados.

O aumento do número de mosquitos infectados por DENV-2 no CP-UFGM ocorreu entre os meses de abril e junho (SE 14-24) de 2019, período que ocorreu a epidemia de casos de dengue na cidade de Belo Horizonte (Figura 9A) com 112.337 casos de dengue. Esta similaridade é menos acentuada no cenário da Regional Pampulha (Figura 9B), no qual ocorreram dois picos de casos confirmados de dengue em 2019, o primeiro em abril e em concordância com o aumento do número de mosquitos infectados por DENV-2 detectados no CP-UFGM, e o segundo em julho, após o pico do número de mosquitos infectados por DENV-2.

Para ZIKV (Figura 9C), o aumento do número de casos suspeitos (terminologia utilizada conforme o Boletim da Dengue) em Belo Horizonte ocorreu nos meses de abril de 2018, maio de 2019 e março de 2020, com 14, 141 e 7 casos prováveis, respectivamente (BELO HORIZONTE, 2018-2020). A captura do maior número de mosquitos infectados por ZIKV no CP-UFGM ocorreu nos meses de abril em 2018, junho em 2019 e fevereiro em 2020. Portanto, a presença do maior número de mosquitos infectados foi concomitante em 2018 e em meses próximos nos outros anos.

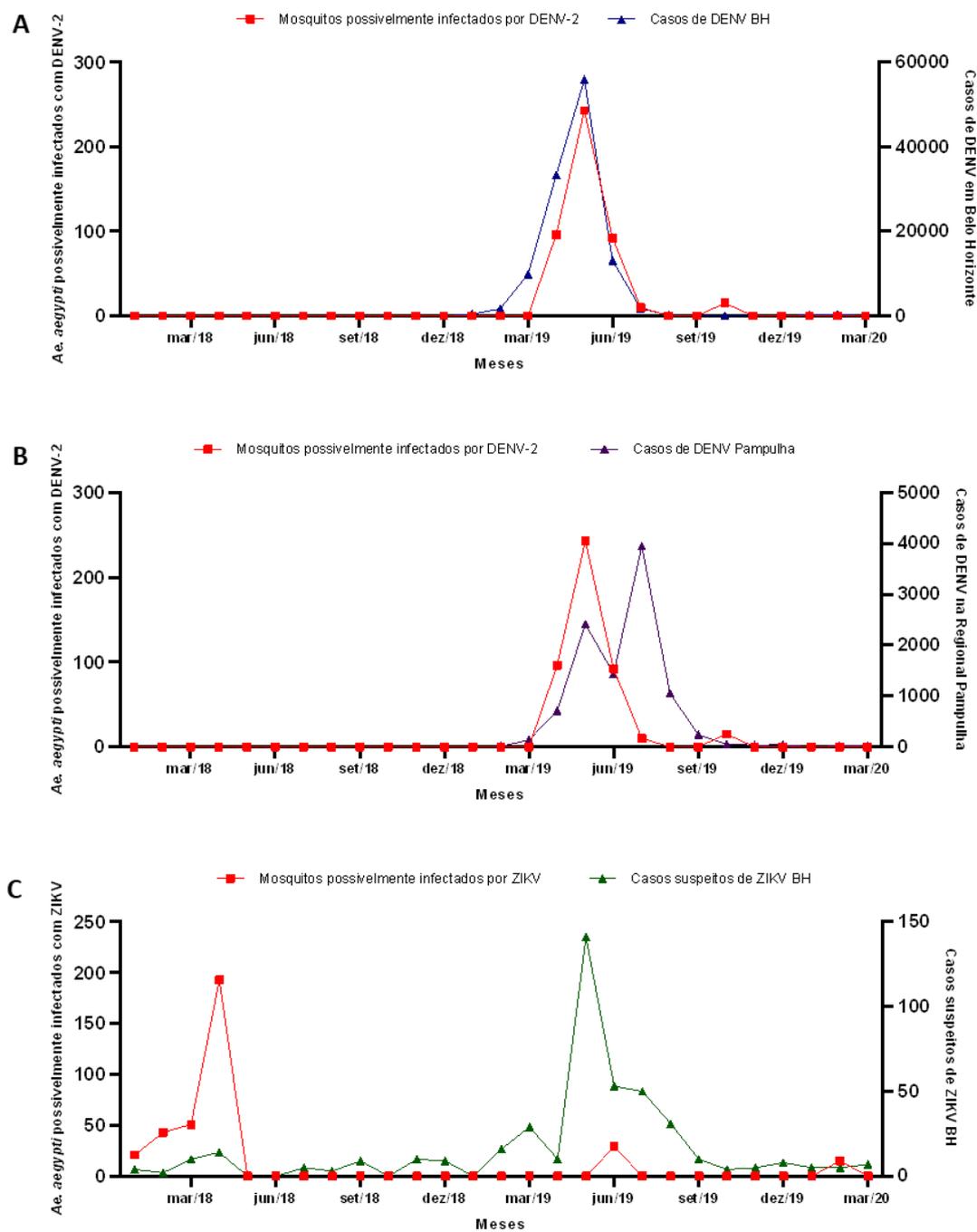


Figura 9: Comparação entre o número de mosquitos infectados por DENV-2 e ZIKV e o número de casos de dengue em Belo Horizonte (A), na Regional Pampulha (B) e casos suspeitos de ZIKV (C).

5.2.Descritivo espacial do vetor no Campus da Pampulha da UFMG

O CP-UFMG apresentou distribuição espacial heterogênea para vetores, com coleta de *Ae. aegypti* e *Ae. albopictus* em todas as quadras do CP-UFMG. Ambas as espécies apresentam diferenças entre o número de mosquitos coletados conforme apresentado na Figura 10, onde os pontos de maior captura de *Ae. aegypti* foi de até 927, enquanto para de *Ae. albopictus* no máximo de 15.

A Figura 10 apresenta os mapas da distribuição espacial de *Aedes* no CP-UFMG, no qual cada ponto representa uma armadilha GAT. Cada coloração indica um intervalo do número de mosquitos coletados e infectados, variando de poucos (verde) a muitos (vermelha) mosquitos. A Figura 10A apresenta a distribuição e abundância de *Ae. aegypti*, no qual o local com maior número de mosquitos capturados (927) foi na Escola de Veterinária (EV, quadra 32). Entretanto, é possível observar a captura superiores a 200 mosquitos, na Escola de Belas Artes (EBA, quadra 1-4), Instituto de Ciências Biológicas (ICB, quadra 30), Instituto de Ciências Exatas (ICEX, quadra 23), Escola de Educação Física e Terapia Ocupacional (EFFETO, quadra 34), Almoxarifado (quadra 6), Reitoria (REI, quadra 17), Colégio Técnico (COLTEC, quadra 25) e Estacionamento da Escola de Engenharia (EENG, quadra 13).

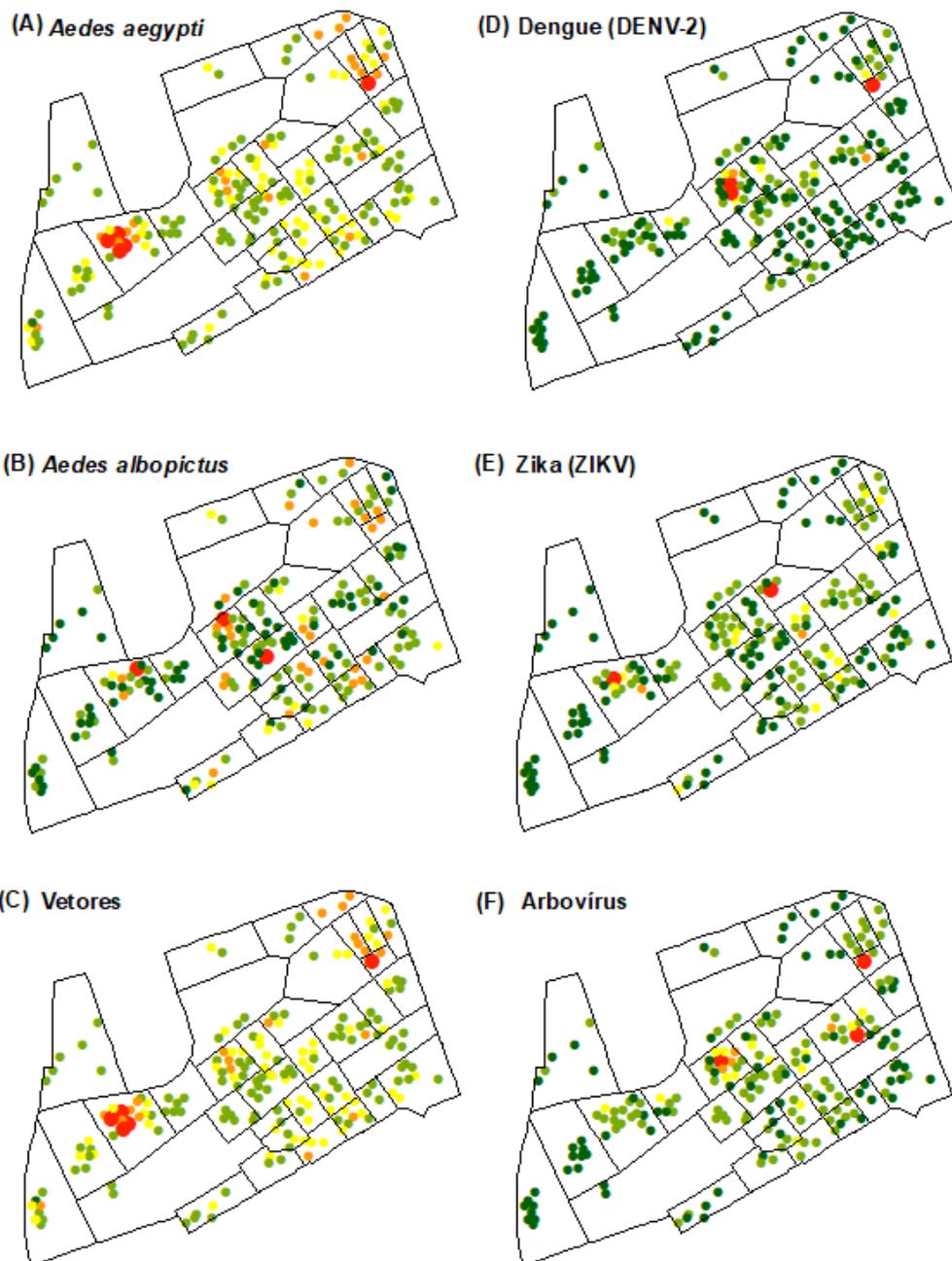
Já os locais com maior número de *Ae. albopictus* capturados (10B), até 15 mosquitos, foram nas quadras do ICB, EV e ICB, porém estes pontos são menos agrupados/próximos entre si quando comparado ao mapa de pontos de *Ae. aegypti*.

Para DENV-2 (Figura 10D), a região com maior captura de mosquitos infectados foi no ICB. Entretanto, não foi capturado mosquito infectado com DENV em 15 das 37 quadras do CP-UFMG, correspondendo a 40% da área de estudo. Já mosquitos infectados por ZIKV, apresenta maiores capturas nas EV e REI, com pontos de média captura presentes na Faculdade de Ciências Econômicas (FACE, quadra 20). No entanto, a ausência de detecção de ZIKV ocorreu apenas na quadra do Centro Esportivo Universitário (CEU, quadra 36), indicando que ZIKV é espacialmente mais abrangente e presente em mais quadras quando comparado a DENV-2.

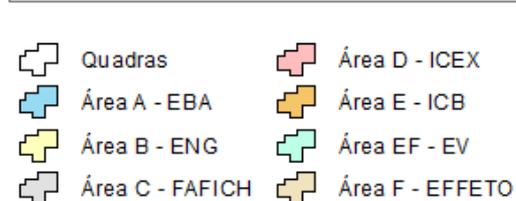
O mapa “Vetores” (Figura 10C) é referente a somatória do número de mosquitos coletados (*Ae. aegypti* e *Ae. albopictus*) durante todo o período estudado. É possível observar que o número de mosquitos coletados foi maior na EV, seguido pelo ICB e EBA.

O mapa “Arbovírus” (Figura 10F) é referente a somatória do número de mosquitos infectados (DENV-2 e ZIKV). Foi possível observar três quadras com presença de armadilhas com alta captura de mosquitos infectados (cor vermelha), localizados na ICB, Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas (FAFICH, quadra 21) e EBA.

É possível observar também quadras que apresentam simultaneamente a presença de armadilhas de alta captura para mosquitos e de armadilhas com mosquitos infectados por arbovírus (EBA e o ICB).



| <i>Aedes aegypti</i> | <i>Aedes albopictus</i> | Vetores | DENV-2 | ZIKV | Arbovirus |
|----------------------|-------------------------|-------------|-----------|-----------|-----------|
| ● 0 | ● 0 | ● 0 | ● 0 | ● 0 | ● 0 |
| ● 1 - 100 | ● 1 - 3 | ● 1 - 100 | ● 1 - 10 | ● 1 - 10 | ● 1 - 15 |
| ● 101 - 200 | ● 4 - 5 | ● 101 - 200 | ● 11 - 20 | ● 11 - 20 | ● 16 - 25 |
| ● 201 - 450 | ● 6 - 10 | ● 201 - 450 | ● 21 - 30 | ● 21 - 30 | ● 26 - 50 |
| ● 451 - 927 | ● 11 - 15 | ● 451 - 929 | ● 31 - 51 | ● 31 - 44 | ● 51 - 75 |



Sistema de coordenadas e
Datum: SIRGAS 2000 UTM 23S

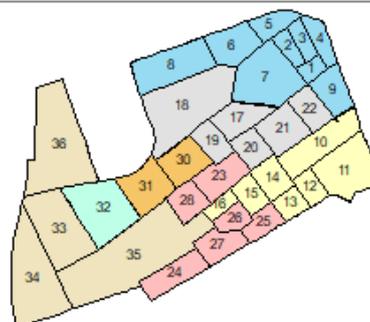


Figura 10: Mapa referente a distribuição das armadilhas GAT. Distribuição espacial dos vetores e circulação viral no CP-UFGM entre 2018-2020.

5.3. Análise e Estatística Espacial

5.3.1. Densidade de Kernel

A densidade de Kernel identificou as zonas de alta e baixa densidade para mosquitos, incluindo aqueles infectados por arbovírus. Similar ao observado nos mapas descritivos (Figura 10), a distribuição espacial dos vetores *Ae. aegypti* e *Ae. albopictus* e de mosquitos infectados por DENV-2 e ZIKV foi heterogênea. A densidade de cada região foi indicada pela coloração, no qual o vermelho corresponde a zonas de alta densidade vetorial/mosquitos infectados, laranja ou amarelo indicam densidades intermediárias, e o verde claro corresponde a baixa densidade, enquanto o verde escuro indica regiões sem densidade (nulas) (Figura 11).

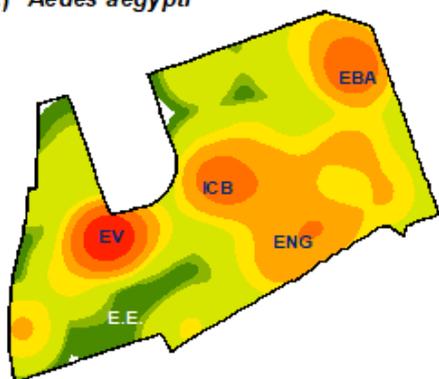
A Figura 12A apresenta a densidade de *Ae. aegypti*. As regiões de alta densidade (659 mosquitos/ 250 metros) estão localizadas na EV, seguido por regiões de densidade intermediária (capturas até 400 mosquitos/250 metros) na EBA, ICB e Escola de Engenharia (ENG). As regiões de baixa densidade (1-7 *Ae. aegypti* coletados/raio de 250 metros), estão localizados na região próxima a EE, região de maior cobertura florestal do CP-UFGM.

Já para *Ae. albopictus* (Figura 11B), a espécie apresenta regiões com presença populacional menos densas quando comparada a *Ae. aegypti*. A região com maior densidade de mosquitos coletados está localizada no ICB e é classificada como zona de densidade intermediária (até 50 mosquitos/250 metros). Outras regiões apresentam zonas de baixa densidade (1-7 mosquitos/250 metros) como a EV, ENG e quadras adjacentes, e EBA e quadras adjacentes.

