

Universidade Federal de Minas Gerais
Instituto de Ciências Biológicas
Departamento de Parasitologia
Programa de Pós-graduação em Parasitologia

Distribuição espaço-temporal do *Aedes (Stegomyia) aegypti* (Diptera:
Culicidae) e casos de dengue e avaliação de variáveis climáticas em Porto
Alegre(RS)

Danielle Andreza da Cruz Ferreira

Belo Horizonte
2015

Danielle Andreza da Cruz Ferreira

Distribuição espaço-temporal do *Aedes (Stegomyia) aegypti* (Diptera: Culicidae) e casos de dengue e avaliação de variáveis climáticas em Porto Alegre(RS)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Parasitologia do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do grau de mestre.

Área de concentração: Entomologia

Orientador: Dr. Álvaro Eduardo Eiras (UFMG)

Coorientadora: Dra. Camila Palhares Teixeira (UNIFEMM)

Belo Horizonte
Universidade Federal de Minas Gerais
2015

*“E ao final de nossas longas explorações
chegaremos finalmente ao lugar de onde partimos
e o conheceremos então pela primeira vez...”*

Elliot

Agradecimentos

À Deus, por cuidar de todos os detalhes da minha vida com uma precisão capaz de causar espanto, pela força e fé indispensáveis para seguir adiante.

À minha mãe Rosilene da Cruz Ferreira e ao meu pai Rubens Ferreira Pinto por respeitar as minhas escolhas e pela paciência em compreender a minha ausência em diversos momentos. Aos meus irmãos Marilene da Cruz Ferreira e Lucas da Cruz Ferreira, e em especial a minha avó Maria, que sempre me recebe com palavras de otimismo e um abraço de conforto.

Ao Álvaro Eiras por me orientar na condução deste trabalho e pelo convívio. A Camila Teixeira pela coorientação e incentivo, e por sempre trazer boas ideias.

A todos que estão ou já passaram pelo LabEQ: Kelly, Luciane, Ana Paula, Frede, Laila, Bruna, Ermelindo, Eliseu, Bruna, Richard, Isadora, Elis, Luis, Caro, Pri, Karla, Moreno, Tatiana, Mariele e Andreia pelo convívio e oportunidade de aprendizado. Agradeço a Bruna, Frede e Karla por ajudarem no georreferenciamento dos endereços, tarefa tão árdua. A Bruna agradeço especialmente pela paciência em escutar meus relatórios de produtividade diários e interesse em olhar tudo o que eu fazia e mostrava com empolgação. A Kelly, pelo incentivo inicial para entrar no mestrado e por todos os bons conselhos, além da oportunidade de conviver com uma pessoa de coração tão bondoso. A Laila pelos diversos conselhos e dicas, e por me contagiar com seu bom humor. A Ana Paula pela alegria e ajuda durante estes anos. A Tatiana Mingote pelo exemplo de determinação, pela oportunidade de convivência, amizade e sugestões nesse trabalho.

À Carolin Degener e ao Marcelo Azevedo, agradeço por ter a oportunidade de aprender com vocês e pela contribuição essencial para o trabalho, pelas correções e sugestões.

Ao Moreno pelas inúmeras orientações no início do trabalho, e disponibilidade em ajudar.

À Ecovec e a Secretaria Municipal de Saúde de Porto Alegre pelo apoio na condução deste trabalho.

À turma de Mestrado Naldo por ser tão alegre e unida. Especialmente a Pri, minha companheira de turma e lab, e a Nathalie, com as quais sei que posso contar por muito tempo.

Às velhas amigas, ainda e sempre: Paula Nunes, Danielle Diniz, Ariana Gonçalves, e Ângela Cruz.

Ao Cristiano pela compreensão e por estar sempre ao meu lado.

Ao Programa de Pós-graduação em Parasitologia e aos professores. A Sumara e a Sibebe por estarem sempre dispostas a ajudar.

A Fundação Universitária Mendes Pimentel (FUMP) por toda a ajuda desde a graduação.

A todos os professores que tive nesta vida.

RESUMO

A dengue é a arbovirose mais importante que afeta o homem. No Brasil o vetor *Aedes aegypti* está distribuído por todo o território e a doença está se expandindo para as áreas mais frias do país. O presente estudo investigou o efeito das variáveis climáticas sobre a abundância de *Ae. aegypti* e casos de dengue e a relação entre o vetor e os casos da doença em uma região de clima subtropical úmido do Brasil, e analisou-se a distribuição espaço-temporal da dengue e do vetor. O trabalho foi dividido em dois capítulos, no primeiro avaliou-se o efeito da temperatura, precipitação e umidade sobre a densidade populacional de *Ae. aegypti* e casos de dengue em Porto Alegre (RS), além da correlação entre o número de casos da doença e abundância do vetor. Verificou-se que precipitação não apresentou efeito sobre a incidência de dengue e abundância de fêmeas de *Ae. aegypti*. Notou-se que a positividade dos criadouros, abundância de fêmeas e casos de dengue aumentaram com a elevação da temperatura. Entretanto, a abundância de fêmeas diminuiu com o aumento da umidade. As melhores variáveis explicativas significativas foram a temperatura mínima mensal (defasada em um mês) para a positividade dos criadouros, a temperatura média semanal (defasada em quatro semanas, efeito não linear) para a abundância de fêmeas e a temperatura mínima semanal (defasada em quatro semanas) para os casos de dengue. Observou-se o aumento do total de fêmeas de *Ae. aegypti* com a elevação da temperatura até 23°C, após essa temperatura ocorreu uma estabilização. A abundância de fêmeas foi um preditor positivo para o aumento do número de casos de dengue. No segundo capítulo analisou-se a distribuição espaço-temporal da doença e do vetor e a sobreposição espacial e temporal entre áreas de alta infestação e casos de Dengue. A varredura espaço-temporal e o estimador de densidade de Kernel utilizados, identificaram várias regiões no município de alta densidade do vetor, e apenas uma região de alta incidência de dengue. Algumas áreas foram apontadas simultaneamente como de alta infestação para larvas e adultos de *Ae. aegypti*. Os conglomerados espaço-temporais de casos de dengue e abundância do vetor ocorrem na época mais quente do ano. Houve sobreposição espacial entre o conglomerado de caso de dengue e de fêmeas de *Ae. aegypti*, porém ocorreram épocas distintas. A compreensão da distribuição da doença e de *Ae. aegypti*, além da influência do clima na flutuação sazonal do vetor, poderá gerar informações relevantes para o programa de controle da dengue no município.

ABSTRACT

Dengue is the most important arboviral that affects humans. In Brazil, the vector *Aedes aegypti* is distributed throughout the territory and the disease is spreading to colder areas of the country. The present study evaluated the effect of meteorological variables on the abundance of *Ae. aegypti* and dengue cases, and the relation between vector and cases in a subtropical humid climate of Brazil. Furthermore, we analyzed space-time distribution of the disease and vector. This study was divided in two chapters, the first evaluated the effect of temperature, precipitation and humidity on *Ae. aegypti* population density and dengue cases, in addition to the correlation between number of dengue cases and abundance of vector. The results suggested that precipitation has no effect on dengue incidence and *Ae. aegypti* abundance. It was noted that the positivity of breeding sites, females and dengue cases increased with temperature elevation. However, *Ae. aegypti* abundance decreased in high humidity. The best predictors were monthly mean temperature (lag = 1 month) for the positivity of breeding sites, weekly mean temperature (lag = 4 weeks, non-linear effect) for adult vector abundance and weekly minimum temperature (lag = 4 weeks) for dengue cases. Adult *Ae. aegypti* abundance increased with the rise of temperature until 23°C, and stabilized afterwards. Adult vector abundance (lag = 1 week) was a positive predictor for the number of dengue cases. In second chapter we analyzed the space-time distribution of the disease and vector, also the overlap between of high vector infestation areas and dengue cases. Space-time scanning and Kernel density estimator identified several regions in the municipality with high vector infestation, but only one high dengue incidence region. Some regions were identified as high infestation areas for both *Ae. aegypti* larvae and adults. Space-time clusters of dengue cases and vector occurred in the hottest time of the year. There was spatial overlap between dengue cases and female *Ae. Aegypti* clusters, but they did not overlap in time. Understanding the distribution of the disease and *Ae. aegypti* and also the effect of climate on vector seasonal fluctuation can generate relevant information for dengue Control Program in Porto Alegre.

LISTA DE FIGURAS

Introdução Geral

- Figura 1. Distribuição de *Ae. aegypti* e dengue global em 2005 (Halstead 2007). 16
- Figura 2. Distribuição dos casos importados e autóctone de febre Chikungunya por estado da federação no Brasil em 2014 e 2015 (MS 2015a). 18
- Figura 3. Casos de dengue provável por semana epidemiológica, 2013 e 2014. (MS 2015b). 18
- Figura 4. Tecnologias de monitoramento do *Aedes aegypti*. a) Dengue Report: dispositivo móvel, QR Code de identificação do domicílio e sistema online para acompanhamento das atividades de rotina. b) MI-Dengue: armadilha de captura MosquiTRAP, dispositivo móvel e sistema online para a gestão dos dados enviados. Fonte: Ecovec Ltda. 23

Capítulo I

- Figura 5. Mapa de Porto Alegre (RS). Regiões do orçamento participativo (em cores) e em destaque os bairros da área de estudo. 31
- Figura 6. Locais de instalação das armadilhas MosquiTRAP em Porto Alegre (RS). 32
- Figura 7. Série temporal da captura média semanal de fêmeas de *Aedes aegypti* pela MosquiTRAP em Porto Alegre (RS) (Outubro de 2012 à maio de 2014). 37
- Figura 8. Captura média de fêmeas de *Aedes aegypti* pela MosquiTRAP por semana nos bairros monitorados pelo MI-Dengue em Porto Alegre(RS). (Outubro de 2012 a maio de 2014). 38
- Figura 9. Série temporal semanal do total (*Ae.aegypti_soma*) e média de fêmeas de *Aedes aegypti* capturadas pela MosquiTRAP, temperaturas mínima, média, máxima, da umidade e da precipitação acumulada de Porto Alegre (RS). (Outubro de 2012 a maio de 2014). 39