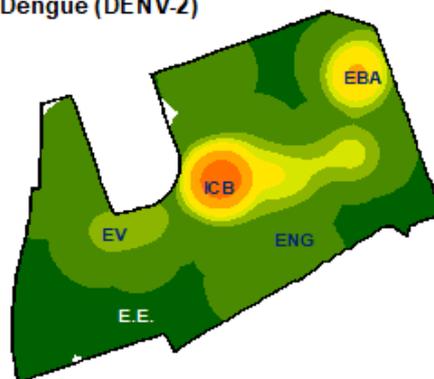
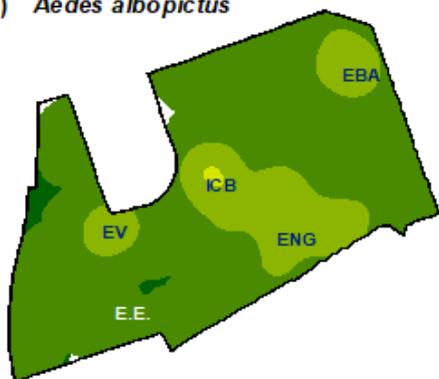
A comparação entre os mapas de densidade de Kernel para mosquitos infectados com DENV-2 e ZIKV (Figura 11DE) confirmam que a formação de zonas de alta/intermediária densidade é espacialmente distinta entre os arbovírus. DENV-2 apresenta uma única zona de alta densidade (até 1 mosquito infectado/250 metros), localizada no ICB. Seguindo por regiões de densidade intermediária (0,26-0,72 mosquito infectado/250 metros) na EBA e adjacências, e próximo ao ICB.

Já ZIKV apresenta regiões menos densas quando comparada a DENV-2 (máximo 0,72 mosquito infectado/250 metros), porém a formação destas zonas de densidade intermediária é mais extensa e engloba mais locais, como a EV, ENG, Instituto de Geociências (IGC), ICB, Reitoria Universitária (REI), FAFICH e próximo a EBA. Assim, é possível identificar que o ICB e a EBA apresentam, simultaneamente, formação de zonas de alta/intermediária densidade para DENV-2 e ZIKV.

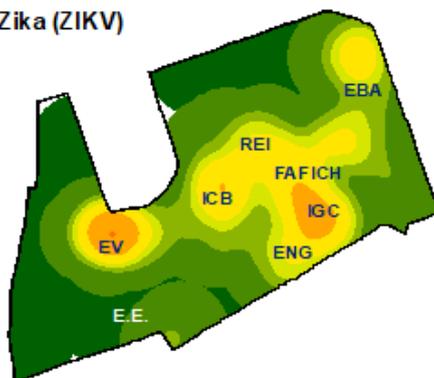
O mapa de “Vetores”, correspondente ao mapa de densidade de Kernel para a somatória dos dados totais de *Ae. aegypti* e *Ae. albopictus*, e de “Arbovírus”, correspondente ao mapa de densidade de Kernel para a somatória do número de mosquitos infectados por DENV-2 e ZIKV (Figura 11CF) identificou locais em que a formação de zonas de alta densidade (ou densidade intermediária) é simultânea para vetores e arbovírus (mosquitos infectados). O ICB, EBA, ENG, EV e a FAFICH apresentaram simultaneamente a formação de densidade alta/intermediária para vetores, com 100-659 mosquitos coletados/250 metros, e coletas de 0,26-2,04 mosquitos infectados/250 metros. Entretanto, esta simultaneidade requer análises de autocorrelação espacial para detectar se existe correlação estatística/autocorrelação espacial entre a formação destas zonas de alta densidade/intermediária densidade.

(A) *Aedes aegypti*

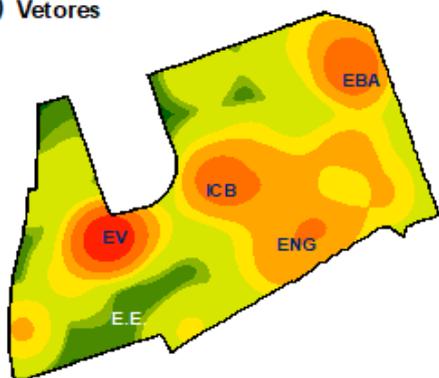
(D) Dengue (DENV-2)

(B) *Aedes albopictus*

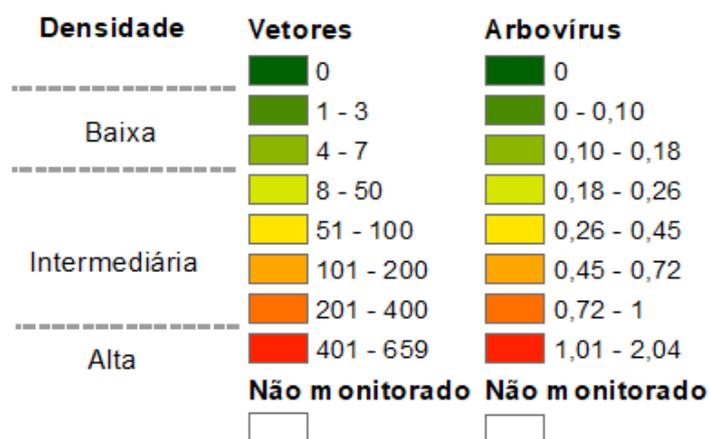
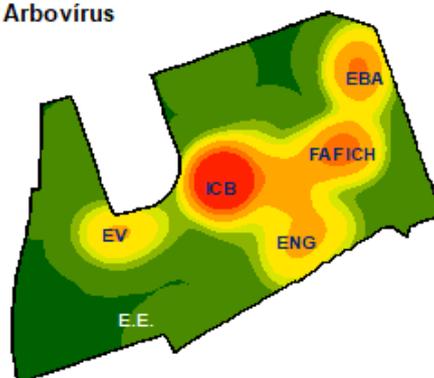
(E) Zika (ZIKV)



(C) Vetores



(F) Arbovírus



Sistema de coordenadas e Datum: SIRGAS 2000 UTM 23S

Figura 11: Comparação entre os mapas de densidade de Kernel para *Aedes aegypti*, *Aedes albopictus*, “Vetores” (somatória dos dados vetoriais), DENV-2, ZIKV e “Arbovírus” (somatória do número de mosquitos infectados por arbovírus).

5.3.1.1 Kernel mensal e semanal

Densidade mensal

A formação das zonas de alta densidade variou de acordo com o intervalo temporal, uma vez que as categorias foram redefinidas e alguns detalhes podem ter sido suprimidos na realização da densidade de Kernel com os dados totais (somatória dos dados obtidos durante todo o período analisado). O [vídeo 1](#) (VIDEO MENSAL KERNEL) mostra o comparativo mensal da densidade de Kernel entre *Ae. aegypti* e *Ae. albopictus*, e a variação da formação de zonas de alta/intermediária densidade durante os meses avaliados. Na maioria do tempo avaliado verificou-se que as zonas de densidade formadas são de categorias intermediárias (5-25 mosquitos/250 metros) para *Ae. aegypti* e baixas (máximo de 5 mosquitos/250 metros) para *Ae. albopictus*.

A formação e expansão das zonas de densidade alta/intermediária acompanha o aumento do número de *Ae. aegypti* capturados. As zonas de densidade alta/intermediária surgem majoritariamente na EV, ICB, ENG e EBA. Embora a presença da espécie seja contínua, a formação de zonas de alta densidade (máximo de 84 mosquitos/250 metros) ocorreu entre os meses de setembro e dezembro (2018) na EV. No restante dos meses avaliados, com exceção de março (2020), o local de formação de zonas de densidades intermediárias foi variado. Em março de 2020 não ocorreu formação de zonas de alta ou intermediária densidade, e, coincidentemente, foi o mês em que foi coletado o menor número de *Ae. aegypti* (181 mosquitos coletados; 0,8% do total).

Para *Ae. albopictus*, observa-se surgimento e desaparecimento de zonas de baixa densidade, sem a detecção de região específica para o surgimento destas zonas. Também foi detectada a presença de formação de zonas alta densidade, porém, no mês de outubro de 2018 foi possível verificar a formação de uma zona de calor intermediária (máximo de 50 mosquitos/250 metros) no Centro Pedagógico (CP, quadra 10), local com vegetação próxima). Enquanto no mês de setembro (2019) não foi coletado nenhum *Ae. albopictus* no CP-UFMG.

Densidade semanal

O [vídeo 2](#) (VIDEO KERNEL VETORIAL SEMANAL) apresenta a comparação semanal da distribuição espacial e o surgimento de zonas de alta densidade entre *Ae. aegypti* e *Ae. albopictus*. As semanas em que foi capturado o maior número de *Ae. aegypti* foram a penúltima semana de dezembro de 2018 (SE51), com 633 mosquitos coletados/250 metros (2,81%), cujas zonas alta densidade se formaram em quatro regiões: EV – Odontologia (ODONTO, quadra 33), EFFETO, ENG e EBA. A segunda semana de maior captura foi em janeiro de 2018 (SE1), quando foram coletados 549 mosquitos, com formação de zonas de alta densidade (capturas de até 100 mosquitos/250 metros) na região da EV, ICB e a ENG. Durante o tempo avaliado, 51% das semanas avaliadas apresentam formação de zonas de alta densidade, estas que se formam em 78% vezes na EV; 31% na EBA; 24% no ICB e 17% na ENG. Além disso, também se observa que após junho (2019) não ocorre mais a formação de zonas de alta/intermediária densidade, associado a queda no número de mosquitos coletados quando comparado as semanas anteriores.

As semanas com maior número de *Ae. albopictus* coletados foram a primeira semana de fevereiro de 2018 (SE5) e a segunda semana de março de 2018 (SE10), quando foram coletados 19 mosquitos, porém ambas as semanas não apresentam formação de zonas de alta densidade. A formação de zonas de alta densidade (≥ 4 mosquitos capturados/250 metros) foi registrado somente em uma única semana epidemiológica (SE64, 03/2019), na ENG. No restante das semanas ocorre a formação de zonas de baixa densidade ou nula, dado que em 33,91% das semanas analisadas não houve coleta de *Ae. albopictus*.

A diferença entre a formação semanal de zonas alta/intermediária densidade entre *Ae. aegypti* e *Ae. albopictus*, indica que *Ae. aegypti* é mais abundante e constante no CP-UFMG, resultando em regiões com maior densidade da população dos mosquitos. Além disso, as zonas de alta concentração vetorial ocorrem recorrentemente nos mesmos edifícios. Já *Ae. albopictus* é mais disperso, com várias SE sem concentração vetorial ou mesmo sem captura, e os locais onde ocorre este adensamento populacional também é variado.

Foi verificado a formação de zonas de densidade para mosquitos infectados por DENV-2 e ZIKV, apresentado no [vídeo 3](#) (KERNEL SEMANAL VIRAL). DENV-2 foi

detectado somente em *Ae. aegypti*, enquanto para ZIKV foi detectado em ambas as espécies. DENV-2 apresenta duas semanas com formação de zonas de alta densidade, na primeira semana de junho (SE20/2019) e na terceira semana de junho (SE76/2019), ambas no ICB. A formação de regiões de alta/intermediária densidade para mosquitos possivelmente infectados por DENV-2 ocorreu na maioria das vezes no ICB, correspondendo a 38% das semanas com detecção para este tipo viral.

Para ZIKV, a formação de zonas de alta densidade ocorreu apenas na primeira semana de abril de 2018 (SE 14), na EV. Porém, a formação de zonas de densidade intermediária ou baixa ocorreu em diversas regiões do CP-UFGM, em regiões pertencentes a: EV, EBA, ICEX, Centro de Atividades Didáticas 2 (CAD2, quadra 22), Faculdade de Educação (FAE, quadra 11) Escola de Ciências da Informação (ECI, quadra 22), CP, ICB, FACE e ENG (lista das regiões e localização das quadras está na tabela 1/Figura 5).

A formação de zonas alta densidade para vetores e mosquitos infectados por arbovírus (DENV-2 e ZIKV), que ocorrem simultaneamente no mesmo local, pode sugerir a formação de áreas de risco e que apresentem condições para a transmissão de arbovírus. Os locais que poderiam se enquadrar neste critério são o ICB para DENV-2 e a EV para ZIKV, ainda que para ZIKV é possível associar como área de risco diversos outros locais do CP-UFGM. Entretanto, a formação de zonas de alta densidade não implica necessariamente na autocorrelação espacial da presença do vetor e/ou do arbovírus, podendo ser uma região isolada e sem influência espacial, assim, para determinar a autocorrelação espacial é necessário realizar outras análises de correlação espacial.

5.3.2. Autocorrelação espacial

A análise de autocorrelação espacial (Índice de Moran Global - IM) identificou autocorrelação espacial de vetores e arbovírus (através da detecção de mosquitos infectados) entre as quadras no CP-UFGM. Foi utilizando os valores do índice entomológico IMFAq, elaborados a partir do número de *Ae. aegypti* e *Ae. albopictus* capturados, e número de armadilha contendo mosquitos infectados por DENV-2 e ZIKV. O cenário “Vetores”, corresponde ao IMFAq elaborado a partir da somatória de todos os *Ae. aegypti* e *Ae. albopictus* coletados, e o cenário “Arbovírus” foi elaborado a partir da soma do número de armadilhas contendo mosquitos infectados por DENV-2 e ZIKV. Os

conglomerados que foram considerados significantes e com autocorrelação espacial, quando $p < 0,05$ e se o padrão distribuição espacial existente foi de agrupamento (Índice de Moran, $IM > 0$).

A análise de autocorrelação espacial identificou que *Ae. aegypti* e os “Vetores” apresentaram autocorrelação positiva ($IM = 0,177$ e $0,171$ respectivamente; $p < 0,05$), formando conglomerado espacial nas quadras próximas a EBA (quadras 2-4 e 7), com *outlier* positivo para a EV e o ICB, conforme apresentado na Figura 12AC. É importante considerar que o cenário de “Vetores” foi direcionado pelos dados de *Ae. aegypti* em virtude da discrepância entre a captura de ambas as espécies vetoriais, assim a localização dos conglomerados é similar.

DENV-2 também apresentou autocorrelação espacial positiva, mas com índice de Moran muito baixo ($IM = 0,116$); $p < 0,05$), porém sem formação de conglomerados espaciais (Figura 12DE). Já ZIKV não apresentou correlação espacial ($IM < 0$; $p > 0,05$).

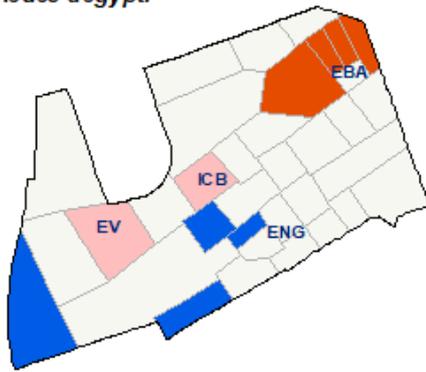
A comparação entre a densidade de Kernel para *Ae. aegypti* (Figura 11A) e os LISA, correspondentes (Figura 12A), sugere que as zonas de alta densidade observadas na análise de Kernel (Figura 11A), especificamente EBA, ICB e EV, foram identificadas como regiões significativas ($p < 0,05$) cujo valor de $IMFAq$ foi acima da média. Entretanto, somente as quadras próximas a EBA apresentam autocorrelação espacial, sendo classificadas como conglomerados espaciais Alto-Alto. Esta classificação indica que presença de *Ae. aegypti* nestas quadras é influenciada pela presença do vetor na quadra vizinha.

Já o ICB e a EV, apesar de apresentarem $IMFAq$ acima da média, não apresentam autocorrelação espacial com as quadras vizinhas, significando que a presença vetorial não possui influência espacial positiva nas quadras adjacentes. Entretanto, foi observada a presença de dois conglomerados espaciais Baixo-Baixo, localizados no Restaurante Universitário II (RU2, quadra 28), Centro de Atividades Didáticas III (CAD3, quadra 16) e EFFETO, cujo $IMFAq$ é abaixo da média dos vizinhos e apresentam influência espacial.

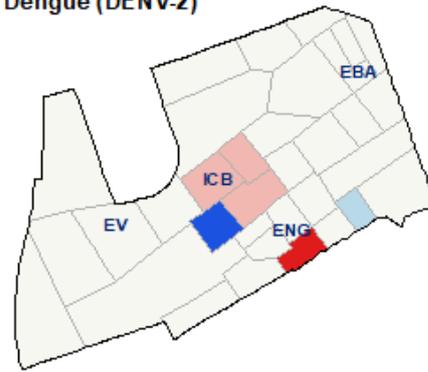
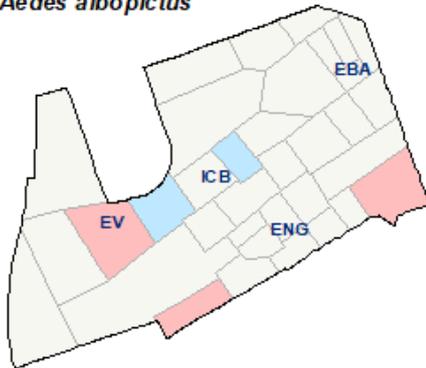
A comparação entre as zonas de calor observadas nas análises de Kernel (Figura 11B) e os conglomerados espaciais identificados para *Ae. albopictus* (Figura 12B) sugerem que as regiões de alta densidades observadas no Kernel (ICB) não se autocorrelacionaram espacialmente com as quadras adjacentes. O LISA indicou que algumas quadras apareceram como Alto-Baixo (*outliers* positivos) como a VET, INOVA

(quadra 24) e FAE (quadra 11). A presença vetorial nestas quadras foi significativa, mas não apresentou influência espacial nas quadras vizinhas.

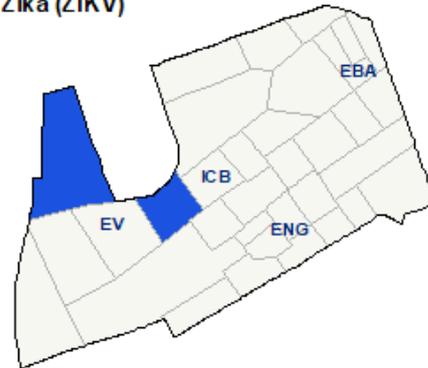
Para DENV-2, o LISA (Figura 12D) sinalizou que a região do ICB e as quadras adjacentes apresentaram valores significativos, porém foram classificadas como *outliers* positivos (Alto-Baixo), e sem influência espacial nas quadras adjacentes. Já para ZIKV, o LISA apresentou duas quadras como *outliers* negativos, com valores de IMFAq abaixo da média, mas que não apresenta autocorrelação espacial, e para ambos arbovírus verificou-se a presença de diversas quadras não significativas, com exceção dos *outliers* localizados no ICB e adjacências (positivos), e EFFETO e FAE (negativos).

Aedes aegypti

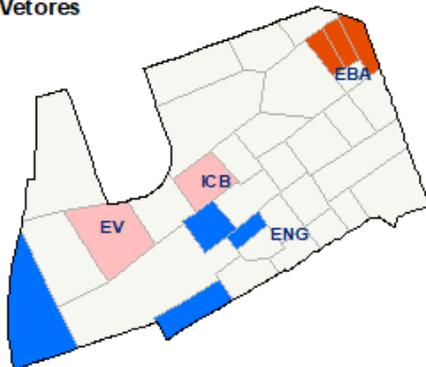
Dengue (DENV-2)

*Aedes albopictus*

Zika (ZIKV)



Vetores



Arbovírus

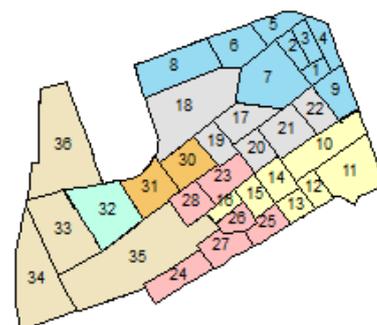
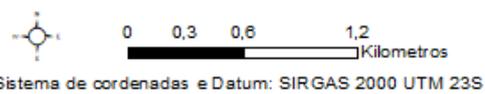
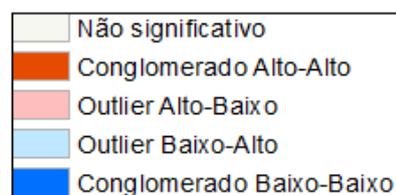
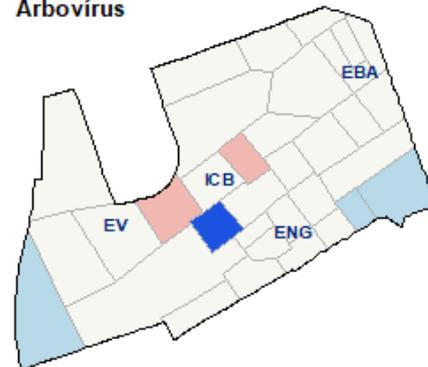


Figura 12: Comparação entre o LISA encontrada para os dados de IMFAq de *Aedes aegypti*, *Aedes albopictus*, somatória do número de mosquitos coletados (“Vetores”), mosquitos infectados por DENV-2, mosquitos infectados por ZIKV e somatória do número de mosquitos infectados por ZIKV e somatória do número de mosquitos infectados (“Arbovírus”).

A variação do Índice de Moran Global (IM) ao longo dos meses avaliados (Figura 14A) para *Ae. aegypti* foi de agrupamento e com autocorrelação espacial ($IM > 0$), e aleatório ou disperso ($IM \leq 0$). Os meses em que não se verificou a detecção de autocorrelação espacial foram janeiro, fevereiro e setembro de 2018 e fevereiro de 2020. Por outro lado, 52% dos meses tiveram autocorrelação espacial positiva ($IM > 0$ e $p < 0,05$) e a formação de conglomerados espaciais ocorreu, majoritariamente, na Área A (quadras 1-8, próximos a EBA), com exceção de dois meses em que os conglomerados foram formados em outras áreas conforme apresentado no [vídeo 4](#) (VIDEO MORAN MENSAL). Entretanto, os valores encontrados no IM também são influenciados pelas quadras catalogadas como Baixo-Baixo.

Para *Ae. aegypti*, o mês que apresentou maior IM foi julho de 2019 ($IM = 0,36$) e cujo conglomerado espacial (Alto-Alto) se formou nas quadras 1-3, 5 e 7, correspondentes a região da EBA. A EV, região de maior densidade vetorial (Figura 13A), não apresentou nenhuma formação de conglomerados espaciais ao longo dos meses avaliados sendo sempre classificada em quadrantes sem significância ou do tipo Alto-baixo/Baixo-alto (*outliers*) (Detalhes sobre a fragmentação da EV no APÊNDICE 7, 8 e 9).

Ae. albopictus apresentou padrão de agrupamento em 11% dos meses avaliados, com apenas três meses com $IM > 0$ e $p < 0,05$. A formação de conglomerados espaciais ocorreu na área A durante os meses de setembro (2018), janeiro e maio (2019) conforme apresentado no vídeo 4. Os meses em que não se verificou a detecção de autocorrelação espacial foram fevereiro-junho, agosto e outubro (2018), fevereiro, maio, julho-agosto e novembro (2019), e março (2020). O mês de setembro (2019) não foi passível de análise, pois não foi coletado nenhum *Ae. albopictus*.

Ae. aegypti apresentou valores de IM superiores aos registrados para *Ae. albopictus*, obtendo também autocorrelação positiva em 23 meses (11 meses a mais que *Ae. albopictus*), sugerindo que a distribuição espacial de *Ae. aegypti* tende a ser mais agrupada e este conglomerado ocorre por mais tempo quando comparado a *Ae. albopictus*. A autocorrelação espacial entre as duas espécies de vetores foi avaliada por

meio do Índice de Moran Bivariado, cujos resultados encontram na Figura 13B. Não foi observada correlação espacial ($IM < 0$; $p > 0,05$) entre as duas espécies em 81% dos meses avaliados, sendo o mês de setembro de 2019 não passível de análise. Assim, os meses em que se observou autocorrelação espacial positiva entre as duas espécies foram março, junho e novembro de 2019.

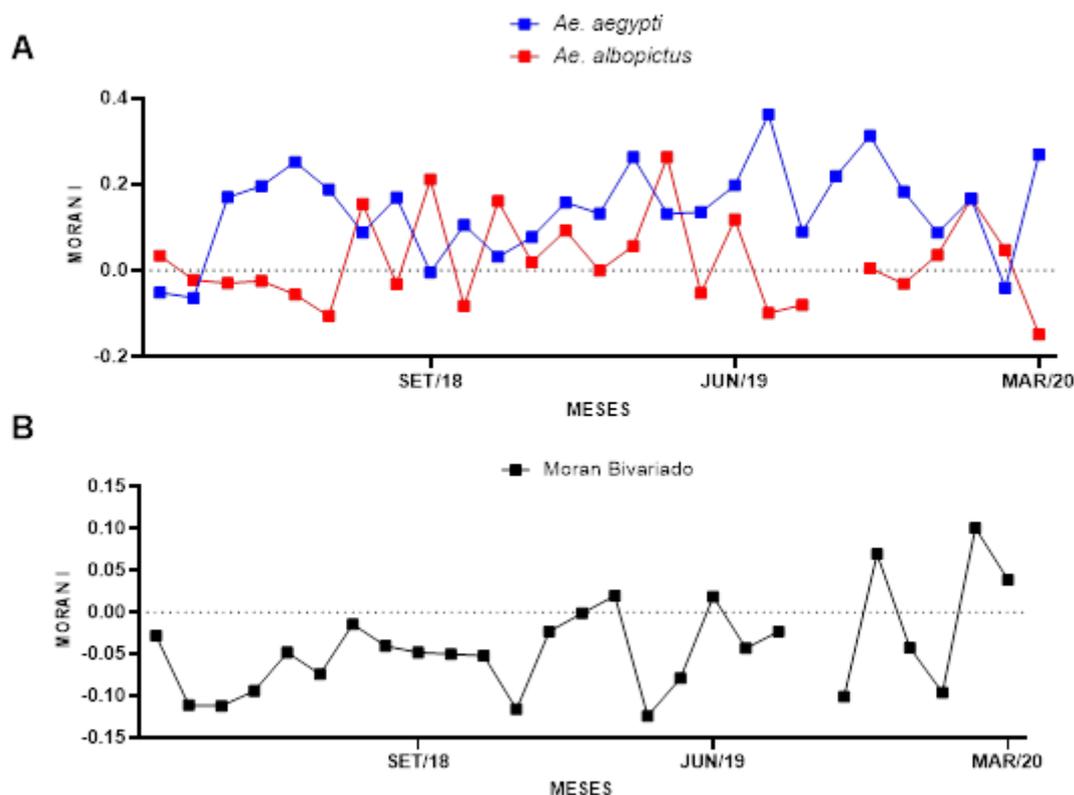


Figura 13: Comparação entre o Índice de Moran mensal de *Aedes aegypti* e *Aedes albopictus* durante os meses avaliados (A). Variação da correlação espacial entre as duas espécies (Índice de Moran Bivariado) (B).

O resultado do Moran Bivariado entre as semanas com correlação espacial e significância estatística para arbovírus ($IM > 0$ e $p < 0,05$) e os dados de *Ae. aegypti* resultou na identificação de quais semanas a presença entomológica-viral apresenta autocorrelação espacial conforme a Tabela 2. Para DENV-2, algumas semanas apresentaram autocorrelação espacial positiva com *Ae. aegypti*, como as SE 14 e 15 (abril/2019), (20 (maio/2019) e 30 (julho/2019), onde se identificou a formação de conglomerados Alto-Alto. Para ZIKV, não foi observada autocorrelação espacial, já que a SE 3 (janeiro/2018), apresentou $IM > 0$ porém $p > 0,05$, sendo assim não significativo.

Tabela 2: Índice de Moran Bivariado viral-entomológico. ZIKV corresponde aos resultados de 2018 e 2020, enquanto o restante dos resultados é correspondente a DENV-2.

| ARBOVÍRUS | ANO | MÊS | SEMANA EPIDEMIOLÓGICA | MORAN BIVARIADO | P | FORMAÇÃO DE CLUSTER |
|-----------|------|---------|-----------------------|-----------------|--------|---------------------|
| ZIKV | 2018 | JANEIRO | 3 | 0,021 | > 0,05 | NEGATIVO |
| | 2020 | JANEIRO | 7 | -0,115 | > 0,05 | NEGATIVO |
| | 2019 | ABRIL | 14 | 0,024 | 0,001 | POSITIVO |
| DENV-2 | 2019 | ABRIL | 15 | 0,039 | 0,05 | POSITIVO |
| | 2019 | MAIO | 20 | 0,1 | 0,001 | POSITIVO |
| | 2019 | JUNHO | 22 | 0,026 | > 0,05 | NEGATIVO |
| | 2019 | JULHO | 30 | 0,135 | 0,05 | POSITIVO |

5.3.3. Krigagem

5.3.3.1. Krigagem Ordinária Individual

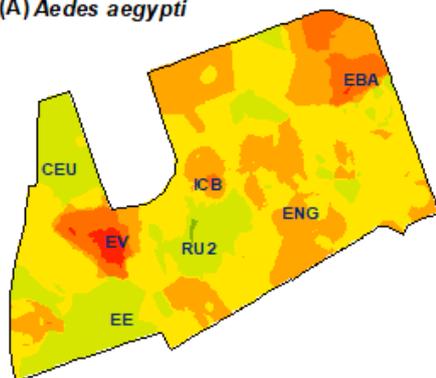
Os resultados da interpolação pelo método de Krigagem ordinária para dados individuais de *Ae. aegypti*, *Ae. albopictus*, mosquitos infectados por DENV-2, mosquitos infectados por ZIKV, somatória dos mosquitos capturados (“Vetores”) e somatória dos dados virais totais (“Arbovírus”) encontram-se na Figura 14. As colorações indicam tamanho da abundância vetorial, sendo o vermelho equivalente a regiões com muita abundância, laranja e amarelo para regiões com abundância intermediária, e verde equivalente regiões com pouca/nula abundância.

Para *Ae. aegypti* (14A), as regiões com muita abundância se localizam na EV e EBA, outras regiões possuem abundância intermediária, como o ICB e a ENG, enquanto as regiões com pouca abundância estão próximas a regiões de maior florestamento e de menor circulação de pessoas como o CEU, EE e RU2. Nota-se também que *Ae. aegypti* foi mais abundante quando comparado a *Ae. albopictus*, com muita/intermediária abundância na maioria do CP-UFMG, enquanto *Ae. albopictus* apresentou pouca abundância (Figura 14AB).

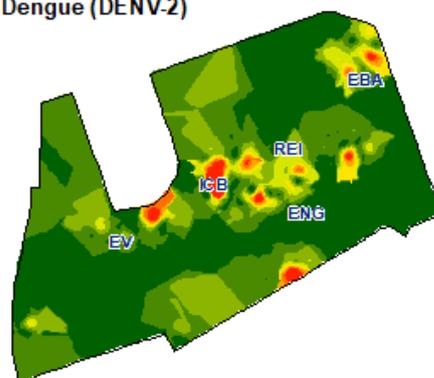
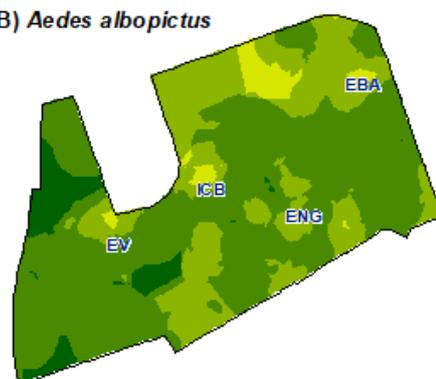
Já o *Ae. albopictus*, não possui regiões com muita abundância, resultando em vários locais com pouca abundância, sugerindo que esta espécie possui comportamento disperso e pouco concentrado no CP-UFMG.