- Figura 10. Efeito estimado pelo modelo GAM na abundância de fêmeas de *Aedes aegypti*. a) Efeito não linear da temperatura média defasada em quatro semanas (T_{medt-4}). b) Efeito não linear da média de fêmeas capturadas na semana anterior ($Aaefemedt-1$).
- Figura 11. Porcentagem dos tipos de criadouros positivos localizados durante as visitas do Levantamento Rápido de Índices para *Aedes aegypti* (LIRAA) em abril, outubro de 2013 e janeiro e abril de 2014, Porto Alegre (RS).. 43
- Figura 12. Variáveis climáticas mensais de Porto Alegre (RS) entre janeiro de 2013 a maio de 2014. Precipitação (barra cinza), a média da temperatura máxima (linha contínua), a média da temperatura mínima (linha pontilhada) e a umidade relativa média (linha tracejado longo). (*) meses em que realizou-se o Levantamento Rápido de Índices para *Aedes aegypti* (LIRAA). 44
- Figura 13. Mapa dos bairros oficiais de Porto Alegre (RS), mostrando a localização dos casos autóctones de dengue notificados em 2013 (janeiro a dezembro). 46
- Figura 14. Incidência de casos de dengue autóctone em Porto Alegre por bairro a cada 10.000 habitantes, em 2013. 47
- Figura 15. Casos de dengue autóctones e variáveis climáticas registrados em Porto Alegre (RS) por semana epidemiológica em 2013. 48
- Figura 16. Média de fêmeas capturadas pela armadilha MosquiTRAP e total de casos de dengue por semana epidemiológica em Porto Alegre (RS), janeiro a dezembro de 2013. 50

Capítulo II

- Figura 17. Mapa de Porto Alegre (RS). Em destaque área de estudo dos bairros monitorados pelo MI-Dengue. 62
- Figura 18. Estimador de densidade de Kernel da distribuição de casos de dengue autóctone em Porto Alegre em 2013 (janeiro a dezembro). 67
- Figura 19. Estimador de densidade de Kernel da distribuição da abundância de fêmeas de *Aedes aegypti* capturadas pela MosquiTRAP em Porto Alegre: a) 2012, b) 2013, c) 2014. 68
- Figura 20. Estimador de densidade de Kernel da distribuição da abundância 70

- de larvas de *Aedes aegypti* identificadas nos criadouros durante o LIRAA. a) mapa 213, b) mapa 2014.
- Figura 21. Conglomerados de armadilhas MosquiTRAP positivas. (a) 73
Localização geográfica dos conglomerados. O contorno vermelho identifica os conglomerados significativos ($p < 0,05$) (b) Duração dos conglomerados identificados.
- Figura 22. Conglomerados de positividade dos criadouros. (a) Localização 74
geográfica dos conglomerados de criadouros positivos para larvas de *Aedes aegypti* identificados durante o LIRAA. O contorno vermelho identifica o conglomerado significativo ($p < 0,05$) (b) Duração dos conglomerados identificados.
- Figura 23. Conglomerado de casos de dengue. (a) Localização geográfica dos 75
conglomerados de casos de dengue autóctones. O contorno vermelho identifica o conglomerado significativo ($p < 0,05$) (b) Duração dos conglomerados identificados.
- Figura 24. Sobreposição geográfica entre o conglomerado de caso de dengue 76
e fêmeas de *Aedes aegypti*.
- Figura 25. Sobreposição entre os conglomerados significativos ($p < 0,05$) de 77
casos de dengue (vermelho), criadouros positivos para larvas de *Aedes aegypti* (azul) e de armadilhas MosquiTRAP e positivas para fêmeas de *Aedes aegypti* (cinza).

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1.	Classificação dos criadouros por tipo, segundo orientação do Ministério da Saúde (MS 2013).	33
Tabela 2.	Total de Culicídeos capturados pela armadilha MosquiTRAP em Porto Alegre (RS). Período de outubro de 2012 a maio de 2014.	37
Tabela 3.	Melhor Modelo Aditivo Generalizado (GAM) do efeito das variáveis climáticas sobre a abundância semanal de fêmeas de <i>Aedes aegypti</i> .	40
Tabela 4.	Porcentagem de criadouros positivos e negativos para <i>Aedes aegypti</i> identificados durante o LIRAA em Porto Alegre (RS).	42
Tabela 5.	Resultado dos modelos univariados significativos ($p < 0,05$) ajustados com GLM binomial para avaliar o efeito das variáveis climáticas individuais sobre a positividade dos criadouros identificados durante o LIRAA em Porto Alegre (RS).	45
Tabela 6.	Resultado do modelo múltiplo GLM binomial para avaliar o efeito das variáveis climáticas sobre a positividade dos criadouros identificados durante o LIRAA em Porto Alegre (RS).	45
Tabela 7.	Resultados dos modelos univariados GLM binomial negativo significativos ($p < 0,05$): Efeito das variáveis climáticas sobre o número de casos de dengue por semana epidemiológica em Porto Alegre (RS).	49
Tabela 8.	Resultado do MLG binomial negativo: Relação entre a média de fêmeas e casos de dengue por semana	50

CAPÍTULO II

Tabela 9.	Duração e área de sobreposição entre o conglomerado de casos de dengue (ID-C 1) e positividade da MosquiTRAP (ID-A 3 e 17).	78
-----------	---	----

LISTA DE SIGLAS

ACF	Função de Autocorrelação
AIC	Critério de Informação Akaike
BDMEP	Banco de Dados Meteorológicos para o Ensino e Pesquisa
CAAE	Certificado de Apresentação para Apreciação Ética
CGSM	Coordenadoria Geral de Saúde Municipal
CHIKV	Vírus da Chikungunya
DENV	Vírus da Dengue
DP	Desvio-padrão
EDK	Estimador de Densidade de Kernel
FUMP	Fundação Universitária Mendes Pimentel
GAM	Modelos Aditivos Generalizados
GLM	Modelos Lineares Generalizados
IB	Índice de Breteau
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IMFA	Índice Médio de fêmeas de <i>Aedes aegypti</i>
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IP	Índice Predial
ITR	Índice por Tipo de Recipiente
LabEQ	Laboratório de Ecologia Química de Insetos vetores
LIRAA	Levantamento Rápido de Índice para <i>Aedes aegypti</i>
MG	Estado de Minas Gerais, Brasil
MI-Dengue	Monitoramento Inteligente da Dengue
OBSERVA POA	Observatorio da cidade de Porto Alegre
OR	Razão de Chances
PEAa	Programa de Erradicação do <i>Ae. aegypti</i>
PIE	Período de Incubação Extrínseco
PNCD	Programa Nacional de Controle da Dengue
RS	Estado do Rio Grande do Sul, Brasil
SES (RS)	Secretaria Estadual de Saúde do Rio Grande do Sul
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SINAN	Sistema de Informação de Agravos de Notificação
SMS	Secretaria Municipal de Saúde

UBV	Ultra Baixo Volume
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UNIFEMM	Centro Universitário de Sete Lagoas
WGS84	World Geodetic System 1984
WHO	Organização mundial da Saúde

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	16
1.1 Considerações gerais sobre a biologia do vetor <i>Aedes aegypti</i>	16
1.2 Importância médica do vetor <i>Aedes aegypti</i>	17
1.2.1 Transmissão da dengue e ciclo do vírus.....	19
1.3 Fatores associados a transmissão da dengue e ao vetor.....	20
1.4 Controle de <i>Aedes aegypti</i> no Brasil.....	20
1.4.1 Monitoramento do vetor.....	21
2 JUSTIFICATIVA	24
3 OBJETIVOS	25
3.1 Objetivo geral.....	25
3.2 Objetivos específicos.....	25

CAPÍTULO I - Influência das variáveis climáticas na dinâmica populacional do vetor *Aedes aegypti* e nos casos de dengue e a relação entre a abundância do vetor e casos de dengue em Porto Alegre (RS)

RESUMO	27
I.1 INTRODUÇÃO	28
I.2 OBJETIVOS	30
I.2.1 Objetivo geral.....	30
I.2.2 Objetivos específicos.....	30
I.3 MATERIAL E MÉTODOS	30
I.3.1 Área de estudo.....	30
I.3.2 Monitoramento entomológico.....	32
I.3.2.1 Fêmeas de <i>Aedes aegypti</i>	32
I.3.2.2 Formas imaturas do <i>Aedes aegypti</i> -LIRAA	33
I.3.3 Ocorrência de casos de dengue.....	33
I.3.4 Dados meteorológicos.....	34
I.3.5 Análise de dados.....	34
I.3.6 Comitê de ética.....	36
I.4 RESULTADOS	36
I.4.1 Efeito das variáveis climáticas na abundância de fêmeas de <i>Aedes aegypti</i> ..	40

I.4.2 Levantamento Rápido de Índice para <i>Aedes aegypti</i> (LIRAA).....	42
I.4.3 Efeito das variáveis climáticas na positividade dos criadouros para <i>Aedes aegypti</i>	44
I.4.4 Efeitos das variáveis climáticas sobre os casos de dengue.....	45
I.4.5 Influência da abundância vetorial nos casos de dengue.....	49
I.5 DISCUSSÃO	51
I.6 CONCLUSÕES	55

CAPÍTULO II - Distribuição espaço-temporal de *Aedes aegypti* e casos de dengue em Porto Alegre (RS).....

RESUMO	58
II.1 INTRODUÇÃO	59
II.2 OBJETIVOS	61
II.2.1 Objetivo geral.....	61
II.2.2 Objetivos específicos.....	61
II.3 MATERIAL E MÉTODOS	61
II.3.1 Caracterização da área.....	61
II.3.2 Monitoramento de adultos de <i>Aedes aegypti</i>	62
II.3.3 Monitoramento das forma imaturas de <i>Aedes aegypti</i>	63
II.3.4 Casos de dengue.....	63
II.3.5 Bases cartográficas e dados demográficos.....	63
II.3.6 Varredura circular para detecção de conglomerados espaço-temporais.....	64
II.3.7 Conglomerado de casos de dengue.....	64
II.3.8 Conglomerado de <i>Aedes aegypti</i>	65
II.3.9 Verificação da sobreposição entre os conglomerados.....	65
II.3.10 Densidade espacial de casos de dengue e <i>Aedes aegypti</i>	66
II.3.11 Comitê de ética.....	66
II.4 RESULTADOS	67
II.4.1 Densidade de casos de dengue e <i>Aedes aegypti</i>	67
II.4.2 Mapa Kernel de fêmeas de <i>Aedes aegypti</i>	67
II.4.3 Mapa Kernel de larvas de <i>Aedes aegypti</i>	70
II.4.4 Varredura circular espaço-temporal da positividade das MosquiTRAP.....	72

II.4.5 Varredura circular espaço-temporal da positividade dos criadouros durante o LIRAA.....	72
II.4.6 Varredura circular espaço-temporal dos casos de dengue.....	73
II.4.7 Avaliação da sobreposição entre os conglomerados do vetor e dos casos de dengue.....	77
II.5 DISCUSSÃO.....	79
II.6 CONCLUSÕES.....	82
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	83
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85
6 ANEXO	
Termo de aprovação do Comitê de Ética (COEP-UFMG).....	101

1 INTRODUÇÃO GERAL

1.1 Considerações gerais sobre a biologia do vetor *Aedes aegypti*

A espécie *Aedes (Stegomyia) aegypti* (Linnaeus, 1762) (Diptera:Culicidae), nativa do Velho Mundo, é cosmopolita e se encontra em regiões tropicais e subtropicais entre a latitude 45°N e 35°S (Consoli & Oliveira 1994) (Figura 1) sendo sua distribuição associada a população humana (Tabachnik & Powell 1979). O mosquito chegou nas Américas, provavelmente, durante o tráfico de escravos entre os séculos XVI e XIX e no Brasil está distribuído pelos vinte e sete estados da Federação (Pimenta 2005).

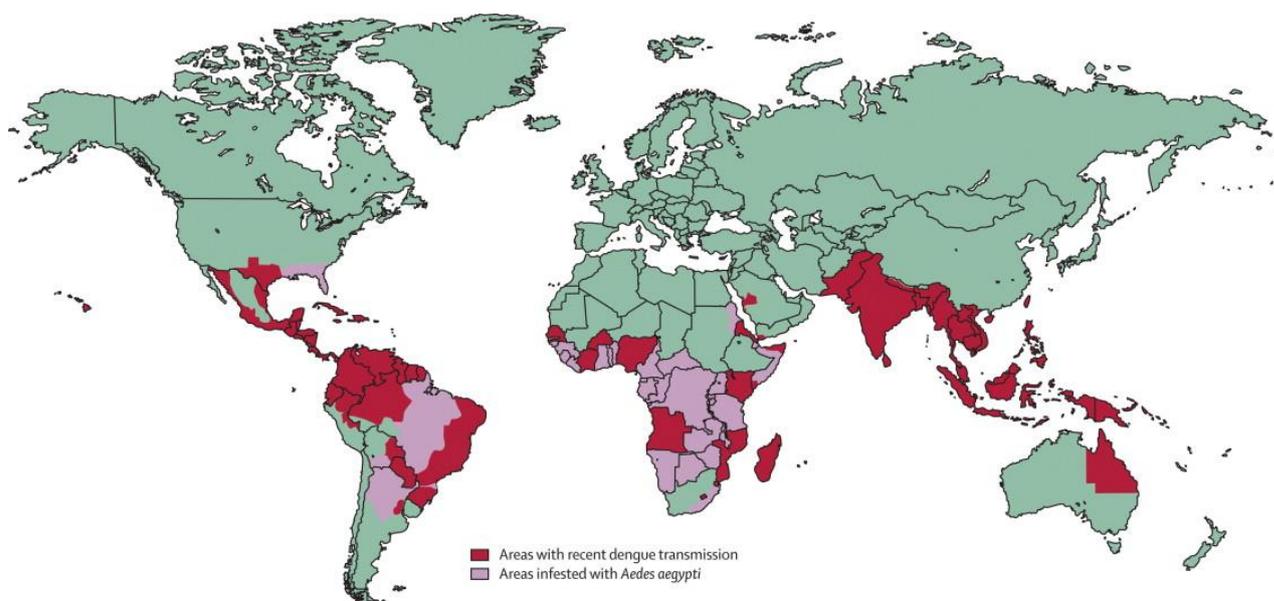


Figura 1. Distribuição de *Aedes aegypti* e dengue global em 2005 (Halstead 2007).

O *Ae. aegypti* adulto se alimenta de substâncias açucaradas como frutose, glicose, sacarose, além de sangue no caso das fêmeas, necessário para maturação e desenvolvimento dos ovócitos. O mosquito, que apresenta hábito diurno, possui maior atividade hematofágica ao amanhecer e no crepúsculo vespertino (Consoli & Oliveira 1994). Após o repasto sanguíneo as fêmeas realizam a oviposição, entretanto a espécie pode apresentar discordância gonotrófica, ou seja, a necessidade de realizar mais de um repasto sanguíneo para a postura de ovos viáveis. Várias alimentações por ciclo gonotrófico têm grande importância epidemiológica, já que pode favorecer a transmissão de patógenos aos hospedeiros (Scott et

al. 2000), considerando que *Ae. aegypti* é vetor de diversos arbovírus (vírus transmitidos por artrópodes) (Figueiredo 2007).

O habitat do *Ae. aegypti* é próximo às habitações humanas, onde se alimenta, copula e deposita os ovos (Powel & Tabachnick 2013, Edman et al. 1992, Vezzani et al. 2008)

1.2 Importância médica do vetor *Aedes aegypti*

O *Aedes aegypti* vetor de diversos arbovírus, tais como o vírus do Mayaro, Febre Amarela, encefalite equina venezuelana, Dengue (DENV) e Chikungunya (CHIKV) (Figueiredo 2007) possui grande importância na saúde pública.

Uma das arboviroses causada é a febre Chikungunya que possui como agente etiológico o vírus CHIKV pertencente ao gênero Alphavírus da família Togaviridae. Os sintomas da doença podem ser dores nas articulações, cabeça e músculos, náuseas e erupção cutânea. Alguns sintomas podem durar dias ou meses, sendo a doença autolimitada e raramente fatal (Hochedez et al. 2006). Essa doença é endêmica em vários países do sul da Ásia (Massad et al. 2008) e no Caribe os primeiros casos autóctones foram registrados em 2013 (Leparc-Goffart et al. 2014). No Brasil, em 2014, foram notificados casos importados provenientes do Caribe (MS 2014a) e no mesmo ano confirmou-se a transmissão autóctone no país (MS 2014b). Desde então, foram notificados 3.655 casos autóctones suspeitos de febre de Chikungunya, dos quais 2.768 foram confirmados (MS 2015a). Os estados que apresentaram casos até a semana epidemiológica 6 de 2015 foram o Amapá, Bahia, Distrito Federal, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Roraima e Goiás (Figura 2). A introdução do CHIKV desencadeia um estado de alerta, pois a doença poderá se expandir para outras localidades considerando a ampla distribuição de vetores competentes e a falta de imunidade da população brasileira.

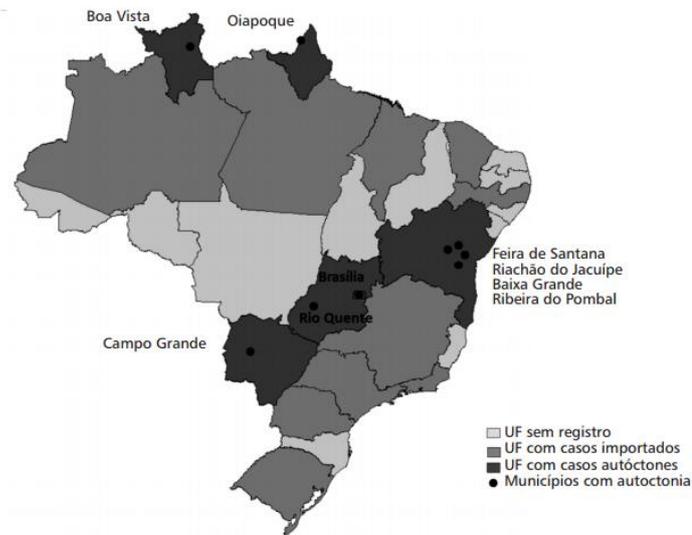


Figura 2. Distribuição dos casos importados e autóctone de febre Chikungunya por estado da federação, no Brasil, em 2014 e 2015 (MS 2015a).

A dengue, a arbovirose mais importante transmitida pelo *Ae. aegypti*, atinge 50-100 milhões de pessoas anualmente e mais de 2,5 bilhões estão em áreas de risco de transmissão (WHO 2013). O Brasil notifica cerca de 70% dos casos de dengue da América (Maciel et al. 2008), em 2013 foram 1.452.489 e no ano seguinte 591.080 casos (Brasil 2015) (Figura 3) demonstrando o caráter epidêmico interanual da dengue, caracterizado por aumento das notificações em um ano e diminuição no seguinte. (Cazelles et al. 2005).

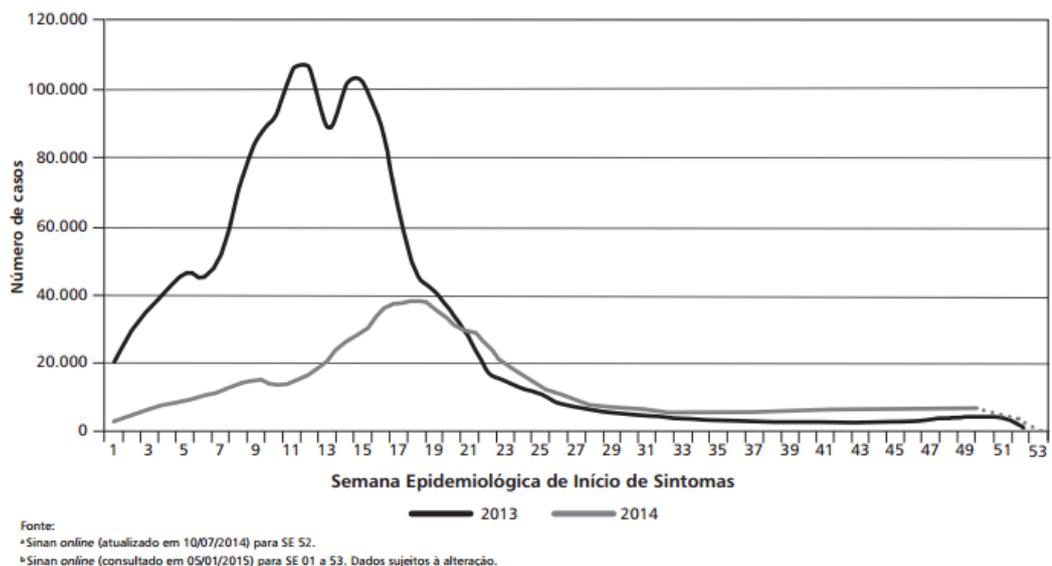


Figura 3. Casos de dengue provável por semana epidemiológica, 2013 e 2014 (MS 2015b).