Existem diferenças na distribuição espacial entre mosquito infectados com DENV-2 e ZIKV. As regiões com maior abundância de mosquitos infectados por DENV-2 são focalizadas em determinadas regiões do CP-UFMG, como o ICB - REI, FAFICH e EBA (Figura 14C). Já ZIKV tem quatro grandes áreas com muita abundância de mosquitos infectados, sendo referentes a ODONTO-EV, ICB, REI, ENG e EBA (Figura 15D). Assim, DENV-2 apresentou regiões menos extensas com maior abundância de mosquitos infectados, indicando regiões com alto número de mosquitos infectados são

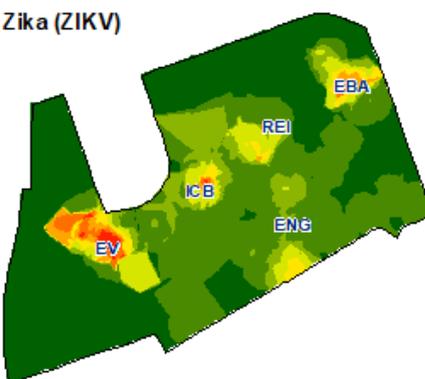
reduzidas e menos extensas, enquanto ZIKV é menos abundante, porém com maior dispersão espacial (Figura 14DE).

(A) *Aedes aegypti*

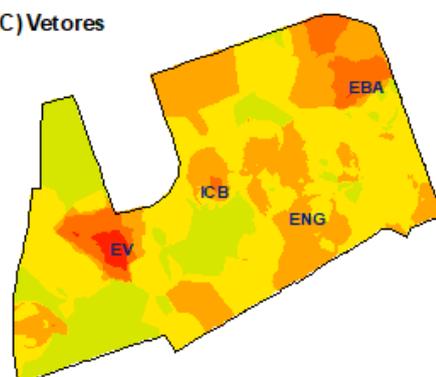
(D) Dengue (DENV-2)

(B) *Aedes albopictus*

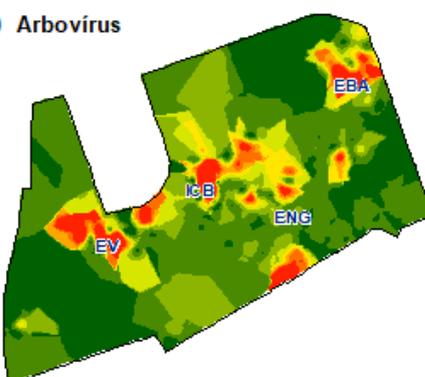
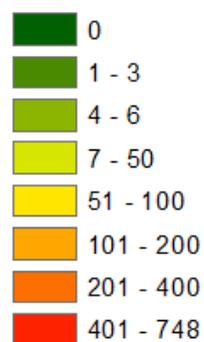
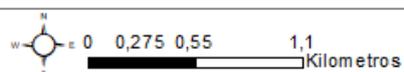
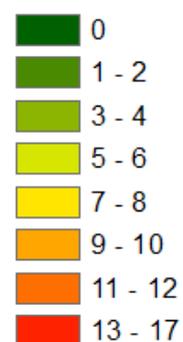
(E) Zika (ZIKV)



(C) Vetores



(F) Arbovírus

**Vetores****Arbovírus**

Sistema de coordenadas e Datum: SIRGAS 2000 UTM 23S

Figura 13: Mapa de Krigagem Ordinária individual para os dados individuais de *Aedes aegypti*, *Aedes albopictus*, vetores, DENV-2, ZIKV e arbovírus.

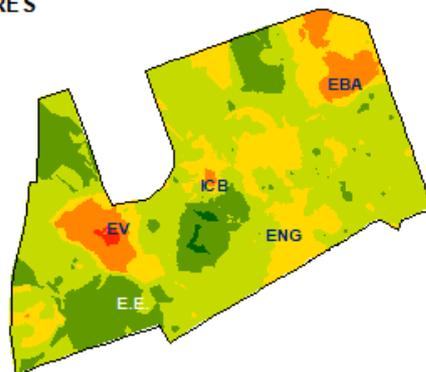
5.3.3.2. Co-Krigagem

Foi feita a Co-Krigagem para elaborar superfícies (mapas) que indicassem predições das regiões de “risco” em função da associação da abundância de mosquitos de espécies diferentes e/ou mosquitos com mosquitos infectados. Já que no CP-UFMG foi verificado que mosquitos e mosquitos infectados circulam no mesmo espaço, assim, o risco foi considerado em função do encontro espacial das variáveis. O risco é o resultado de uma interpolação de número de mosquitos com o número de mosquitos infectados, variando entre alto (501-815 mosquitos), médio (101-501) e baixo (1-100).

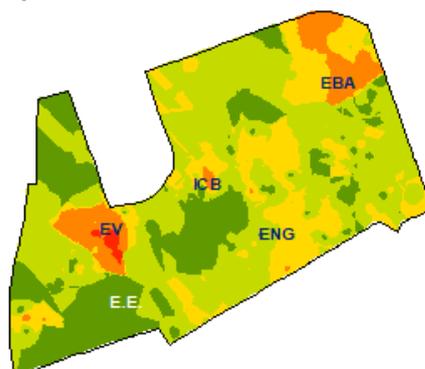
Para a superfície gerada através da interpolação de dados de *Ae. aegypti* e *Ae. albopictus* (Figura 15A, “Mosquitos vetores”), indica que a região com alto risco e maior abundância duas espécies é a EV, com regiões de risco intermediário na EBA e no ICB. Estes resultados foram similares ao registrados no mapa de densidade de Kernel (Figura 11C), onde a presença vetorial no CP-UFMG é mais acentuada nos espaços edificados e reduzida nas áreas florestadas, como a EE.

A interpolação de dados de *Ae. aegypti* e mosquitos infectados por DENV-2 (Figura 16B, e é importante recordar que DENV-2 foi detectada apenas em *Ae. aegypti*), indica que a predição para as regiões de maior risco, em função da relação espacial entre a abundância de mosquitos e mosquitos infectados, são a EV, EBA e ICB. Já para ZIKV (Figura 15C), se observa que os locais de maior risco são semelhantes aos registrados nos mapas anteriores (EV, EBA e ICB, Figura 15B), porém as regiões com risco nulo (unidade de risco equivalentes a 0) foram menos extensas e reduzidas em algumas partes, sugerindo que a abrangência destas variáveis foi maior e englobou a maior parte do CP-UFMG.

(A) MOSQUITOS VETORES



(B) MOSQUITOS E MOSQUITOS INFECTADOS POR DENV-2



(C) MOSQUITOS E MOSQUITOS INFECTADOS POR ZIKV

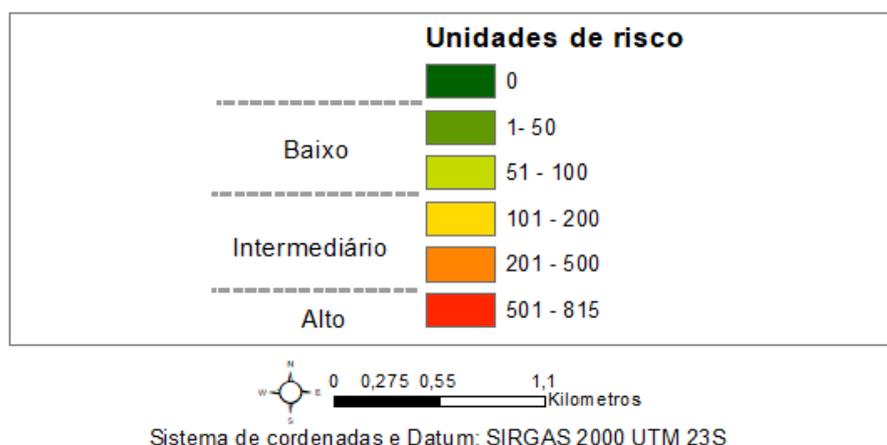
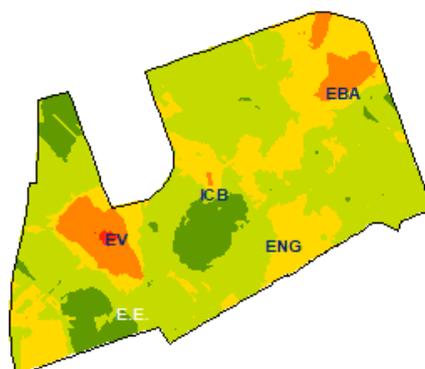


Figura 14: Cokrigagem ordinária para os dados totais de *Aedes aegypti* e *Aedes albopictus* (A); *Aedes aegypti* e DENV-2 (B); *Aedes aegypti*, *Aedes albopictus* e ZIKV(C). Siglas presentes no mapa: (EV) Escola

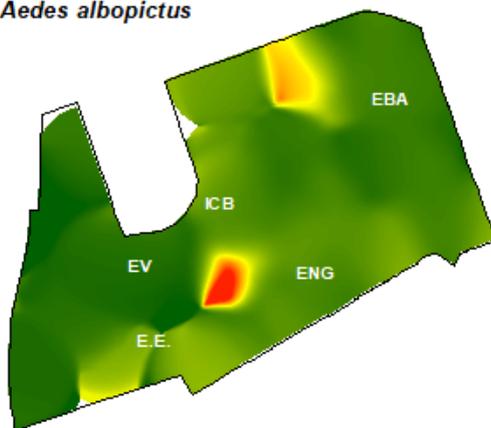
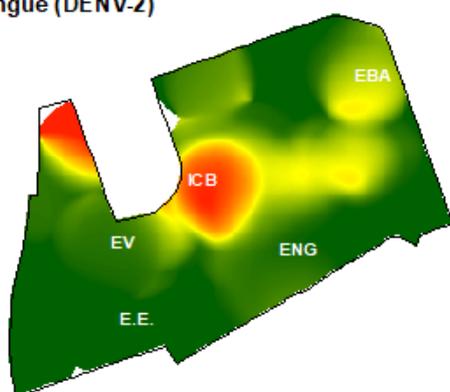
de Veterinária, (E.E) Estação Ecológica, (ICB) Instituto de Ciências Biológicas, (ENG) Escola de Engenharia, (EBA) Escola de Belas Artes.

5.3.4. Razão de Kernel

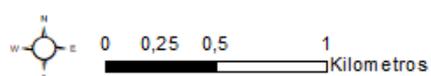
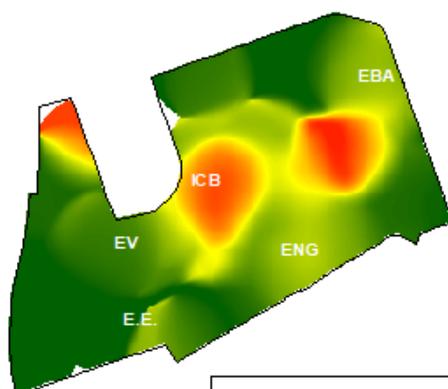
A razão de Kernel apontou quais locais apresentam equivalência entre as densidades de *Ae. aegypti*, *Ae. albopictus* e DENV-2 e ZIKV. Assim, os locais de coloração avermelhada apresentam maior equivalência entre as densidades, sejam elas altas ou baixas, em contrapartida os locais de coloração esverdeada indicam espaços onde a equivalência das densidades foi baixa, sugerindo que existe uma discrepância maior entre os dados ali presentes e a predominância por parte de alguma variável (Figura 16).

Para *Ae. aegypti* e *Ae. albopictus* (Figura 16A), foi observada equivalência entre as densidades somente em uma região, no RU2. No restante do CP-UFMG, o cenário foi de discrepância, ou seja, *Ae. aegypti* apresentou regiões densidades populacionais maiores e com predominância sobre *Ae. albopictus* conforme observado na figura.

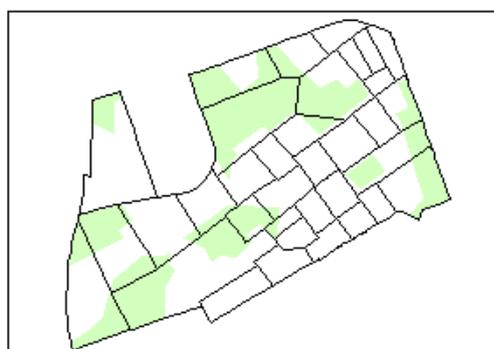
A razão de Kernel observada para *Ae. aegypti* e DENV-2 indicou que as regiões de equivalência de densidade estiveram localizadas no ICB e no CEU. É provável que os valores de equivalência observados no CEU estiveram relacionados a baixa densidade de *Ae. aegypti* (Figura 16B). Já a razão de Kernel utilizando valores totais de vetores e arbovírus, acrescentou a região do edifício da FAFICH como região de equivalência de densidade e aumentou a discrepância na região do ICB (Figura 16C).

(A) *Aedes aegypti* - *Aedes albopictus*(B) *Aede aegypti* - Dengue (DENV-2)

(D) Vetor - Arbovírus



Sistema de coordenadas e Datum: SIRGAS 2000 UTM 23S



Área Florestada

Figura 15: Razão de Kernel utilizando as densidades de *Aedes aegypti* e *Aedes albopictus* (A); *Aedes aegypti* e DENV-2 (B) e Vetores-Arbovírus (C). Siglas presentes no mapa: (EV) Escola de Veterinária,

(EBA) Escola de Belas Artes, (ICB) Instituto de Ciências Biológicas, (EE) Estação Ecológica e (ENG) Escola de Engenharia.

6. DISCUSSÃO

Os resultados aqui apresentados sugerem que a presença vetorial no CP-UFMG é constante, com elevação no número de mosquitos capturados nos meses de maior pluviosidade. Entretanto, observou-se que alguns edifícios e quadras apresentam concentração vetorial constante ao longo do período analisado. Além disso, se verificou que a presença de arbovírus foi temporalmente semelhante ao aumento de casos de arboviroses na cidade de Belo Horizonte.

A Universidade Federal de Minas Gerais é uma instituição que utiliza o conceito de “campus universitário”, uma categoria de prédios urbanos originada na Europa, posteriormente reinterpretada no contexto norte-americano, que influenciou a configuração espacial das universidades brasileiras (ECKER, 2016). Atualmente, o CP-UFMG é marcado pela setorização das edificações e com desenho voltado para realização de atividades acadêmico-científicas.

A população humana que frequenta o CP-UFMG é composta por alunos, docentes e corpo técnico-administrativo, com circulação diária superior a 55 mil pessoas provenientes de todas as áreas da RMBH (PDI/UFMG, 2018) que incluem, serviços externos de terceiros como correios, transportadoras e técnicos de manutenção de equipamentos. A circulação desta população ocorre majoritariamente nos horários matutinos e vespertinos do dia, momento do dia em que ocorre a atividade natural dos vetores (*Ae. aegypti* e *Ae. albopictus*). Portanto, o CP-UFMG é uma região de conectividade entre as diferentes áreas da RMBH e pode atuar como “polo de distribuição” (do inglês “*hub*”) de arbovírus. A análise e estudos de regiões com este perfil são raros na literatura sobre monitoramento e/ou controle de vetores, sendo este um estudo importante neste sentido.

O registro de *Ae. aegypti* e *Ae. albopictus* no CP-UFMG tem sido documentado ao longo das últimas décadas, com o primeiro registro de *Ae. aegypti* sendo feito em 2003, no ICB via utilização de ovitrampas (SILVA *et al.*, 2003) e em 2018, houve coleta de fêmeas de *Ae. aegypti* infectadas por arbovírus pela armadilha GAT (EIRAS *et al.* 2018). Já *Ae. albopictus* foi descrito primeiramente em 1989 na Estação Ecológica (SILVA E NEVES, 1989).