A dengue é causada pelo *Dengue vírus* (DENV), gênero *Flavivirus*, família Flaviviridae (Westaway et al.1985). Existem quatro sorotipos (DENV1 a DENV4) e todos eles estão em circulação no Brasil (Castro et al. 2012). A doença pode ser sintomática: dor nos músculos, febre e dor de cabeça, ou assintomática (Yoon et al. 2012, Gordon et al. 2013). De acordo com a gravidade a doença pode ser classificada em: dengue, dengue com sinais de alarme e dengue grave (MS 2015c).

O indivíduo previamente infectado por um sorotipo de DENV apresenta imunidade permanente para o mesmo sorotipo (imunidade homóloga) e cruzada (imunidade heteróloga) temporária a sorotipos diferentes (Kurane & Ennis 1992). Assume-se que na ausência de infecção prévia a suscetibilidade ao vírus seja universal (MS 2002b).

A cadeia epidemiológica da doença é complexa e depende da interação entre o vetor, vírus e homem associado a aspectos ecológicos e fatores climáticos (Kyle & Harris 2008). Em regiões infestadas pelo vetor, migrações e viagens constituem fatores de risco (Tauil 2001), e pessoas com picos de viremia se dirigindo para comunidades de indivíduos suscetíveis podem ocasionar epidemias locais, desde que a densidade do vetor exceda a um nível crítico (Focks & Barrera 2006).

1.2.1 Transmissão da dengue e ciclo do vírus

As fêmeas de *Ae. aegypti*, ao realizar o repasto sanguíneo em indivíduo em pico de viremia, podem se infectar com o DENV. O mosquito infectado permanece nessa condição pelo resto da vida, que tem duração em torno de 42 dias (Trpis & Haussermann 1986). No mosquito o vírus se multiplica em diversos órgãos, como no ovário, onde pode ocorrer elevada replicação viral ocasionando a transmissão transovariana (Gubler & Kuno 1997). Ao atingir a glândula salivar, o mosquito está apto a infectar o próximo hospedeiro durante a realização de um novo repasto sanguíneo. Esse período de replicação e maturação do vírus até atingir a glândula salivar é conhecido como período de incubação extrínseca e dura de 8 a 12 dias (MS 2009a). Contudo, Salazar et al. (2007) detectou o vírus na glândula salivar do mosquito a partir do 3º dia pós-infecção, fato que pode ter implicações na transmissão da dengue.

O período de incubação intrínseco ocorre no homem e tem duração de 3 a 15 dias, sendo em média de 5 a 6 dias. A viremia começa um dia antes do aparecimento dos sintomas e vai até o 6º dia da infecção, é nesse intervalo de tempo que ocorre a transmissão do vírus para o mosquito (MS 2009a).

1.3 Fatores associados a transmissão da dengue e ao vetor

Os fatores climáticos interferem na dinâmica populacional de *Ae. aegypti*, no período de replicação do vírus e na interação entre o homem e vetor (Watts et al. 1987, Morin et al. 2013). A temperatura e a umidade interferem na longevidade, fecundidade, viabilidade dos ovos, taxa de alimentação sanguínea e tamanho do vetor (Christophers 1960, Rueda et al. 1990, Kuno 1997). Já o aumento da precipitação favorece a criação de criadouros onde as fêmeas depositam os ovos e as forma imaturas (larvas e pupa) se desenvolvem (Stewart Ibarra et al. 2013), entretanto, a chuva forte pode ter um efeito negativo, dificultando o voo dos mosquitos ou lavando os criadouros.

Os fatores climáticos por agirem em diversos aspectos da biologia e ecologia do vetor e do vírus se relacionam com a transmissão da dengue (Liu-Helmersson et al. 2014). A flutuação sazonal da população de *Ae. aegypti*, influenciada pelas condições climáticas, é caracteriza por aumento nas épocas mais quentes do ano, condizente com o aumento da incidência de dengue (San Martin et al. 2010, Descloux et al. 2012). Contudo, outros fatores são importantes e determinantes na transmissão da doença, tais como os sociodemográficos, como a densidade populacional humana, que favorece o contato entre o vetor e o homem (Padmanabha et al. 2012), o número de habitantes por residência, o nível de urbanização (Kyle & Harris 2008, Wu et al. 2009) e condições socioeconômicas (Gubler et al. 2001, Reiter et al. 2003), além da existência de imunidade prévia ao DENV (Focks et al. 2000, Siqueira-Junior et al. 2008, Banu et al. 2011).

1.4 Controle de *Aedes aegypti* no Brasil

Atualmente não existe tratamento específico e vacina eficaz para a dengue. Dessa forma, o controle do vetor é a principal medida de controle da doença (Guzman et al. 2010, Wong et al. 2011, Simmons et al. 2012, Maciel-de-Freitas et al. 2012). As ações preconizadas em áreas infestadas são o manejo ambiental, a melhoria de saneamento básico, a participação comunitária e o controle químico no tratamento focal (larvário), perifocal em pontos estratégicos (cemitérios, ferro-velho, etc.) e espacial (UBV), este último restrito aos bloqueios de casos e controle de epidemias (MS 2009a).

Na década de 1950 o *Ae. aegypti* foi considerado erradicado do Brasil, porém em 1976 ocorreu a reintrodução e posterior disseminação pelos estados da federação (Tauil 2001, Almeida et al. 2008). As estratégias adotadas durante a reintrodução, baseadas principalmente

no controle químico, demonstraram insucesso (MS 2002a). Em 1996, criou-se o Programa de Erradicação do *Ae. aegypti* (PEAa), contudo percebeu-se a inviabilidade de erradicação desse mosquito a curto e médio prazo. Dessa forma, a nova estratégia estabelecida foi tentar manter a densidade populacional do vetor a níveis aceitáveis. Assim, em 2002, foi instituído o Programa Nacional do Controle da Dengue (PNCD) (MS 2002a), o qual tem como objetivos: (1) reduzir a infestação pelo *Ae. aegypti*, (2) reduzir a incidência da dengue e (3) reduzir a letalidade por febre hemorrágica de dengue. O PNCD adota estratégias integradas e abrange a mobilização social e participação da comunidade. A vigilância entomológica proposta tem como objetivo principal o monitoramento dos índices de infestação de *Ae. aegypti*, através de pesquisas domiciliares de formas imaturas. Entretanto, avaliações do PNCD demonstraram que as metas propostas não estão sendo atingidas na maioria dos municípios e que esse programa necessita de uma revisão operacional (Pessanha et al. 2009).

1.4.1 Monitoramento do Vetor

Existem vários métodos de monitoramento do vetor que utilizam informações obtidas a partir de diferentes fases de desenvolvimento: ovos, larvas, pupa e adultos.

Monitoramento de ovo: O monitoramento da infestação é realizado com o uso da ovitrampa (Fay & Eliason 1966, Braga et al. 2000, Melo et al. 2012), uma armadilha de oviposição de plástico, cor preta com capacidade de 500 ml. No interior contém uma paleta de Eucatex onde as fêmeas realizam a postura. Utiliza-se como atraente uma infusão de gramíneas, o que melhora a eficiência da armadilha. É um método sensível e econômico (MS 2009b), porém exige tempo e força de trabalho adicional para identificação das larvas que eclodem dos ovos coletados em campo (Azil et al. 2011). Recentemente um programa de monitoramento e controle utilizando a ovitrampa e sistema de informação geográfica foi avaliado em Pernambuco (Regis et al. 2013), apresentando bons resultados na supressão populacional do vetor.

Monitoramento de larvas: O Brasil utiliza o Levantamento Rápido de Índices para *Ae. aegypti* (LIRAA) (MS 2013), que propõe um método simples de amostragem para se obter os índices de infestação em tempo hábil.

O LIRAA apresenta os índices de infestação larvários (Predial e Breteau) e o índice por tipo de recipiente. O Índice Predial (IP) é o percentual de edifícios positivos entre os pesquisados, sendo uma das metas do PNCD reduzi-lo a menos de 1%. Já o Índice de Breteau (IB) expressa a relação entre o número de recipientes positivos e o número de imóveis

pesquisados. O Índice por Tipo de Recipiente (ITR) é uma porcentagem entre o número do tipo de recipiente positivo e o número de recipientes positivos pesquisados. Esse índice demonstra a possível importância de determinado tipo de criadouro. Os depósitos são divididos em cinco grupos: a) armazenamento de água, b) depósitos móveis, c) depósitos fixos, d) passíveis de remoção e) naturais.

O plano de amostragem do LIRAA tem como unidade primária o quarteirão e secundária os imóveis. O procedimento para seleção dos locais consiste no sorteio de quarteirões e dentro desses os imóveis. A inspeção de cada quarteirão se inicia pelo primeiro imóvel, com deslocamento no sentido horário, contando-se quatro imóveis após o primeiro para inspecionar o sexto imóvel que será o segundo da amostra. Essa estratégia permite a inspeção de 20% dos imóveis do quarteirão (MS 2009b).

Os resultados obtidos durante o LIRAA são usados para classificar os municípios quanto ao risco de ocorrência de epidemia. Embora os índices apresentados não apresentem boa correlação com a incidência de dengue (Coelho et al. 2008, Burattini et al. 2007).

A capacidade do *Ae. aegypti* de explorar uma grande diversidade de criadouros e depositar ovos em mais de um local, comportamento conhecido com “Skip oviposition” (Chadee et al. 1990, Reiter 2007), associado ao grande número de objetos próximos às instalações humanas que podem servir como criadouro, tornam o método de pesquisa larvária difícil e laborioso (Regis et al. 2013).

Recentemente, o sistema Dengue Report (Ecovec Ltda., Belo Horizonte, MG) foi desenvolvido pela empresa “spin-off”, e consiste em um aplicativo de celular para coleta remota de dados das ações de rotinas de controle da dengue recomendadas pelo PNCD. O Dengue Report armazena e processa, em tempo real, as informações coletadas durante as visitas dos agentes de saúde e, dessa forma, as disponibiliza imediatamente na forma de relatórios e gráficos aos gestores (Figura 4a).

Monitoramento de adultos: São utilizadas armadilhas que atraem os adultos seja por pistas visuais e/ou olfativas, tais como BG-Sentinel® (Barrera 2011, Williams et al. 2013, Azil et al. 2014), utilizada na rotina de monitoramento na Austrália (Azil et al. 2011), e a MosquiTRAP desenvolvida no Laboratório de Ecologia Química de Insetos Vetores (UFMG) (Eiras & Resende 2009).

A MosquiTRAP é um recipiente de coloração preta, constituída por um base que comporta 300 ml de água, um cartão adesivo e um atraente sintético (AtrAedes®). Essa armadilha mimetiza um criadouro atraindo fêmeas grávidas de *Ae. aegypti* que são capturadas no cartão adesivo ao entrar na armadilha. As vantagens dessa ferramenta são a identificação

do inseto no campo e a economia de tempo durante a inspeção semanal (Eiras & Resende 2009, Resende et al. 2010).

O Monitoramento Inteligente da Dengue (MI-Dengue) é um sistema informatizado constituído pela: (a) MosquiTRAP, (b) um dispositivo móvel para coleta de dados e (c) um site no qual as informações são disponibilizadas (Figura 4b). O dispositivo móvel permite que os dados coletados sejam disponibilizados rapidamente aos gestores que acessam as informações sobre a abundância do vetor por semana epidemiológica na forma de mapas e gráficos. Esse sistema fornece o indicador Índice Médio de Fêmeas de *Ae. aegypti* (IMFA), as classes de risco associadas aos valores do IMFA são: (a) Satisfatório: 0 a 0,15 (b) Moderado: 0,15 a 0,3 (c) Alerta: 0,3 a 0,6 (d) Crítico: > 0,6. Trata-se de uma nova metodologia para o monitoramento semanal e contínuo de vetores adultos.

Estimativas demonstram que o MI-Dengue pode evitar casos de dengue e com isso minimizar as perdas econômicas tanto com custo diretos (cuidados médicos e controle do vetor) quanto indiretos (perdas de produtividade no trabalho) (Pepin et al. 2013). Apesar dos resultados positivos e promissores da tecnologia (Eiras & Resende 2009, Melo et al. 2012, Pepin et al 2013) no Brasil não há recomendação técnica para o uso de armadilhas de adultos na rotina das atividades de vigilância e controle do *Ae. aegypti* (MS 2009b).

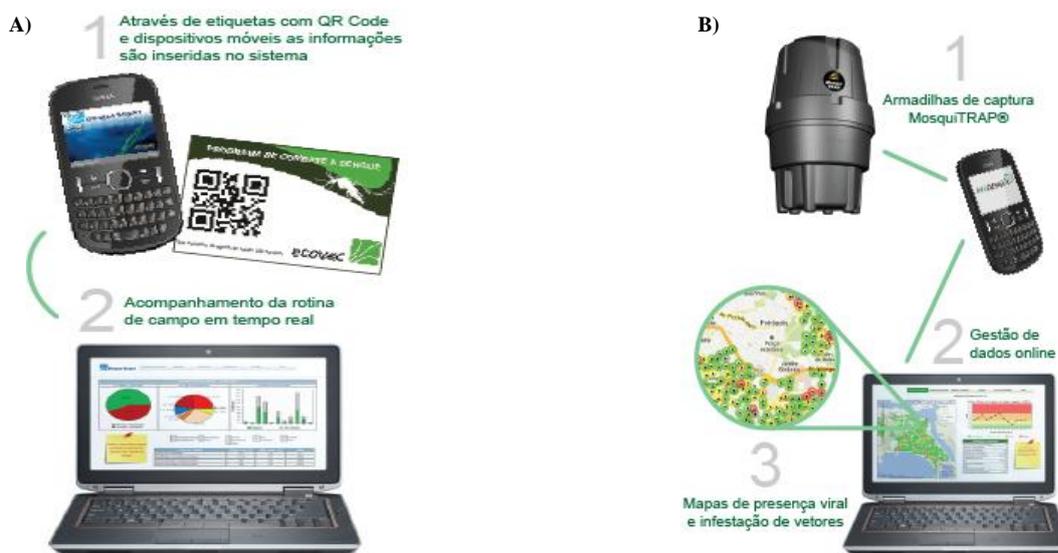


Figura 4. Tecnologias de monitoramento do *Aedes aegypti*. a) Dengue Report: dispositivo móvel, QR Code de identificação do domicílio e sistema online para acompanhamento das

atividades de rotina. b) MI-Dengue: armadilha de captura MosquiTRAP, dispositivo móvel e sistema online para a gestão dos dados enviados. Fonte: Ecovec Ltda.

2 JUSTIFICATIVA

A dengue é a arbovirose mais importante no Brasil, em 2013 foram notificados 1.452.489 casos no país (MS 2015b). As perdas econômicas geradas por essa doença no Brasil são as maiores do hemisfério, tanto com custos diretos quanto com indiretos (Shepard et al. 2011).

Sabe-se que as variáveis climáticas exercem efeito sobre a densidade populacional do *Ae. aegypti* e a incidência de dengue, porém a forma como isso ocorre varia localmente (Azil et al. 2010). Assim, a avaliação da influência das variáveis climáticas no vetor e nos casos de dengue em Porto Alegre poderá ser útil para a compreensão da dinâmica populacional do vetor no município e possível incorporação em modelos preditivos.

A compreensão da distribuição da dengue e do vetor em Porto Alegre poderá subsidiar o programa de vigilância epidemiológica e controle da dengue ao identificar as áreas críticas, objetivando um planejamento direcionado das atividades de controle, e gerar economia de tempo e recursos.

Porto Alegre, por ser um local onde o número de casos autóctones aumentou recentemente, representa uma oportunidade para se compreender a distribuição da doença a partir dos primeiros casos e associá-la a distribuição do vetor.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Analisar o efeito das variáveis climáticas e a dinâmica de distribuição espaço-temporal de *Ae. aegypti* e casos de dengue em Porto Alegre (RS).

3.2 Objetivos específicos

- Avaliar o efeito da temperatura mínima, média e máxima, pluviosidade e umidade na abundância de *Ae. aegypti* e nos casos de dengue.

- Avaliar a correlação entre a incidência de dengue e fêmeas de *Ae. aegypti*.
- Identificar áreas com maior infestação de *Ae. aegypti* e maior densidade de casos de dengue.
- Identificar conglomerados espaço-temporais de casos de dengue e de infestação do *Ae. aegypti*
- Analisar a sobreposição espaço-temporal dos casos de dengue e *Ae. aegypti*.

CAPÍTULO I

Influência das variáveis climáticas na dinâmica populacional do vetor *Aedes aegypti* e nos casos de dengue e a relação entre a abundância do vetor e casos de dengue em Porto Alegre (RS)

RESUMO

O clima é um fator importante nas arboviroses pois interfere no desenvolvimento do vetor e do patógeno. O efeito das variáveis meteorológicas sobre a dengue é amplamente investigado, porém as relações com o clima variam localmente. O presente estudo, investigou o efeito do clima em uma região subtropical úmida do Brasil sobre a transmissão da dengue e dinâmica de *Ae. aegypti* e correlacionou a densidade de fêmeas do vetor e a incidência de dengue. Utilizou-se modelos lineares generalizados (GLM) ou modelos aditivos generalizados (GAM) para análise do efeito das variáveis meteorológicas sobre a positividade dos criadouros, captura de fêmeas de *Ae. aegypti* pela armadilha MosquiTRAP e casos autóctones de dengue referentes a outubro de 2012 a maio de 2014. Os resultados sugerem que a precipitação não possui efeito significativo sobre a incidência de dengue e abundância de fêmeas de *Ae. aegypti*, porém observou-se uma relação negativa entre a precipitação mensal e a positividade dos criadouros (tamanho do efeito -0,03). Observou-se uma tendência de diminuição da abundância de fêmeas conforme o aumento da umidade. O aumento da temperatura demonstrou efeito significativo e positivo sobre abundância de fêmeas, positividade dos criadouros e casos de dengue. Os melhores preditores foram a temperatura mínima mensal (defasada em um mês) para o aumento da chance do criadouro ser positivo (OR= 1,32) e a temperatura média semanal (defasada em quatro semanas) que possui efeito positivo sobre a abundância de fêmeas. A abundância de fêmeas de *Ae. aegypti* aumentou com a elevação da temperatura até 23°C, após essa temperatura notou-se uma estabilização. A temperatura semanal mínima (defasada em quatro semanas) é a variável mais significativa para explicar o aumento da incidência de casos de dengue e a elevação da abundância do vetor, com defasagem de uma semana, se correlaciona significativamente com o aumento de casos de dengue. Dessa forma, concluiu-se que em Porto Alegre a temperatura é a melhor variável climática explicativa para a abundância do vetor e casos de dengue, e que o índice entomológico, fêmeas de *Ae. Aegypti* é um bom preditor da incidência de dengue.

I.1 INTRODUÇÃO

A dengue é a mais importante arbovirose constituindo um problema de saúde pública mundial em expansão. Os casos aumentam a cada ano e a reemergência da doença está ocorrendo em regiões da América do Norte e Europa (Lourenço & Recker 2014, Teets et al. 2014). No Brasil, a dengue é endêmica e ocorre em todos os estados da federação e atualmente os quatro sorotipos virais causadores da doença circulam no país sendo *Aedes aegypti* o vetor (Nogueira & Eppinghaus 2011, Bastos et al. 2012, Castro et al. 2012).