Os indicadores entomológicos de *Ae. aegypti* em Belo Horizonte, segundo o Levantamento Rápido de Índices para *Aedes aegypti* (LIRAA) realizado nos anos de 2018 e 2019, sugerem que a cidade apresentava índices baixos e próximos dos recomendados (LIRAA inferior ou igual a 1%) (MS, 2018), com 1,3% em janeiro e 1,1% em dezembro de 2018. Já em 2019, o LIRAA de janeiro foi de 2,6% posicionando a cidade em situação de alerta e em outubro o município registrou 0,5% (LIRAA/LIA-MINAS GERAIS 18/19). O presente trabalho no CP-UFMG durante este período apresentou alguns aspectos semelhantes com o LIRAA, como em 2018, quando o número de *Ae. aegypti* coletados foi similar entre os meses de janeiro e dezembro (Figura 7) com 1.710 e 1.723 mosquitos capturados respectivamente. Em 2019, o mês de janeiro apresentou, no entanto, o presente trabalho coletou de 1.378 *Ae. aegypti*, uma redução comparada com o mês anterior e não sendo nem mesmo o mês em que se coletou o maior número do vetor, diferente do aumento observado no LIRAA. Apesar deste aspecto, verificou-se que entre janeiro e outubro de 2019 houve queda no número de mosquitos coletados, corroborando com o cenário observado no restante da cidade de Belo Horizonte.

A presença de adultos de *Ae. aegypti* no CP-UFMG é constante, e apresenta aumento populacional em épocas de chuvas, e outros fatores climáticos (Figura 7; Vídeos 1 e 2), característica similar a registrada em diversos estudos feitos no Brasil e no mundo (SERPA *et al.*, 2006; COSTA *et al.* 2016). Já *Ae. albopictus* apresentou presença mais inconsistente no CP-UFMG, com redução no número de mosquitos coletados durante a época de seca em comparação com o aumento no número de mosquitos capturados durante a época de chuvas (Figura 7, Vídeos 1 e 2). Este resultado corrobora com diversos estudos que avaliam a dependência da chuva para *Ae. albopictus*, associando ao aumento da oviposição e na densidade populacional adulta (JULIANO *et al.* 2002; DIENG *et al.*, 2012; WALDOCK *et al.*, 2013).

Esta variação no número de mosquitos coletados no CP-UFMG, associado a períodos de maior pluviosidade, denota característica de sazonalidade no aumento populacional, acentuada entre os meses de novembro a fevereiro, correspondentes ao período de chuva em Belo Horizonte. O aumento do número de mosquitos capturados em períodos de chuvas corrobora com Soriano e colaboradores (2020), que mostraram que em meses de chuva a captura pode ser até cinco vezes maior quando comparado ao período de seca. Associado a esta característica, espaços urbanizados possuem criadouros que não são necessariamente formados pela água da chuva, e são responsáveis por manter

a presença vetorial durante a época de seca (HONÓRIO *et al* 2009, FISCHER *et al* 2017). Apesar da variação do número de mosquitos coletados nas armadilhas durante o estudo no CP-UFMG, a distribuição de *Ae. aegypti* é sempre heterogênea e corrobora com vários estudos (BARRERA *et al.*, 2011; MELO *et al.*, 2012; SCHULTES *et al.*, 2021).

A utilização do sistema MI-Aedes como ferramenta SIG para armazenamento de dados no monitoramento do CP-UFMG é fruto do uso deste sistema como mecanismo auxiliar e fundamental em diversos programas de monitoramento. O MI-Aedes foi desenvolvido inicialmente como resposta as limitações de inserção e processamento de dados entomológicos coletados em campo, sendo projetado desde o início como elemento para compor sistemas integrados de monitoramento, e usar dados produzidos por armadilhas para adultos em tempo real, como a Mosquitrap (EIRAS & RESENDE, 2009). Atualmente é utilizado não somente no monitoramento vetorial municipal, como também no âmbito estadual, sendo o sistema utilizado para armazenar dados do monitoramento de vetores realizado em 78 cidades do Espírito Santo (SESA, 2018). Os resultados do seu uso como ferramenta para direcionar os esforços de monitoramento e controle são bem documentados como registrado por Pepin e colaboradores (2013) que verificou que seu uso em 21 cidades de Minas Gerais, que obtiveram redução no número de casos e economia de recursos diretos/indiretos após o uso do MI-Aedes. O seu uso no CP-UFMG foi fundamental para direcionar as atividades de controle efetuadas pela PBH (SILVA, 2021) e tem reduzido a população de mosquitos, confirmado pela redução no número de mosquitos coletados pelas armadilhas de monitoramento (Figura 7).

Recentemente, no trabalho de Silva e colaboradores (2021), que realizou o monitoramento vetorial no CP-UFMG, foi feita uma análise da densidade de Kernel para as espécies *Ae. aegypti*, *Ae. albopictus* e *Culex quinquefasciatus*, utilizando a somatória de mosquitos coletados durante os anos de 2017, 2018 e 2019, e análises anuais para cada espécie, com raio de busca de 50 metros. Os resultados destas análises identificaram que ocorre um adensamento populacional (alta densidade vetorial) de *Ae. aegypti* na EV, EBA e ICB. Para *Ae. albopictus*, os locais identificados como maior densidade foram o ICB e em menor densidade na Unidade Administrativa 2/Almoxarifado Central (quadra 5 e 6). No presente trabalho, também foi realizado a análise de densidade de Kernel, porém com a somatória dos mosquitos *Ae. aegypti* coletados entre 2018-2020, e verificou-se que as regiões de adensamento populacional se mantiveram (Figura 11A). Entretanto, em comparação com o mapa de densidade de Kernel produzido por Silva (2021) para o ano

de 2017, verificou-se a detecção de uma nova região de alta densidade vetorial, na ENG. No entanto, essa é a faculdade com edificação mais recente em comparação com os outros citados, com a construção finalizada e ocupado em 2010 (UFMG, 2022). Para *Ae. albopictus*, os locais de densidade populacional se mantiveram com os observados por Silva e colaboradores (2021), indicando alguns pontos de densidade intermediária, sendo o mais denso deles localizado no ICB (Figura 11B).

Assim, é possível classificar os edifícios do CP-UFMG de acordo com a frequência da presença do *Ae. aegypti*. Edifícios que possuem concentração vetorial constante e que apresentam alta densidade (ou intermediária) ao longo do período avaliado como a EV, EBA e ICB, diferem daqueles edifícios cuja presença vetorial é sazonal, surgindo em determinados intervalos temporais, quando o número de mosquitos presentes no CP-UFMG aumenta como na ENG (Vídeo 1 e 2) As regiões de presença vetorial constante apresentam características particulares que possibilitam o desenvolvimento vetorial ininterrupto, com certa independência dos eventos climáticos.

A EV tem em sua infraestrutura predial espaços para a criação de animais de porte, como bovinos, equinos e caprinos, e de baias com recipientes de grande porte para hidratação destes animais. Desta forma, a presença destes recipientes de grande porte com água fornece espaços para oviposição de *Ae. aegypti*, associado a presença de sangue (humano e/ou animal) e servem de alimento para o repasto sanguíneo das fêmeas, e consequentemente aumentam/mantem a presença deste vetor de forma constante na EV. Este cenário corrobora com diversos estudos, no qual verificaram que *Ae. aegypti* em regiões rurais ou de criação de animais pode vir a se realizar hematofagia em outros vertebrados, além do sangue humano (TANDON *et al.*, 2002; TROYO *et al.*, 2008; SENE *et al.*, 2022). A presença de grandes reservatórios de água estimula o aumento da oviposição de *Ae. aegypti*, favorecendo a presença de muitos imaturos e consequentemente da população adulta do vetor em uma região (HARRINGTON *et al.*, 2008; WONG *et al.*, 2011 e ABREU *et al.*, 2015).

No presente estudo, verificou-se que a EBA está próxima ao canteiro de obras, almoxarifado e departamento de áreas verdes (jardim) (quadras 5,6 e 7), que apresentam área externa ou estão em áreas abertas com diversos recipientes, vasos de plantas e materiais de construção que podem atuar como locais de oviposição e mantém a presença do *Ae. aegypti*.

O ICB, por outro lado, apresenta desde 2015, com recomendação do Departamento de Gestão Ambiental (DGA), um contínuo processo de medidas de prevenção e controle de *Ae. aegypti* (ICB, 2015; DGA, 2016), como tamponamento de frestas de canos de esgotamento de água de caixa d'água e outros recipientes diversos. Segundo Silva (2021), foram realizados 5 processos de intervenção durante 2017-2020 no ICB, indicando que o edifício apresenta em sua estrutura componentes que permitem a manutenção do *Ae. aegypti*, mesmo em períodos de seca.

Embora a presença *Ae. aegypti* seja constante em alguns edifícios do CP-UFMG, registrou-se padrão de distribuição espacial de agrupamento, na maioria dos meses, com formação de conglomerados de risco (Alto-Alto) na região próxima à EBA (Figura 12A e Vídeo 4). Estes resultados contrastaram com o observado na análise de densidade de Kernel (Figura 11, vídeo 1 e 2), que classificam a EV e o ICB como regiões de densidade alta/intermediária. Já no LISA, para dados totais, estas regiões são classificadas como *outliers* positivos e cuja presença de vetorial não apresentam influência espacial sobre as quadras/edifícios vizinhos. Assim, estes locais em que existe significância estatística e autocorrelação espacial podem favorecer a propagação do vetor as quadras vizinhas, e as quadras que apresentam significância estatística, mas não possuem autocorrelação espacial, devem ser classificados como locais chaves, uma vez que são, ou podem vir a ser, quadras dispersoras de vetores.

É interessante observar que alguns meses em que foi coletado um número elevado de mosquitos *Ae. aegypti*, como janeiro, novembro e dezembro de 2018, não se verificou a formação de conglomerados, indicando que nestes meses a presença vetorial e o padrão de dispersão foi muito próximo ao aleatório ($IM=0$), sugerindo que a elevação no número de mosquitos no CP-UFMG estava associado período de chuva, pode ter provocado um aumento na presença vetorial em todas as áreas do CP-UFMG, e ter mudado a conformação espacial (de agrupado para aleatório). Esses resultados sugeriram também que algumas quadras registraram muitas capturas de forma isolada em relação às quadras vizinhas, impedindo uma autocorrelação espacial entre elas. Este cenário é diferente do registrado por Kpan e colaboradores (2021), que realizaram um estudo de análise espaço-temporal na cidade de Abidjã (Costa do Marfim) e verificaram o aumento no número de mosquitos *Ae. aegypti* coletados durante a época de chuva, porém o padrão de distribuição espacial da espécie foi de agrupamento com a formação de conglomerados

vetoriais, enquanto na época de seca, quando houve menor número de mosquitos coletados, o padrão de distribuição espacial foi aleatório.

Recentemente, um estudo sobre a formação de conglomerados de *Ae. aegypti* na cidade de Belo Horizonte classificou a regional Pampulha (onde se localiza o CP-UFMG) como aglomerado vetorial (tipo Alto-Alto) para os anos de 2007-2013, e não significativo para os anos de 2015-2018, indicando que a formação de conglomerados para *Ae. aegypti* apresentou variação temporal (Schultes e colaboradores, 2021). A classificação da Regional Pampulha para o ano de 2018, utilizando dados de ovitrampas, e considerando que o estudo abrangeu uma região maior, com mapeamento em região urbana (imóveis), difere do presente estudo que identificou formação de conglomerados vetoriais no CP-UFMG no ano de 2018 (Vídeo 4, Figura 14A). Este tipo de contraste sugere que a formação de conglomerado pode variar de acordo com o tamanho (escala) da área de estudo, nível de urbanização, ferramentas utilizadas para a coleta de mosquitos, e deve ser levada em consideração durante o delineamento metodológico das análises especiais. Além do papel do CP-UFMG, como foco mantenedor e dispersor para outras regiões além da Regional Pampulha.

O estudo de análise espacial de *Ae. albopictus* no Estado de São Paulo realizado em 1986 e 2015 verificou que o padrão espacial da espécie foi majoritariamente disperso e aleatório, na maioria dos anos avaliados (FONSECA-JUNIOR, 2015), enquanto na Pensilvânia (EUA) identificou-se conglomerados desta espécie (TABER et al., 2017). O presente estudo corrobora com Fonseca-Junior (2015), cujo padrão espacial de *Ae. albopictus* no CP-UFMG é disperso ou aleatório, e sem autocorrelação espacial. É necessário a realização de novos estudos para verificar se outras variáveis (microclima, nível de urbanização, e fluxo humano etc.) influenciam no padrão de distribuição espacial da espécie.

A Krigagem Ordinária realizada para o cenário vetorial no CP-UFMG (Figura 14AB) sugere que *Ae. aegypti* apresentou uma maior abundância quando comparado a *Ae. albopictus*, característica corroborada pelos mapas de Kernel (Figura 11AB). A Co-krigagem, utilizando dados totais de mosquitos coletados e de mosquitos infectados por arbovírus, sugeriu as regiões do ICB, EV e EBA podem estar sob alto risco de transmissão DENV-2 e a região da EE, CEU e RU2 como de menor risco (Figura 15AB), pois apresentaram menor abundância vetorial e menor número de mosquitos infectados, além de serem regiões mais florestadas e de menor circulação de pessoas. Para ZIKV, as

regiões sugeridas como de risco para a transmissão de arbovírus foram da EV e EBA. A identificação de locais chaves através da Krigagem Ordinária para *Ae. aegypti* já foi realizado por outros trabalhos, onde também se verificou que os locais de maior risco para a transmissão de arbovírus foram regiões urbanizadas e com circulação elevada de pessoas/residenciais (DUNCOMBE *et al.*, 2013; PARRA *et al.*, 2018; OUATTARA *et al.*, 2022).

Os vetores *Ae. aegypti* e *Ae. albopictus* coexistiram no CP-UFMG, com maior abundância populacional para *Ae. aegypti* quando comparado a *Ae. albopictus* (Figuras 11 e 14). Para avaliar a interação entre *Ae. aegypti* e *Ae. albopictus* no CP-UFMG, foi realizado no presente estudo a razão de Kernel para identificar regiões de equivalência entre as densidades populacionais destas espécies (Figura 16A). Ficou evidente que em poucas regiões a densidade de ambas as espécies foi equivalente no CP-UFMG, e que *Ae. aegypti* foi predominante.

Outro teste realizado no presente estudo que corroborou com este cenário foi a autocorrelação bivariada, em que na maioria dos meses não foi observada correlação espacial entre as duas espécies (Figura 13), indicando uma separação espacial entre as espécies de *Aedes*. A presença de ambas em ambientes urbanos já foi confirmada por diversos estudos, com aumento das densidades populacionais durante o período de chuvas, e predomínio de *Ae. aegypti* em regiões residenciais (JULIANO *et al* 2002; LEISHAM *et al* 2009; DUNCOMBE *et al.*, 2013; WILKER *et al.*, 2021).

A divisão espacial entre as duas espécies foi observada no trabalho de Wilker e colaboradores (2021), que registraram que 90% da população de *Ae. aegypti* localizavam em regiões urbanas, enquanto 85% da população de *Ae. albopictus* encontraram em ambientes florestados no estado da Flórida (EUA). No Brasil, Heinisch e colaboradores (2019) relataram a preferência e maior densidade de *Ae. albopictus* na região central do parque Piqueri, em São Paulo (SP) (região florestado em meio urbano), enquanto *Ae. aegypti* apresentou preferência e maior densidade na região periférica e mais próxima dos edifícios, avenidas e carros (região urbanizada). Esta separação espacial, seria reforçada pela preferência de *Ae. aegypti* por criadouros sem *Ae. albopictus* (HASIM *et al.*, 2018). No CP-UFMG, a população de *Ae. aegypti* foi 50 vezes maior que a de *Ae. albopictus* e os únicos locais onde a densidade populacional equivalente foram as regiões próximas a áreas florestadas e de menor edificação/urbanização, corroborando com Heinisch e colaboradores (2019).

A primeira detecção de DENV-2 em Belo Horizonte foi em 1998, com registro de mais de 86 mil casos. Já foram detectados os quatro sorotipos de DENV (DENV1-4) em Belo Horizonte, cuja introdução deu-se de forma progressiva, e desde 2014, todos os sorotipos circularam no município (PESSANHA *et al.*, 2004; FREITAS *et al.*, 2011; RABELO *et al.*, 2020). Em 2016 foi detectada a circulação de DENV-1, DENV-3 e ZIKV em mosquitos *Ae. aegypti* CP-UFMG (EIRAS *et al.*, 2018), enquanto no presente trabalho foi detectado DENV-2 em 2019, sendo o primeiro registro da detecção deste sorotipo em *Ae. aegypti* no CP-UFMG.