As mudanças climáticas que estão ocorrendo no planeta nos últimos anos podem aumentar a incidência e a expansão de doenças transmitidas por vetores como a dengue (Patz et al. 1996, Reiter 2001), pois fatores climáticos como a temperatura, a umidade e a precipitação podem interferir na biologia do vetor e do patógeno e na interação entre o homem e o mosquito. O fenômeno El niño, por exemplo, é associado com a incidência de casos de dengue no México, Caribe, Costa Rica e Tailândia (Cazelles et al. 2005, Hurtado-Diaz et al. 2007, Amarakoon et al. 2008, Fuller et al. 2009, Colón-González et al. 2011).

A temperatura é considerada o fator climático mais crítico que atua sobre desenvolvimento do vetor *Ae. aegypti* e na replicação do vírus (Reiter 2001, Tun-Lin et al. 2000, Couret & Benedict 2014). A temperatura ideal para o desenvolvimento do *Ae. aegypti* é de 21°C a 29°C, ocorrendo diminuição do tempo de desenvolvimento com o aumento da temperatura (Rueda et al. 1990, Carrington et al. 2013, Farjana et al. 2012). Tun-Lin et al. (2000) demonstraram que o tempo médio entre a eclosão e a emergência do adulto foi em torno de 7 dias aos 35°C e de 39 dias aos 15°C. Com um ciclo de vida mais curto, as formas imaturas tem menos tempo disponível para a alimentação, o que resulta em mosquitos adultos menores (Rueda et al. 1990). Consequentemente, fêmeas menores precisam realizar múltiplas alimentações sanguíneas por ciclo gonotrófico (MacDonald 1956, Scott et al. 1993, Scott et al. 2000, Farjana & Tuno 2013), o que tem grandes implicações na transmissão da doença por favorecer o contato entre o vetor e o homem (Scott & Takken 2012).

A longevidade e a fecundidade de *Ae. aegypti* são influenciadas pela temperatura, sendo maiores na faixa de 22°C a 30°C (Beserra et al. 2006). A sobrevivência do mosquito é crucial para determinar o potencial vetorial, considerando que há um tempo entre replicação do vírus e sua instalação nas glândulas salivares, denominado período de incubação extrínseca (PIE). O mosquito deve sobreviver por período superior ao do PIE para se tornar um potencial vetor (Morin et al. 2013). Interessantemente, o aumento da temperatura diminui o PIE por acelerar a replicação do vírus, com isso mais mosquitos se tornam aptos a transmitir o vírus

em um menor intervalo de tempo. Por outro lado, em temperaturas inferiores a 18°C o vírus não se replica no vetor (Watts et al. 1987).

Por outro lado, a temperatura pode atuar como um fator limitante para o *Ae. aegypti*. A sobrevivência e a fecundidade do vetor diminuem em temperaturas superiores a 30°C (Tun-Lin et al. 2000, Carrington et al. 2013), porém é a temperatura mínima que é crucial para a sobrevivência do mosquito (Reiter 2001, Wu et al. 2009). Aparentemente, o limiar de resistência a baixas temperaturas varia conforme a população do vetor, embora 0°C seja considerado fatal (Christophers 1960, Reiter 2001), a sobrevivência foi observada a -2°C (Thomas et al. 2012), demonstrando que pode existir uma adaptação às condições climáticas das respectivas regiões de origem (Beserra et al. 2006).

A precipitação afeta a dinâmica da população vetorial, pois interfere na criação de criadouros e o aumento dos criadouros está associado com o aumento da população de *Ae. aegypti* (Barrera et al. 2011) e com epidemias de dengue (Banu et al. 2011). Indiretamente, as chuvas exercem importante papel na distribuição do mosquito, sendo que em condições de seca o vetor se dispersa por distâncias maiores em busca de criadouros. Além disso, a seca prolongada pode alterar o comportamento humano: com a falta de chuvas as pessoas podem estocar água em casa e assim criar ambientes favoráveis à multiplicação do *Ae. aegypti* (Kuno 1997, Reiter 2001).

A umidade é outra condição climática muito importante e associada com o aumento da sobrevivência e desenvolvimento dos ovos e com a taxa de alimentação do *Ae. aegypti* (Christophers 1960, Azil et al. 2010, Costa et al. 2010).

As variáveis climáticas, por influenciarem em vários aspectos na biologia do vetor e do vírus, interferem na dinâmica populacional do *Ae. aegypti* e na incidência de dengue, considerando características socioeconômicas e ambientais, circulação do vírus e a imunidade da população local (Kuno 1995, Aström et al. 2012). Devido a isso, As variáveis climáticas são frequentemente incorporadas em modelos preditivos, algumas vezes com defasagem de tempo (Morin et al. 2013).

Na Região Sul do Brasil, onde registram-se menores temperaturas quando comparado com o restante do país, a transmissão autóctone de dengue ocorreu recentemente. Em Porto Alegre (RS) a presença do vetor foi detectada em 2001 (SMS-POA 2001) e os primeiros casos de dengue autóctones em 2010, apesar dos surtos detectados em anos anteriores devido a introdução de casos importados (Barcellos et al. 2005).

A análise dos efeitos sobre os casos de dengue e vetor em uma região de subtropical úmida do Brasil é interessante por ajudar na compreensão da doença e do vetor em uma área

mais fria, onde os casos de dengue autóctones ocorreram recentemente, podendo servir como modelo para lugares com características similares como o sul da Europa e dos Estados Unidos.

I.2 OBJETIVOS

I.2.1 Objetivo geral

Avaliar o efeito das variáveis climáticas na dinâmica populacional do *Ae. aegypti* e nos casos de dengue e a relação entre os casos da doença e a abundância do vetor em Porto Alegre (RS).

I.2.2 Objetivos específicos

- Avaliar o efeito das variáveis meteorológicas (Temperatura mínima, máxima, média, umidade e precipitação) na abundância do vetor (positividade do criadouro e adultos) e nos casos de dengue.
- Investigar a correlação entre a abundância de fêmeas de *Ae. aegypti* e os casos de dengue.

I.3 MATERIAL E MÉTODOS

I.3.1 Área de estudo

Porto Alegre (RS) (latitude 30°01'40" sul e longitude 51°13'43" oeste) está localizada em uma planície circundada por morros, limitada pela orla fluvial do lago Guaíba. A área territorial do município é de 496,68 km², onde 69,06% equivale ao ambiente natural e 30,94% ao construído (Hasenack et al. 2008). A taxa de arborização em torno dos domicílios é de 82,73% (IBGE 2010), sendo uma das maiores entre as capitais brasileiras. A população é de 1.472.482 habitantes (IBGE 2010), apresentando densidade demográfica de 2.837,52 hab/km². A maior parte da população se concentra na área urbana, onde há abastecimento de água e coleta de lixo em mais de 99% dos domicílios (IBGE 2010).

O clima de Porto Alegre é subtropical úmido, caracterizado por temperatura média anual de 19,5°C e precipitação média anual de 1.300 mm. No verão a temperatura geralmente atinge 35°C e no inverno (junho a setembro) varia de 2°C a 20°C (Prefeitura de Porto Alegre).

Desde 2012 o sistema de Monitoramento Inteligente da Dengue (MI-Dengue) está instalado em 22 bairros de Porto Alegre, considerados de maior vulnerabilidade segundo estudo realizado pela Coordenadoria Geral de Saúde municipal (CGSM). Assim, a região de estudo dos dados do vetor se restringiu à área monitorada pelo MI-Dengue correspondente aos bairros: Cel. Aparício Borges, Azenha, Bom Jesus, Cavallhada, Chácara das Pedras, Cidade Baixa, Farroupilha, Glória, Jardim Carvalho, Jardim do Salso, Mario Quintana, Medianeira, Menino Deus, Nonoai, Partenon, Passo da Areia, Passo das Pedras, Santa Tereza, Santo Antonio, São José, Três Figueiras, Vila João Pessoa (Figura 5).

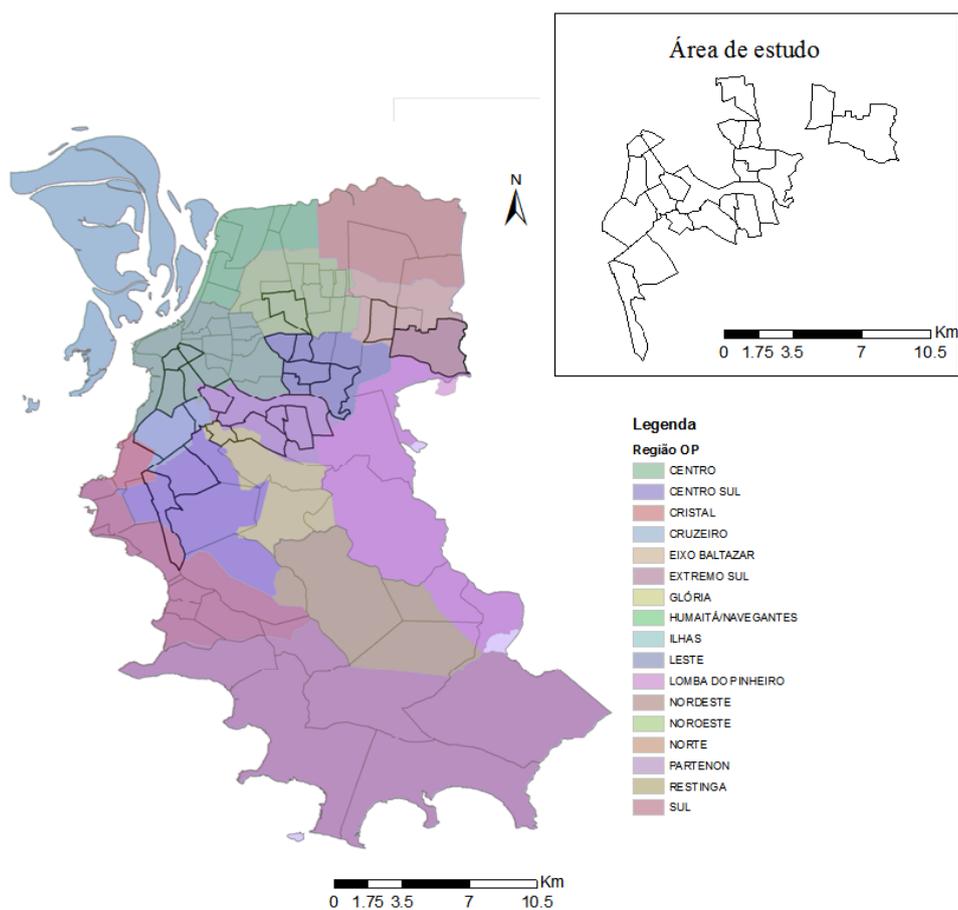


Figura 5. Mapa de Porto Alegre (RS). Regiões do orçamento participativo (em cores) e em destaque os bairros da área de estudo.