Já o ZIKV foi detectado em fêmeas de *Ae. aegypti* no CP-UFMG durante os anos de 2018, 2019 e 2020 e em *Ae. albopictus* em 2018. A detecção de ZIKV em fêmeas de *Ae. albopictus* foi detectada primeiramente no Gabão em 2014 (GRARD *et al.*, 2014) e no Brasil, em 2019 no município de Linhares (ES) (REZENDE *et al.*, 2020).

A situação epidemiológica de dengue em Belo Horizonte em 2019 foi classificada como de ano epidêmico, com mais de 116 mil casos confirmados, sendo a maioria do sorotipo DENV-2, e a regional da Pampulha com mais de 10 mil casos (8,66% do total). Para ZIKV, ocorreram apenas 8 casos em 2018, 11 casos em 2019 e nenhum em 2020 (até março) (BELO HORIZONTE, 2018-2020). Porém foi utilizado o número de casos suspeitos—em virtude da dificuldade de detectar com exatidão o número de casos confirmados por mês, e não foi possível localizar a regional de cada caso de ZIKV.

No CP-UFMG, a detecção de DENV-2 em *Ae. aegypti* ocorreu entre os meses de abril e junho de 2019 (SE14-24), e em outubro (SE40), com aumento do número de mosquitos infectados com DENV-2 e acompanhando o aumento do número de casos de dengue em Belo Horizonte. Os casos de dengue ocorridos entre março e junho correspondem a 96% dos casos de dengue de Belo Horizonte em 2019 (BELO HORIZONTE, 2019). Este cenário foi distinto do registrado na Regional Pampulha, no qual ocorreram dois picos de aumento de casos, sendo o primeiro menor e similar ao do CP-UFMG e o segundo maior, ocorrendo no mês de julho.

A UFMG tem alunos, docentes e corpo técnico-administrativo de todas as regionais de Belo Horizonte, incluindo pessoas de outras cidades da RMBH. Assim, os mosquitos presentes no CP-UFMG realizam o repasto sanguíneo em pessoas providas de diferentes regiões da Belo Horizonte, de forma que o CP-UFMG apresenta curva de detecção de DENV-2 mais próxima e similar a observada e apresentada na cidade de Belo

Horizonte que da Regional Pampulha. É possível que exista pouca interação espacial entre os mosquitos presentes no CP-UFMG e o número de casos da Regional Pampulha, em virtude da arquitetura predial e demais contextos do CP-UFMG. Entretanto é necessário realizar novos estudos para verificar qual o impacto da presença de mosquitos infectados com DENV-2 no cenário epidemiológico da Regional Pampulha e o impacto da circulação de pessoas que vivem e transitam em tantas regiões na infecção de mosquitos vetores.

O local de maior densidade de mosquitos infectados com DENV-2 foi o ICB, seguido pela EBA (Figuras 11D e 14D), com padrão espacial de agrupamento, mas sem a formação de conglomerados Alto-Alto (para dados totais), já que o ICB e as quadras adjacentes são classificadas como *outliers* positivos (Alto-Baixo) (Figura 12D). A detecção de conglomerados de DENV-2 foi verificada somente no intervalo temporal de semana. Alguns estudos verificam a formação de conglomerados para DENV-all com dados totalizados (LEE *et al.*, 2013), mas outros apresentam formação de conglomerados para intervalos temporais menores como meses, quinzenas ou anos (PARRA *et al.*, 2018, SCHULTES *et al.*, 2021). É importante ressaltar que maioria destes estudos analisa a presença de casos de dengue em humanos, enquanto o presente trabalho utilizou especificamente a detecção de DENV-2 em fêmeas de *Ae. aegypti*. Não existe a dados institucional de número de casos de arboviroses no CP-UFMG, pois é um espaço transitório e não de moradia, e o registro de casos de arboviroses estão associados com a região de moradia do paciente (BELO HORIZONTE, 2019).

A relação espacial entre *Ae. aegypti* e DENV-2, medida através do teste de autocorrelação espacial bivariada, foi confirmada somente em poucas semanas. Isto significa que na maior parte do tempo, a presença do número de vetores não está espacialmente associada com o número de mosquitos infectados com DENV-2. A detecção de autocorrelação espacial entre a presença vetorial e a detecção viral em outros trabalhos é mais constante, ocorrendo por períodos temporais mais extensos (PEPIN *et al* 2013; BARBOSA *et al* 2014; PEPIN *et al* 2015, SANAVRIA *et al* 2017, DE AZEVEDO *et al* 2020), onde os locais com alta densidade de *Ae. aegypti* apresentam autocorrelação espacial com a detecção viral. No CP-UFMG, esta característica ocorre em momentos e locais específicos, sugerindo que não é um fenômeno comum (Tabela 2). É importante ressaltar a falta de informação sobre o número de pessoas infectadas com DENV-2, já

que é possível que exista autocorrelação espacial com o número de mosquitos infectados por DENV-2.

No presente trabalho foi detectado dois picos de aumento no número de mosquitos infectados com ZIKV, o maior ocorrendo no primeiro semestre de 2018, e o menor em junho de 2019. Foi observado que o aumento no número de mosquitos infectados coincidiu temporalmente com aumento no número de mosquitos coletados. Também foi verificado a coincidência temporal entre o número de casos suspeitos de ZIKV em Belo Horizonte e o número de mosquitos infectados por ZIKV no CP-UFGM para os anos de 2018 e 2019. Embora o número de mosquitos infectados por ZIKV tenha sido superior em 2018 e inferior em 2019, enquanto o número de casos suspeitos para ZIKV tenha sido maior em 2019 e menor em 2018 (BELO HORIZONTE, 2018-2019). Apesar disso, não foi encontrado nenhuma autocorrelação espacial para ZIKV no CP-UFGM e tampouco foi identificada relação espacial positiva entre o número de mosquitos infectados com o número de mosquitos capturados (Figura 12E e Tabela 2), sendo o padrão espacial dos mosquitos infectados com ZIKV de dispersão ($IM < 0$).

Estes resultados diferem dos registrados por Nunes (2021), em que os pontos de maior concentração de ZIKV apresentam autocorrelação com aumento da presença vetorial. Já a correlação espacial entre ZIKV e vetores resultou na não detecção de conglomerados bivariados, diferindo do trabalho de Freitas e colaboradores (2019) que verificou a identificação de conglomerados multivariados (DENV-all, ZIKV e vetores) na cidade do Rio de Janeiro. Embora seja importante considerar o contexto específico e a ausência de informações sobre casos de ZIKV na população humana do CP-UFGM e da temporalização correta dos casos confirmados de ZIKV em Belo Horizonte, já que os trabalhos mencionados consideram a presença do vírus em humanos e não em vetores.

Assim, o presente trabalho realizou análises espaço-temporal para averiguar a dispersão espacial e variação temporal da presença dos mosquitos *Ae. aegypti* e *Ae. albopictus* e da circulação de DENV-2 e ZIKV no CP-UFGM. Foi identificadas áreas com maior abundância vetorial e foi observado uma autocorrelação espacial entre eles, destacando a região da EBA e adjacências como local de alta densidade vetorial e com autocorrelação espacial, sendo classificado como conglomerado vetorial, e a EV e o ICB como áreas de alta densidade vetorial, mas sem detecção da autocorrelação espacial. Verificou-se que a distribuição de mosquitos infectados por DENV-2 foi mais densa

quando comparado a com ZIKV, embora a circulação de arbovírus em mosquitos não tenha apresentado autocorrelação espacial, salvo semanas específicas.

Este trabalho também se mostrou inovador em identificar o CP-UFMG como potencial local chave para a vigilância epidemiológica de arbovírus, especialmente da dengue, tendo em vista a sincronia entre ao aumento no número de casos de dengue e o número de mosquitos infectados por arbovírus em 2019. Porém, é necessário realizar mais estudos para efetivamente monitorar os vetores no CP-UFMG como indicador epidemiológico de arbovírus em Belo Horizonte. Portanto, o presente trabalho demonstrou a importância do monitoramento de vetores adultos em locais de conexão urbana, além de identificar a detecção de ZIKV em fêmeas de *Ae. albopictus* no Brasil.

7. CONCLUSÃO

- O CP-UFMG apresentou duas categorias de áreas com concentração vetorial: regiões com edificações com maiores abundâncias dos vetores, constante e regiões com e/ou sem edificações de densidade e concentração vetorial sazonal;
- As regiões pertencentes a Escola de Veterinária, Escola de Belas Artes e Instituto de Ciências Biológicas, possuindo em épocas de chuva a presença de zonas de alta densidade vetorial; características que podem estar associadas a infraestrutura predial destes edifícios.
- O CP-UFMG tem a coexistência de dois vetores de arbovírus, *Ae. aegypti* e *Ae. albopictus*, entretanto *Ae. aegypti* é mais abundante em todo campus, exceto em áreas com muita vegetação, como a Estação Ecológica;
- Foi identificada autocorrelação e conglomerados agrupamentos espacial somente para espécie *Ae. aegypti* e DENV-2;
- O número de mosquitos infectados por DENV-2 é maior no Instituto de Ciências Biológicas e na Escola de Belas Artes, formando neste locais zonas de alta/intermediária densidade, porém não foi detectado a formação de conglomerados para DENV-2;

- O aumento no número de mosquitos infectados por DENV-2 ocorreu no mesmo período em que houve o aumento no número de casos em Belo Horizonte, durante a epidemia de dengue em 2019;
- O sorotipo encontrado no CP-UFMG em 2019, DENV-2 foi o sorotipo predominante durante o surto de dengue ocorrido em 2019;
- ZIKV apresenta maior concentração de mosquitos infectados na Escola de Veterinária e na Escola de Engenharia, porém é espacialmente mais disperso quando comparado a DENV-2;
- Os locais que devem ser priorizados durante as práticas de controle vetorial no CP-UFMG são a Escola de Veterinária, Escola de Belas Artes e Instituto de Ciências Biológicas;
- O monitoramento de adultos de *Ae. aegypti* e de circulação de arbovírus no CP-UFMG devem ser usado como indicador entomo-epidemiológico para o cenário vetorial e arboviral na cidade de Belo Horizonte.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo descreveu e avaliou o padrão de distribuição espaço-temporal de *Ae. aegypti* e *Ae. albopictus* e a circulação de DENV-2 e ZIKV em mosquitos infectados no CP-UFMG, identificando o local e o tempo em que ocorreram a formação de zonas de alta densidade, conglomerados vetoriais, verificando a autocorrelação entre vetores e arbovírus.

O mosquito *Ae. aegypti* apresentou aumento populacional entre os meses de setembro e fevereiro, com pico populacional ocorrendo em dezembro e janeiro. Apesar do aumento populacional ocorrer em determinadas épocas do ano, foi possível identificar áreas em que a presença populacional do vetor foi constante durante todo o período avaliado, destacando-se a Escola de Veterinária, Escola de Belas Artes e Instituto de Ciências Biológicas. Estas áreas possuem em sua infraestrutura características que

possibilitam a presença contínua de *Ae. aegypti*, com certa independência do aumento ou diminuição da pluviosidade.

A coexistência das duas espécies no CP-UFGM demonstrou maior densidade populacional e padrão espacial de agrupamento com *Ae. aegypti*, enquanto *Ae. albopictus* foi menos abundante com padrão espacial disperso. Todavia, apesar de *Ae. aegypti* ser predominante no CP-UFGM, foi identificada uma única região, próxima à região da Estação Ecológica, em que ambas as espécies possuem densidades equivalentes, sugerindo redução na presença de *Ae. aegypti*. Estes aspectos sugerem que exista uma dinâmica de competição interespecífica entre os vetores no CP-UFGM, fazendo-se necessário a realização de novos testes para verificar este comportamento.

Foi possível identificar que o aumento do número de mosquitos possivelmente infectados por DENV-2 foi similar ao aumento no número de casos de dengue em Belo Horizonte, e que o pico do número de mosquitos possivelmente infectados por DENV-2 no CP-UFGM antecede ao pico de casos de dengue na Regional Pampulha. No entanto, serão necessários a realização de novos estudos para verificar a relação entre aumento no número de mosquitos possivelmente infectados por DENV-2 impactou no número de casos da Regional Pampulha.

O presente trabalho recomenda que a UFGM faça monitoramento de casos de dengue no corpo docente, discente ou técnico, tornando possível correlacionar a presença de pessoas infectadas com arboviroses e talvez a identificação de novos locais de risco e/ou agravamento do risco nos edifícios identificados neste trabalho.

Assim, recomenda-se primeiramente a manutenção do monitoramento vetorial no CP-UFGM, com o uso dos resultados aqui produzidos para ajustar e potencializar o monitoramento, com efeito de direcionar o controle e reduzir o risco de transmissão de arbovírus. Também se faz necessário que novos estudos sejam realizados, especialmente com relação ao potencial do monitoramento no CP-UFGM como indicador epidemiológico para arbovírus em Belo Horizonte, uma vez que no presente estudo foi identificada sincronidade temporal entre o aumento no número de casos de dengue e o aumento no número de mosquitos coletados com DENV-2.

Por fim, este trabalho confirma a necessidade e a utilidade da análise espaço-temporal da distribuição de vetores em programas de monitoramento, como ferramenta que aprofunda o conhecimento os resultados coletados em programas de monitoramento

e que deve ser incorporada nos programas municipais, regionais e federal de combate à dengue.

9. REFERÊNCIAS

10. REFERÊNCIAS

ABREU, F. V. S. DE et al. Influence of breeding site availability on the oviposition behaviour of *Aedes aegypti*. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, v. 110, n. 5, p. 669–676, 7 jul. 2015.

ACHARYA, B. K. et al. Spatiotemporal Distribution and Geospatial Diffusion Patterns of 2013 Dengue Outbreak in Jhapa District, Nepal. ***Asia Pacific Journal of Public Health***, v. 30, n. 4, p. 396–405, maio 2018.

ALBIERI, A. *et al.* Quantitative monitoring of *Aedes albopictus* in Emilia-Romagna, Northern Italy: Cluster investigation and geostatistical analysis. *Bulletin of Insectology*. 63. 209-216, 2010.

ANEESH, DR. E. M. A. Life Cycle, Bio-ecology and DNA Barcoding of mosquitoes *Aedes aegypti* (Linnaeus) and *Aedes albopictus* (Skuse). *Journal Of Communicable Diseases*, v. 49, n. 3, p. 32–41, 30 set. 2017.

ANSELIN, L. Local Indicators of Spatial Association-LISA. *Geographical Analysis*, v. 27, n. 2, p. 93–115, 3 set. 2010.

Anselin, L, Syabri, I and Kho, Y (2006) GeoDa: an introduction to spatial data analysis. *Geographical Analysis* 38, 5–22.10.1111/j.0016-7363.2005.00671.xCrossRefGoogle Scholar

ATTARDO, G. M.; HANSEN, I. A.; RAIKHEL, A. S. Nutritional regulation of vitellogenesis in mosquitoes: Implications for anautogeny. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, v. 35, n. 7, p. 661–675, jul. 2005.

AZIL, A. H.; LI, M.; WILLIAMS, C. R. Dengue Vector Surveillance Programs: A Review of Methodological Diversity in Some Endemic and Epidemic Countries. *Asia Pacific Journal of Public Health*, v. 23, n. 6, p. 827–842, nov. 2011.

BALM, M. N. D. *et al.* A diagnostic polymerase chain reaction assay for Zika virus. *Journal of Medical Virology*, v. 84, n. 9, p. 1501–1505, set. 2012.

Banlanço da Dengue 2018, 2019, 2020 (link: http://www.pbh.gov.br/smsa/dengue/balanco_dengue.php)

BARBOSA, G. L. *et al.* Spatial Distribution of the Risk of Dengue and the Entomological Indicators in Sumaré, State of São Paulo, Brazil. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, v. 8, n. 5, p. e2873, 15 maio 2014.

BARRERA, R. *et al.* Sustained, Area-Wide Control of *Aedes aegypti* Using CDC Autocidal Gravid Ovitrap. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, v. 91, n. 6, p. 1269–1276, 3 dez. 2014.

BARRERA, R. *et al.* Use of the CDC autocidal gravid ovitrap to control and prevent outbreaks of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *Journal of Medical Entomology*, v. 51, n. 1, p. 145–154, jan. 2014.