I.3.2 Monitoramento entomológico

I.3.2.1 Fêmeas de *Aedes aegypti*

Os adultos de *Ae. aegypti* foram monitorados pelo MI-Dengue (Ecovec Ltda., Belo Horizonte, MG) em Porto Alegre de outubro de 2012 a maio de 2014, por meio de 714 MosquiTRAP® (Figura 6). Uma armadilha MosquiTRAP foi instalada por residência no peridomicílio a uma distância mínima de 250 m uma da outra (Eiras & Resende 2009). As armadilhas foram vistoriadas semanalmente.

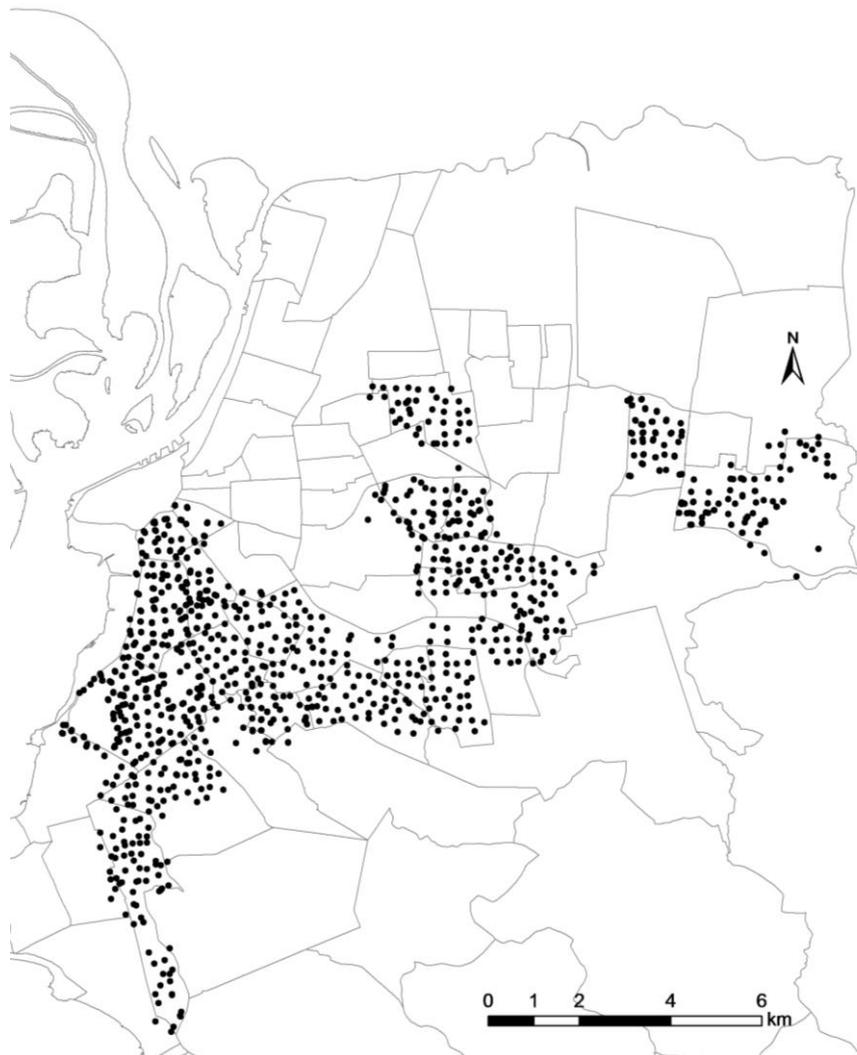


Figura 6. Locais de instalação das armadilhas MosquiTRAP em Porto Alegre (RS).

I.3.2.2 Formas imaturas do *Aedes aegypti* –LIRAA

Em Porto Alegre, os resultados de todas as atividades de rotina recomendadas pelo Ministério da Saúde para o controle do *Ae. aegypti* são armazenadas no sistema Dengue Report (Ecovec Ltda., Belo Horizonte, MG). Foram obtidos através de consulta a esse sistema: (a) o total e os tipos de criadouros localizados, (b) o número de criadouros positivos para *Ae. aegypti*, durante o LIRAA de janeiro, abril e outubro de 2013 e janeiro e abril de 2014. Os dados foram agrupados por mês e a classificação por tipo seguiu a orientação do Ministério da Saúde (Tabela 1).

Tabela 1. Classificação dos criadouros por tipo, segundo orientação do Ministério da Saúde (MS2013).

Grupo	Descrição
A1	Depósito de água elevado
A2	Depósitos ao nível do solo para armazenamento doméstico
B	Depósitos móveis
C	Depósitos fixos
D1	Pneus e outros materiais rodantes
D2	Resíduos sólidos

I.3.3 Ocorrência de casos de dengue

A Secretaria Municipal de Saúde de Porto Alegre disponibilizou informações dos casos de dengue autóctones notificados no Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN) de outubro de 2012 a maio de 2014, mesmo período de monitoramento do vetor. As informações coletadas foram: (a) endereço da residência e (b) dia de início dos primeiros sintomas.

Calculou-se a incidência de dengue por 10.000 habitantes por bairro com base no número de habitantes do censo de 2010 (IBGE 2010) e os endereços foram georreferenciados utilizando o *Google Earth*.

I.3.4 Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos (pluviosidade, umidade, temperaturas mínima, média e máxima diárias) de Porto Alegre, relativos a outubro de 2012 a maio de 2014, foram obtidos do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP). O BDMEP abriga informações meteorológicas diárias referentes a séries históricas da rede de estação meteorológica convencional do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

I.3.5 Análise de dados

Com o objetivo de estimar o efeito das variáveis meteorológicas (temperaturas mínima, média e máxima, umidade e precipitação) sobre a abundância do vetor e nos casos de dengue, foram ajustados Modelos Lineares Generalizados (GLM) ou Modelos Aditivos Generalizados (GAM) com distribuição adequada à variável resposta. O processo de modelagem seguiu os seguintes passos:

Fêmeas de *Aedes aegypti*: Foram analisadas as séries temporais da captura média e total semanal de fêmeas de *Ae. aegypti* e das variáveis climáticas. As variáveis foram calculadas por semana epidemiológica: a média de fêmeas dividindo-se o total de fêmeas capturadas pelo número de armadilhas vistoriadas (*Aaefemed*), a soma de fêmeas (*Aaefem*), a média da temperatura mínima (*Tmin*), média (*Tmed*), máxima (*Tmx*) e da umidade (*umid*) e a precipitação acumulada (*chuva*). Foram calculadas as variáveis defasadas de uma a quatro semanas (*Tmin_{t-1}*, *Tmx_{t-2}*, *Tmed_{t-3}*, *umid_{t-2}*...) em relação à semana de vistoria da armadilha. Calculou-se a precipitação acumulada das semanas defasadas em relação as capturas de fêmeas (*chuva1234*, *chuva123*, *chuva12*, *chuva23*). A série temporal foi de 1 a 83 semanas, com início na semana epidemiológica 44 de 2012 até a 22 de 2014.

A análise exploratória dos dados não demonstrou relação linear entre a variável resposta (*Aaefem*) e as variáveis explicativas (*Tmin*, *Tmed*, *Tmx*, *umid*, *chuva*). Portanto, a avaliação do efeito das variáveis climáticas no total semanal de fêmeas de *Ae. aegypti* foi realizada através de um GAM com distribuição binomial negativa e função de ligação log. O modelo de Poisson comumente utilizado para dados de contagem não foi adequado, pois a variância (64.953) da variável resposta foi muito maior que a média (302), caracterizando sobredispersão.

Fórmula do melhor modelo:

$$Aaefem_t \sim \text{Binomial Negativo}(\mu_t, k)$$

$$\log(\mu_t) = \log(N_t) + f_1(Tmed_{t-4}) + f_2(Aaefemed_{t-1}) + \beta_0$$

Onde $Aaefem_t$ é o número de *Ae. aegypti* fêmeas capturadas na semana t , com $t = 1, \dots, 83$. O termo $\log(N_t)$ é o logaritmo natural do número de armadilhas vistoriadas na semana t , corresponde ao *offset* do modelo. A introdução do *offset* corrige a heterogeneidade da quantidade de armadilhas que foram vistoriadas por semana. Os termos $f_1(Tmed_{t-4})$ e $f_2(Aaefemed_{t-1})$ são os efeitos suavizados não lineares da temperatura (defasagem de quatro semanas) e da média de fêmeas (defasagem de uma semana), respectivamente. O k representa o parâmetro de dispersão.

Inicialmente foram avaliados modelos univariados para cada uma das variáveis climáticas e suas defasagens e a soma das chuvas a nível de significância de 5%. Após, avaliou-se modelos múltiplos, onde o melhor modelo de cada categoria, baseado no menor p-valor da variável foi comparado com o das outras categorias. A seleção do modelo final baseou-se no menor valor de Akaike Information Criterion (AIC) (Akaike 1974).

As temperaturas médias, máximas e mínimas não foram inclusas no mesmo modelo para evitar multicolinearidade. Realizou-se a análise da autocorrelação dos resíduos através da Função de Autocorrelação (ACF). A adequação do modelo final foi verificada através de gráficos de resíduos.