BARRERA, R. New tools for *Aedes* control: mass trapping. *Current Opinion in Insect Science*, p. 100942, jun. 2022.

BARRERA, R. Spatial Stability of Adult *Aedes aegypti* Populations. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, v. 85, n. 6, p. 1087–1092, 1 dez. 2011.

BECKER, N. *et al.* First mass development of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae)—its surveillance and control in Germany. *Parasitology Research*, v. 116, n. 3, p. 847–858, mar. 2017.

BESERRA, E. B. *et al.* Biologia e exigências térmicas de *Aedes aegypti* (L.) (Diptera: Culicidae) provenientes de quatro regiões bioclimáticas da Paraíba. *Neotropical Entomology*, v. 35, n. 6, p. 853–860, dez. 2006.

BJØRNSTAD, O. N. *Epidemics: Models and Data using R*. Cham: Springer International Publishing, 2018.

BONNET, E. *et al.* Impact of a community-based intervention on *Aedes aegypti* and its spatial distribution in Ouagadougou, Burkina Faso. *Infectious Diseases of Poverty*, v. 9, n. 1, p. 61, dez. 2020.

BOOM R, Sol CJ, Salimans MM, Jansen CL, Wertheim-van Dillen PM, van der Nooraa J. Rapid and simple method for purification of nucleic acids. *J Clin Microbiol*. 1990;28:495–503.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância Epidemiológica. Diretrizes nacionais para prevenção e controle de epidemias de dengue / Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Departamento de Vigilância Epidemiológica. – Brasília : Ministério da Saúde, 2009.

Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância das Doenças Transmissíveis. Levantamento Rápido de Índices para *Aedes Aegypti* (LIRAA) para vigilância entomológica do *Aedes aegypti* no Brasil : metodologia para avaliação dos índices de Breteau e Predial e tipo de recipientes / Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Departamento de Vigilância das Doenças Transmissíveis – Brasília : Ministério da Saúde, 2013.

CARBAJO, A. E.; CURTO, S. I.; SCHWEIGMANN, N. J. Spatial distribution pattern of oviposition in the mosquito *Aedes aegypti* in relation to urbanization in Buenos Aires: southern fringe bionomics of an introduced vector. *Medical and Veterinary Entomology*, v. 20, n. 2, p. 209–218, jun. 2006.

CARVALHO, S.; MAGALHÃES, M. D. A. F. M.; MEDRONHO, R. D. A. Analysis of the spatial distribution of dengue cases in the city of Rio de Janeiro, 2011 and 2012. *Revista de Saúde Pública*, v. 51, 1 jan. 2017.

CARVALHO, R. G.; LOURENÇO-DE-OLIVEIRA, R.; BRAGA, I. A. Updating the geographical distribution and frequency of *Aedes albopictus* in Brazil with remarks

regarding its range in the Americas. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, v. 109, n. 6, p. 787–796, set. 2014.

CAVALCANTE, A. C. P. *et al.* Spatial modelling of the infestation indices of *Aedes aegypti*: an innovative strategy for vector control actions in developing countries. *Parasites & Vectors*, v. 13, n. 1, p. 197, dez. 2020.

CHANDA, E. *et al.* Using a Geographical-Information-System-Based Decision Support to Enhance Malaria Vector Control in Zambia. *Journal of Tropical Medicine*, v. 2012, p. 1–10, 2012.

CILEK, J. E.; KNAPP, J. A.; RICHARDSON, A. G. Comparative Efficiency of Biogents Gravid *Aedes* Trap, Cdc Autocidal Gravid Ovitrap, and CDC Gravid Trap in Northeastern Florida. *Journal of the American Mosquito Control Association*, v. 33, n. 2, p. 103–107, jun. 2017.

CODEÇO, C. T. *et al.* Surveillance of *Aedes aegypti*: Comparison of House Index with Four Alternative Traps. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, v. 9, n. 2, p. e0003475, 10 fev. 2015.

COSTA, I. M. P. *et al.* Incidência dos casos de dengue (2007-2013) e distribuição sazonal de culicídeos (2012-2013) em Barreiras, Bahia*. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, v. 25, n. 4, p. 735–744, out. 2016.

CUGOLA, F. R. *et al.* The Brazilian Zika virus strain causes birth defects in experimental models. *Nature*, v. 534, n. 7606, p. 267–271, 9 jun. 2016.

CUNHA, R. V. DA *et al.* Secondary dengue infection in schoolchildren in a dengue endemic area in the State of Rio de Janeiro, Brazil. *Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo*, v. 37, n. 6, p. 517–521, dez. 1995.

DAVID, M. R.; LOURENÇO-DE-OLIVEIRA, R.; FREITAS, R. M. DE. Container productivity, daily survival rates and dispersal of *Aedes aegypti* mosquitoes in a high income dengue epidemic neighbourhood of Rio de Janeiro: presumed influence of differential urban structure on mosquito biology. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, v. 104, n. 6, p. 927–932, set. 2009.

DAY, J. Mosquito Oviposition Behavior and Vector Control. *Insects*, v. 7, n. 4, p. 65, 18 nov. 2016.

DE ALBUQUERQUE, B. C. *et al.* Relationship between local presence and density of *Aedes aegypti* eggs with dengue cases: a spatial analysis approach. *Tropical Medicine & International Health*, v. 23, n. 11, p. 1269–1279, nov. 2018.

DE AZEVEDO, T. S.; LORENZ, C.; CHIARAVALLOTI-NETO, F. Spatiotemporal evolution of dengue outbreaks in Brazil. *Transactions of The Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, v. 114, n. 8, p. 593–602, 1 ago. 2020.

DE MELO, D. P. O.; SCHERRER, L. R.; EIRAS, Á. E. Dengue Fever Occurrence and Vector Detection by Larval Survey, Ovitrap and MosquiTRAP: A Space-Time Clusters Analysis. *PLoS ONE*, v. 7, n. 7, p. e42125, 25 jul. 2012.

- De Oliveira, Ricardo Lourenço. Dengue: Teorias e Práticas. Biologia e comportamento do vetor . Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 2015. p. 75-92
- DEGENER, C. M. *et al.* Mass trapping with MosquiTRAPs does not reduce *Aedes aegypti* abundance. *Memorias Do Instituto Oswaldo Cruz*, v. 110, n. 4, p. 517–527, jun. 2015.
- DIENG, H. *et al.* The effects of simulated rainfall on immature population dynamics of *Aedes albopictus* and female oviposition. *International Journal of Biometeorology*, v. 56, n. 1, p. 113–120, jan. 2012.
- DUNCOMBE, J. *et al.* Characterising the spatial dynamics of sympatric *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* populations in the Philippines. *Geospatial health*, v. 8, n. 1, p. 255, 1 nov. 2013.
- DUNCOMBE, J. *et al.* Spatiotemporal patterns of *Aedes aegypti* populations in Cairns, Australia: assessing drivers of dengue transmission. *Tropical Medicine & International Health*, v. 18, n. 7, p. 839–849, jul. 2013.
- Ecker, Vivian Dall'Igna, and Nelson Popini Vaz. "A evolução histórica de campi universitários-estudo de caso do Campus da UFSC." *VIII Seminario Internacional de Investigación en Urbanismo, Barcelona-Balneário Camboriú, Junio 2016*. Departament d'Urbanisme i Ordenació del Territori. Universitat Politècnica de Catalunya, 2016.
- EIRAS, A. E. *et al.* A high-risk Zika and dengue transmission hub: virus detections in mosquitoes at a Brazilian university campus. *Parasites & Vectors*, v. 11, n. 1, p. 359, dez. 2018.
- EIRAS, A. E. *et al.* Semi-field assessment of the Gravid Aedes Trap (GAT) with the aim of controlling *Aedes (Stegomyia) aegypti* populations. *PLOS ONE*, v. 16, n. 4, p. e0250893, 29 abr. 2021.
- EIRAS, A. E.; BUHAGIAR, T. S.; RITCHIE, S. A. Development of the Gravid Aedes Trap for the Capture of Adult Female Container-Exploiting Mosquitoes (Diptera: Culicidae). *Journal of Medical Entomology*, v. 51, n. 1, p. 200–209, 1 jan. 2014.
- EIRAS, Á. E.; RESENDE, M. C. Preliminary evaluation of the “Dengue-MI” technology for *Aedes aegypti* monitoring and control. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 25, n. suppl 1, p. S45–S58, 2009.
- EIRAS, A.E. *et al.* New Cost-Benefit of Brazilian Technology for Vector Surveillance Using Trapping System. Em: H. KASENGA, F. (Ed.). *Malaria*. [s.l.] IntechOpen, 2019
- EISEN, L.; EISEN, R. J. Using Geographic Information Systems and Decision Support Systems for the Prediction, Prevention, and Control of Vector-Borne Diseases. *Annual Review of Entomology*, v. 56, n. 1, p. 41–61, 7 jan. 2011.
- EISEN, L.; LOZANO-FUENTES, S. Use of Mapping and Spatial and Space-Time Modeling Approaches in Operational Control of *Aedes aegypti* and Dengue. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, v. 3, n. 4, p. e411, 28 abr. 2009.

ENGLBRECHT, C. *et al.* Evaluation of BG-Sentinel Trap as a Management Tool to Reduce *Aedes albopictus* Nuisance in an Urban Environment in Italy. *Journal of the American Mosquito Control Association*, v. 31, n. 1, p. 16–25, mar. 2015.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE (ESRI)-a. ArcGIS Desktop, ArcMap, Spatial Analyst, Density Toolset. Kernel Density. Disponível em: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/kernel-density.htm>. Acesso em: 30 de Mar 2022

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE (ESRI)-b. ArcGIS Desktop, ArcMap, Spatial Analyst, Spatial Statistics Toolset. Moran Global. Disponível em: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/2.8/tool-reference/spatial-statistics/how-cluster-and-outlier-analysis-anselin-local-m.htm>. Acesso em: 30 de Mar 2022

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE (ESRI)-b. ArcGIS Desktop, ArcMap, Spatial Analyst, Spatial Statistics Toolset. Kriging. Disponível em: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/2.8/tool-reference/spatial-analyst/kriging.htm>. Acesso em: 30 de Mar 2022

ESPINOSA, M. O. *et al.* Spatial pattern evolution of *Aedes aegypti* breeding sites in an Argentinean city without a dengue vector control programme. *Geospatial Health*, v. 11, n. 3, 21 nov. 2016.

ESTALLO, E. L. *et al.* Spatial Patterns of High *Aedes aegypti* Oviposition Activity in Northwestern Argentina. *PLoS ONE*, v. 8, n. 1, p. e54167, 17 jan. 2013.

European Mosquito Control Association – Traps – Disponível em:
<https://www.emca-online.eu/traps>

FERREIRA-DE-LIMA, V. H.; LIMA-CAMARA, T. N. Natural vertical transmission of dengue virus in *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*: a systematic review. *Parasites & Vectors*, v. 11, n. 1, p. 77, dez. 2018.

FIGUEIREDO, L. T. M. Dengue in Brazil during 1999–2009: a review.. WHO Regional Office for South-East Asia. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/170985> (2010)

FISCHER, S. *et al.* Long-term spatio-temporal dynamics of the mosquito *Aedes aegypti* in temperate Argentina. *Bulletin of Entomological Research*, v. 107, n. 2, p. 225–233, abr. 2017.

FLACIO, E. *et al.* Strategies of a thirteen year surveillance programme on *Aedes albopictus* (*Stegomyia albopicta*) in southern Switzerland. *Parasites & Vectors*, v. 8, n. 1, p. 208, dez. 2015.

Focks, Dana A & UNDP/World Bank/WHO Special Programme for Research and Training in Tropical Diseases. (2004). A review of entomological sampling methods and indicators for dengue vectors. World Health Organization. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/68575>

FONSECA JÚNIOR, D. P. DA *et al.* Vectors of arboviruses in the state of São Paulo: 30 years of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*. *Revista de Saúde Pública*, v. 53, p. 84, 27 set. 2019.

Forattini, O. P. *Culicidologia Médica*. 2. Ed. Edusp : São Paulo. 2002. 864 P.

FREITAS, R. M. DE; RODRIGUES, C. DE S.; ALMEIDA, M. C. DE M. Estratégia intersetorial para o controle da dengue em Belo Horizonte (Minas Gerais), Brasil. *Saúde e Sociedade*, v. 20, n. 3, p. 773–785, set. 2011.

GOMES, A. DE C. Vigilância entomológica. *Informe Epidemiológico do Sus*, v. 11, n. 2, jun. 2002.

GRARD, G. *et al.* Zika Virus in Gabon (Central Africa) – 2007: A New Threat from *Aedes albopictus*? *PLoS Neglected Tropical Diseases*, v. 8, n. 2, p. e2681, 6 fev. 2014.

GRUBAUGH, N. D. *et al.* Genomic Insights into Zika Virus Emergence and Spread. *Cell*, v. 172, n. 6, p. 1160–1162, mar. 2018.

Halstead Sb. Successes And Failures In Dengue Control – Global Experience. *Dengue Bull.* 2000; 24:60-70

HARRINGTON, L. C. *et al.* Influence of Container Size, Location, and Time of Day on Oviposition Patterns of the Dengue Vector, *Aedes aegypti*, in Thailand. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, v. 8, n. 3, p. 415–424, jun. 2008.

HARWOOD, J. F. *et al.* The Attractiveness of the Gravid *Aedes* Trap to Dengue Vectors in Fiji. *Journal of Medical Entomology*, v. 55, n. 2, p. 481–484, 28 fev. 2018.

HEINISCH, M. R. S. *et al.* Seasonal and spatial distribution of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* in a municipal urban park in São Paulo, SP, Brazil. *Acta Tropica*, v. 189, p. 104–113, jan. 2019.

HERINGER, L. *et al.* Evaluation of Alternative Killing Agents for *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in the Gravid *Aedes* Trap (GAT). *Journal of Medical Entomology*, v. 53, n. 4, p. 873–879, jul. 2016.

HOEL, D. F.; KLINE, D. L.; ALLAN, S. A. Evaluation of Six Mosquito Traps for Collection of *Aedes albopictus* and Associated Mosquito Species in a Suburban Setting in North Central Florida 1. *Journal of the American Mosquito Control Association*, v. 25, n. 1, p. 47–57, mar. 2009.

HONÓRIO, N. A. *et al.* 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*, v. 98, n. 2, p. 191–198, mar. 2003.

HONÓRIO, N. A. *et al.* The spatial distribution of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* in a transition zone, Rio de Janeiro, Brazil. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 25, n. 6, p. 1203–1214, jun. 2009

JULIANO, S. A. *et al.* Desiccation and thermal tolerance of eggs and the coexistence of competing mosquitoes. *Oecologia*, v. 130, n. 3, p. 458–469, fev. 2002.

KALLURI, S. *et al.* Surveillance of Arthropod Vector-Borne Infectious Diseases Using Remote Sensing Techniques: A Review. *PLoS Pathogens*, v. 3, n. 10, p. e116, 26 out. 2007.

KASPRZYKOWSKI, J. I. *et al.* A recursive sub-typing screening surveillance system detects the appearance of the ZIKV African lineage in Brazil: Is there a risk of a new epidemic? *International Journal of Infectious Diseases*, v. 96, p. 579–581, jul. 2020.

KPAN, M. D. S. *et al.* Spatial Heterogeneity and Seasonal Distribution of *Aedes* (*Stegomyia*) *aegypti* (L) in Abidjan, Côte d'Ivoire. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, v. 21, n. 10, p. 769–776, 1 out. 2021.

KRAEMER, M. U. *et al.* The global distribution of the arbovirus vectors *Aedes aegypti* and *Ae. albopictus*. *eLife*, v. 4, p. e08347, 30 jun. 2015.

LACON, G. *et al.* Shifting Patterns of *Aedes aegypti* Fine Scale Spatial Clustering in Iquitos, Peru. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, v. 8, n. 8, p. e3038, 7 ago. 2014.

LAGROTTA, M. T. F.; SILVA, W. DA C.; SOUZA-SANTOS, R. Identification of key areas for *Aedes aegypti* control through geoprocessing in Nova Iguaçu, Rio de Janeiro State, Brazil. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 24, n. 1, p. 70–80, jan. 2008

LAURA DE SENE AMÂNCIO ZARA, A. *et al.* Estratégias de controle do *Aedes aegypti*: uma revisão. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, v. 25, n. 2, p. 1–2, jun. 2016.

LEE, C. *et al.* Gravitraps for Management of Dengue Clusters in Singapore. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, v. 88, n. 5, p. 888–892, 1 maio 2013.

LEPARC-GOFFART, I. *et al.* Development and validation of real-time one-step reverse transcription-PCR for the detection and typing of dengue viruses. *Journal of Clinical Virology*, v. 45, n. 1, p. 61–66, maio 2009.

LI, Y. *et al.* Comparative evaluation of the efficiency of the BG-Sentinel trap, CDC light trap and Mosquito-oviposition trap for the surveillance of vector mosquitoes. *Parasites & Vectors*, v. 9, n. 1, p. 446, dez. 2016.

LIEW, C.; CURTIS, C. F. Horizontal and vertical dispersal of dengue vector mosquitoes, *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*, in Singapore. *Medical and Veterinary Entomology*, v. 18, n. 4, p. 351–360, dez. 2004.

LÜHKEN, R. *et al.* Field evaluation of four widely used mosquito traps in Central Europe. *Parasites & Vectors*, v. 7, n. 1, p. 268, 2014.

MACIEL-DE-FREITAS, R. *et al.* Mosquito traps designed to capture *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) females: preliminary comparison of Adultrap, MosquiTRAP and backpack aspirator efficiency in a dengue-endemic area of Brazil. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, v. 103, n. 6, p. 602–605, set. 2008.

MACIEL-DE-FREITAS, R.; LOURENÇO-DE-OLIVEIRA, R. Presumed unconstrained dispersal of *Aedes aegypti* in the city of Rio de Janeiro, Brazil. *Revista de Saúde Pública*, v. 43, n. 1, p. 8–12, fev. 2009

MANGOLD, K. A.; REYNOLDS, S. L. A Review of Dengue Fever: A Resurging Tropical Disease. *Pediatric Emergency Care*, v. 29, n. 5, p. 665–669, maio 2013.

Ministério da Saúde. Monitoramento dos casos de arboviroses urbanas transmitidas pelo *Aedes aegypti* (dengue, chikungunya e zika), Semanas Epidemiológicas 1 a 17, 2020. *Bol Epidemiol* 2020; 51(18). Disponível em: <https://www.saude.gov.br/images/pdf/2020/May/04/Boletimepidemiologico-SVS-18.pdf>

MITCHELL, A. *The Esri guide to GIS analysis: geographic patterns and relationships*. \$n Volume 1. Second edition ed. Redlands, California: Esri Press, 2020.

MUNDIS, S. J. *et al.* Spatial variation in the frequency of knockdown resistance genotypes in Florida *Aedes aegypti* populations. *Parasites & Vectors*, v. 13, n. 1, p. 241, dez. 2020.

NIÑO, L. Interpolación espacial de la abundancia larval de *Aedes aegypti* para localizar focos de infestación. *Revista Panamericana de Salud Pública*, v. 29, n. 6, p. 416–422, jun. 2011.

NUNES, P. S. *et al.* Zika virus infection and microcephaly: spatial analysis and socio-environmental determinants in a region of high *Aedes aegypti* infestation in the Central-West Region of Brazil. *BMC Infectious Diseases*, v. 21, n. 1, p. 1107, dez. 2021.

OUATTARA, C. A. *et al.* Spatiotemporal analysis of dengue fever in Burkina Faso from 2016 to 2019. *BMC Public Health*, v. 22, n. 1, p. 462, dez. 2022.

PARRA, M. C. P. *et al.* Using adult *Aedes aegypti* females to predict areas at risk for dengue transmission: A spatial case-control study. *Acta Tropica*, v. 182, p. 43–53, jun. 2018.

PEPIN, K. M. *et al.* Cost-effectiveness of Novel System of Mosquito Surveillance and Control, Brazil. *Emerging Infectious Diseases*, v. 19, n. 4, p. 542–550, abr. 2013.

PEPIN, K. M. *et al.* Utility of mosquito surveillance data for spatial prioritization of vector control against dengue viruses in three Brazilian cities. *Parasites & Vectors*, v. 8, n. 1, p. 98, 2015.

PLOURDE, A. R.; BLOCH, E. M. A Literature Review of Zika Virus. *Emerging Infectious Diseases*, v. 22, n. 7, p. 1185–1192, jul. 2016.

PORCASI, X. *et al.* Spatial analysis of *Aedes aegypti* activity for public health surveillance. 2019 XVIII Workshop on Information Processing and Control (RPIC). *Anais... Em: 2019 XVIII WORKSHOP ON INFORMATION PROCESSING AND CONTROL (RPIC)*. Bahía Blanca, Argentina: IEEE, set. 2019.

POSSAS, C. *et al.* Zika puzzle in Brazil: peculiar conditions of viral introduction and dissemination - A Review. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, v. 112, n. 5, p. 319–327, 6 abr. 2017.

PUTNAM, J. L.; SCOTT, T. W. Blood-Feeding Behavior of Dengue-2 Virus-Infected *Aedes Aegypti*. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, v. 52, n. 3, p. 225–227, 1 mar. 1995.

Queiroz, E., & Medronho, R. (2021). Spatial analysis of the incidence of Dengue, Zika and Chikungunya and socioeconomic determinants in the city of Rio de Janeiro, Brazil. *Epidemiology and Infection*, 149, E188. doi:10.1017/S095026882100180

Resolução do Conselho Nacional de Saúde (CNS) nº 466/2012, de 12 de dezembro de 2012. Disponível em: <https://conselho.saude.gov.br/resolucoes/2012/Reso466.pdf>

RICAS REZENDE, H. *et al.* First report of *Aedes albopictus* infected by Dengue and Zika virus in a rural outbreak in Brazil. *PLOS ONE*, v. 15, n. 3, p. e0229847, 12 mar. 2020.

RITCHIE, S. A. *et al.* Field Validation of the Gravid Aedes Trap (GAT) for Collection of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *Journal of Medical Entomology*, v. 51, n. 1, p. 210–219, 1 jan. 2014.

ROSE, A. *et al.* "Der BG-sentinel, eine neuartige stechmückenfalle für forschung und überwachung." *Mitt Dtsch Ges Allg Angew Entomol* 15 (2006): 345-348.

ROWE, R. D. *et al.* Spatial-temporal clusters of host-seeking *Aedes albopictus*, *Aedes japonicus*, and *Aedes triseriatus* collections in a La Crosse virus endemic county (Knox County, Tennessee, USA). *PLOS ONE*, v. 15, n. 9, p. e0237322, 3 set. 2020.

SANAVRIA, A. *et al.* Intelligent monitoring of *Aedes aegypti* in a rural area of Rio de Janeiro State, Brazil. *Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo*, v. 59, n. 0, 3 ago. 2017.

SANTIAGO, G. A. *et al.* Performance of the Trioplex real-time RT-PCR assay for detection of Zika, dengue, and chikungunya viruses. *Nature Communications*, v. 9, n. 1, p. 1391, dez. 2018.

SCHOOL OF FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY, UNIVERSITI MALAYSIA TERENGGANU, 21030 KUALA NERUS, TERENGGANU, MALAYSIA *et al.* Co-breeding Association of *Aedes albopictus* (Skuse) and *Aedes aegypti* (Linnaeus) (Diptera: Culicidae) in Relation to Location and Container Size. *Tropical Life Sciences Research*, v. 29, n. 1, p. 213–227, 2018.

SCHULTES, O. L. *et al.* Spatial analysis of dengue incidence and *Aedes aegypti* ovitrap surveillance in Belo Horizonte, Brazil. *Tropical Medicine & International Health*, v. 26, n. 2, p. 237–255, fev. 2021.

Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais (BR). Boletim epidemiológico de monitoramento dos casos de dengue, febre Chikungunya e febre Zika. 2015. [citado em 2022]. Disponível em: <https://www.saude.mg.gov.br/sus/story/7458-informe-epidemiologico-da-dengue-11-09-2015/>

Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais (BR). Boletim epidemiológico de monitoramento dos casos de dengue, febre Chikungunya e febre Zika. 2016. [citado em 2022]. Disponível em: <https://www.saude.mg.gov.br/hpv/story/8606-boletim-epidemiologico-de-monitoramento-dos-casos-de-dengue-chikungunya-e-zika-virus-21-09-2016>

Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais (BR). Boletim epidemiológico de monitoramento dos casos de dengue, febre Chikungunya e febre Zika. 2017. [citado em

2022]. Disponível em:
https://www.saude.mg.gov.br/images/documentos/Boletim_Aedes_11-12-2017_IMPrensa.pdf

Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais (BR). Boletim epidemiológico de monitoramento dos casos de dengue, febre Chikungunya e febre Zika. 2018. [citado em 2022]. Disponível em:
https://www.saude.mg.gov.br/images/documentos/Boletim_Aedes_11-12-2018_IMPrensa.pdf

Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais (BR). Boletim epidemiológico de monitoramento dos casos de dengue, febre Chikungunya e febre Zika. 2019. [citado em 2022]. Disponível em: <https://www.saude.mg.gov.br/component/gmg/story/11745-boletim-epidemiologico-de-monitoramento-dos-casos-de-dengue-chikungunya-e-zika-04-11>

Secretaria de Saúde da Prefeitura Belo Horizonte (MG)). Boletim epidemiológico de monitoramento dos casos de dengue, febre Chikungunya e febre Zika. Balanço Dengue para os anos de 2015-2020 [citado em 2022]. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/saude/informacoes/vigilancia/vigilancia-epidemiologica/doencas-transmissiveis/dengue>

SENE, N. M. *et al.* Blood Feeding Patterns of *Aedes aegypti* Populations in Senegal. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, v. 106, n. 5, p. 1402–1405, 4 maio 2022.

SERPA, L. L. N. *et al.* Variação sazonal de *Aedes aegypti* e *Aedes albopictus* no município de Potim, São Paulo. *Revista de Saúde Pública*, v. 40, n. 6, p. 1101–1105, dez. 2006.

SHABBIR, W.; PILZ, J.; NAEEM, A. A spatial-temporal study for the spread of dengue depending on climate factors in Pakistan (2006–2017). *BMC Public Health*, v. 20, n. 1, p. 995, dez. 2020.

SILVA, H. A. Avaliação armadilha Gravid Aedes Trap (GAT): vídeo-análise do seu mecanismo de funcionamento e seu uso como ferramenta de monitoramento de *Aedes aegypti*. 2021. Dissertação de mestrado (Mestrado em Parasitologia) Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021

SILVA, I. M. Avaliação de componentes sintéticos do odor humano como atraentes para *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) em laboratório e campo. 2003. Tese de doutorado (Doutorado em Parasitologia) - Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003

Silva, Rivany Fernandes da, and David Pereira Neves. "The mosquitoes (Diptera: Culicidae) of the Ecologic Campus of UFMG, Belo Horizonte, Minas Gerais." *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* 84 (1989): 501-503.

Silver JB: *Mosquito Ecology Field Sampling Methods*. Dordrecht, the Netherlands: Springer; 2008:1477.

Silverman, B. W. *Density Estimation for Statistics and Data Analysis*. New York: Chapman and Hall, 1986.

SIMÕES, T. C. *et al.* Modeling the Non-Stationary Climate Dependent Temporal Dynamics of *Aedes aegypti*. PLoS ONE, v. 8, n. 8, p. e64773, 20 ago. 2013.

SINAN WEB – CALENDÁRIO EPIDEMIOLÓGICO. Disponível em: <http://portalsinan.saude.gov.br/calendario-epidemiologico-2018-19-20>

SOARES, E. N. L. *et al.* Spatial distribution of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in vulnerable areas for the transmission of arboviruses. Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical, v. 52, p. e20180341, 2019.

SORIANO, J. M. B. Urbanization Determines the Abundance of Disease Vector Mosquitoes in Moorea, French Polynesia. Berkeley Scientific Journal, v. 24, n. 2, 2020.

SOUZA-NETO, J. A.; POWELL, J. R.; BONIZZONI, M. *Aedes aegypti* vector competence studies: A review. Infection, Genetics and Evolution, v. 67, p. 191–209, jan. 2019.

SOUZA-SANTOS, R.; CARVALHO, M. S. Análise da distribuição espacial de larvas de *Aedes aegypti* na Ilha do Governador, Rio de Janeiro, Brasil. Cadernos de Saúde Pública, v. 16, n. 1, p. 31–42, jan. 2000.

SUAYA, J. A. *et al.* "Dengue: burden of disease and costs of illness." TDR. Report of the Scientific Working Group Meeting on Dengue. Vol. 1. 2007.

TABER, E. D. *et al.* A decade of colonization: the spread of the Asian tiger mosquito in Pennsylvania and implications for disease risk. Journal of Vector Ecology, v. 42, n. 1, p. 3–12, jun. 2017.

TAKKEN, W.; VERHULST, N. O. Host Perences of Blood-Feeding Mosquitoes. Annual Review of Entomology, v. 58, n. 1, p. 433–453, 7 jan. 2013.

Tandon, N & Ray, S. (2000). Breeding Habitats and Larval Indices of *Aedes aegypti* and *Ae. albopictus* in the Residential Areas of Calcutta City. The Journal of communicable diseases. 32. 180-4.

TROYO, A. *et al.* Seasonal profiles of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) larval habitats in an urban area of Costa Rica with a history of mosquito control. Journal of Vector Ecology, v. 33, n. 1, p. 76–88, jun. 2008.

TSAI, P.-J. *et al.* Critical low temperature for the survival of *Aedes aegypti* in Taiwan. **Parasites & Vectors**, v. 11, n. 1, p. 22, dez. 2018.

UFMG - Nota da UFMG para suspensão de atividades no Campus Pampulha. Disponível em: <https://ufmg.br/comunicacao/noticias/ufmg-anuncia-interruptao-progressiva-de-atividades>

UFMG, Notícia sobre o prêmio de inovação do MI-Aedes, Disponível em: <https://www.ufmg.br/boletim/bol1556/quarta.shtml>

UFMG. Criação e ocupação do edifício da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível: <https://www.eng.ufmg.br/portal/aescola/historico/>

UFMG. PDI/UFMG: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS: PLANO DE DESENVOLVIMENTO INSTITUCIONAL 2018 – 2023

VALLE, D.; PIMENTA, D. N.; CUNHA, R. V. DA (EDS.). Dengue: teorias e práticas. Rio de Janeiro, RJ: Editora FIOCRUZ, 2015.

VALLE, D.; PIMENTA, D. N.; CUNHA, R. V. DA (EDS.). Dengue: teorias e práticas. Rio de Janeiro, RJ: Editora FIOCRUZ, 2015.

VASCONCELOS, V. V.; PINHO, C. M. D. DE. MULTIVARIATE GEOVISUALIZATION OF DENGUE, ZIKA AND CHIKUNGUNYA CASES IN BRAZIL: A DIDACTIC EXPERIENCE. **Hygeia - Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, v. 13, n. 25, 28 set. 2017.

WALDOCK, J. *et al.* The role of environmental variables on *Aedes albopictus* biology and chikungunya epidemiology. *Pathogens and Global Health*, v. 107, n. 5, p. 224–241, jul. 2013.

Who. Dengue And Dengue Hemorrhagic Fever Factsheet No 117.

WILKE, A. B. B. *et al.* Urbanization favors the proliferation of *Aedes aegypti* and *Culex quinquefasciatus* in urban areas of Miami-Dade County, Florida. *Scientific Reports*, v. 11, n. 1, p. 22989, dez. 2021.

WONG, J. *et al.* Oviposition Site Selection by the Dengue Vector *Aedes aegypti* and Its Implications for Dengue Control. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, v. 5, n. 4, p. e1015, 12 abr. 2011.

World Health Organization. (2018). Efficacy-testing of traps for control of aedes spp. mosquito vectors. World Health Organization.

World Health Organization. 2018. Efficacy-testing of traps for control of *Aedes* spp. mosquito vectors. World Health Organization. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/275801>.

YANG, B. *et al.* Modelling distributions of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* using climate, host density and interspecies competition. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, v. 15, n. 3, p. e0009063, 25 mar. 2021.