Positividade dos criadouros (larvas de *Aedes aegypti*): Utilizou-se GLM (as variáveis apresentaram relação linear) com distribuição binomial e função de ligação logit para avaliar o efeito das variáveis meteorológicas sobre a positividade dos criadouros localizados durante o LIRAA. As variáveis explicativas foram calculadas por mês: a média da temperatura mínima ($Tmin_{(mensal)t}$), média ($Tmed_{(mensal)t}$), e máxima ($Tmx_{(mensal)t}$), da umidade ($umid_{(mensal)t}$) e precipitação acumulada ($chuva_{(mensal)t}$). Assim como a defasagem dessas variáveis em um mês ($Tmin_{(mensal)t-1}$, $Tmed_{(mensal)t-1}$, $Tmx_{(mensal)t-1}$, $chuva_{(mensal)t-1}$, $umid_{(mensal)t-1}$). A variável resposta dicotômica foi a presença ou ausência de larvas de *Ae. aegypti* nos criadouros.

Inicialmente foram avaliados modelos univariados para cada variável climática e suas defasagens. Por fim, foram ajustados modelos múltiplos adicionando as variáveis significativas. O modelo final foi analisado através de gráficos diagnósticos dos resíduos e o coeficiente foi exponenciado para se obter a razão de chances (OR).

Casos de dengue: O efeito sobre o número de casos de dengue foi ajustado com um GLM com distribuição binomial negativo e função de ligação log, pois a variável resposta apresentava variância (32,2) muito maior que a média (5) caracterizando sobredispersão.

Foram avaliados modelos univariados para cada uma das variáveis climáticas (*Tmin*, *Tmed*, *Tmx*, *umid* e *chuva*) e suas defasagens de uma a quatro semanas (*Tmin_{t-1}*, *Tmx_{t-2}*, *Tmed_{t-3}*, *umid_{t-2}*...) em relação a semana epidemiológica de início dos sintomas. Dentro de uma mesma categoria a seleção baseou-se no menor valor de AIC, e compuseram o modelo múltiplo apenas as significativas no modelo univariado. Com o objetivo de evitar multicolinearidade, as temperaturas mínima, máxima e média não fizeram parte do mesmo modelo.

Relação entre captura média de fêmeas de *Aedes aegypti* e casos de dengue semanais: A análise foi realizada utilizando GLM binomial negativo. Foram avaliados modelos univariados nos quais a variável explicativa foi a média semanal de fêmeas de *Ae. aegypti* (*Aaefemed*) e com defasagem de uma a quatro semanas em relação a semana de início dos primeiros sintomas (*Aaefemed_{t-1}*, *Aaefemed_{t-2}*, *Aaefemed_{t-3}*, *Aaefemed_{t-4}*), e a variável resposta (y) o total de casos de dengue por semana epidemiológica. O modelo de melhor ajuste foi selecionado com base no menor valor de AIC.

Todas as análises foram realizadas no *software* estatístico R (R Development Core Team 2013). Os modelos GAM e GLM binomial negativo foram implementados utilizando-se as bibliotecas *mgcv* (Wood 2006) e *MASS* (Venables & Ripley 2002), respectivamente.

I.3.6 Comitê de ética

Este estudo foi analisado e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais, MG, Brasil (CAAE N°. 3699 1014.7.0000.5149).

I.4 RESULTADOS

De outubro de 2012 a maio de 2014 (83 semanas epidemiológicas) as armadilhas capturaram o total de 69.343 mosquitos (*Culex* sp, *Ae. aegypti* e *Ae. albopictus*), sendo 25.210 (36,35%) fêmeas de *Ae. aegypti* (Tabela 2). A média (\pm desvio-padrão, DP) de fêmeas capturadas por armadilha foi 0,4 ($\pm 1,00$).

Tabela 2. Total de Culicídeos capturados pela armadilha MosquiTRAP, em Porto Alegre (RS), no período de outubro de 2012 a maio de 2014.

Culicídeo		Total	Porcentagem
<i>Aedes aegypti</i>	Macho	314	0,5%
	Fêmea	25.210	36,4%
<i>Aedes albopictus</i>	Macho	280	0,4%
	Fêmea	1.729	2,5%
<i>Culex</i> sp.	Macho	11.241	16,2%
	Fêmea	30.569	44%

A flutuação da abundância do vetor (Figura 7) é, aparentemente, semelhante nos dois anos de estudo. A partir da semana 1 (outubro) há um aumento progressivo da média de capturas de fêmeas até a semana 19 (fevereiro), quando a captura é maior, seguido por declínio até atingir níveis mínimos da semana 40 a 60 (meses de julho a outubro) e após esse período ocorreu um aumento até atingir o valor máximo na semana 79 (abril de 2014), seguido de um declínio progressivo (Figura 7).

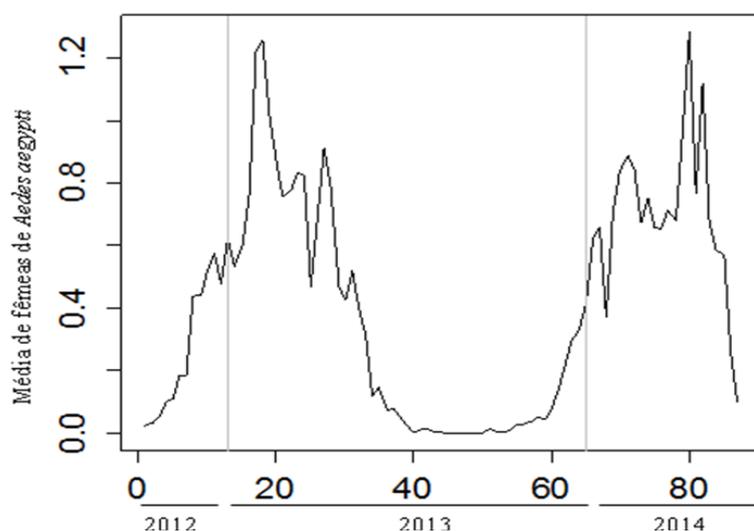


Figura 7. Série temporal da captura média semanal de fêmeas de *Aedes aegypti* pela armadilha MosquiTRAP em Porto Alegre (RS) (Outubro de 2012 à maio de 2014).

O padrão temporal de captura de adultos de *Ae. aegypti* foi similar entre todos os bairros monitorados, marcado por flutuação sazonal do vetor com aumento a partir de outubro

e declínio a partir de abril (Figura 8), o que justifica a análise de uma única série temporal para toda a cidade.

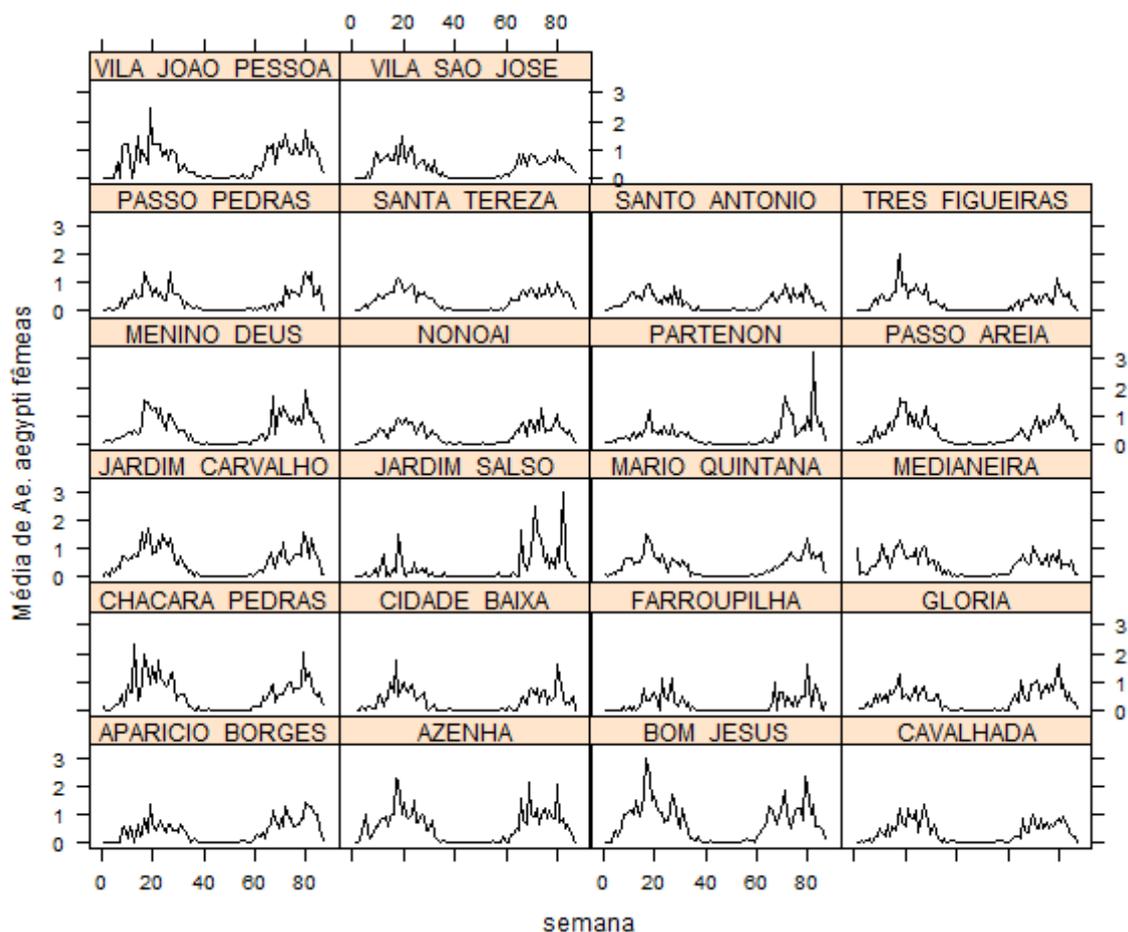


Figura 8. Captura média de fêmeas de *Aedes aegypti* pela MosquiTRAP por semana nos bairros monitorados pelo MI-Dengue em Porto Alegre (RS). (Outubro de 2012 a maio de 2014).

Durante o período de estudo a temperatura semanal mínima variou de 4,9°C a 24,5°C, a máxima de 14,8°C a 38°C, e a média de 8,9°C a 30,7°C. A precipitação semanal variou de zero a 161,5 mm e a umidade de 61,4% a 89,3%. O padrão temporal do aumento da captura média semanal de fêmeas de *Ae. aegypti* foi relacionado com o aumento da temperatura e com a diminuição da umidade. Em relação a chuva não se observa padrão aparente (Figura 9).

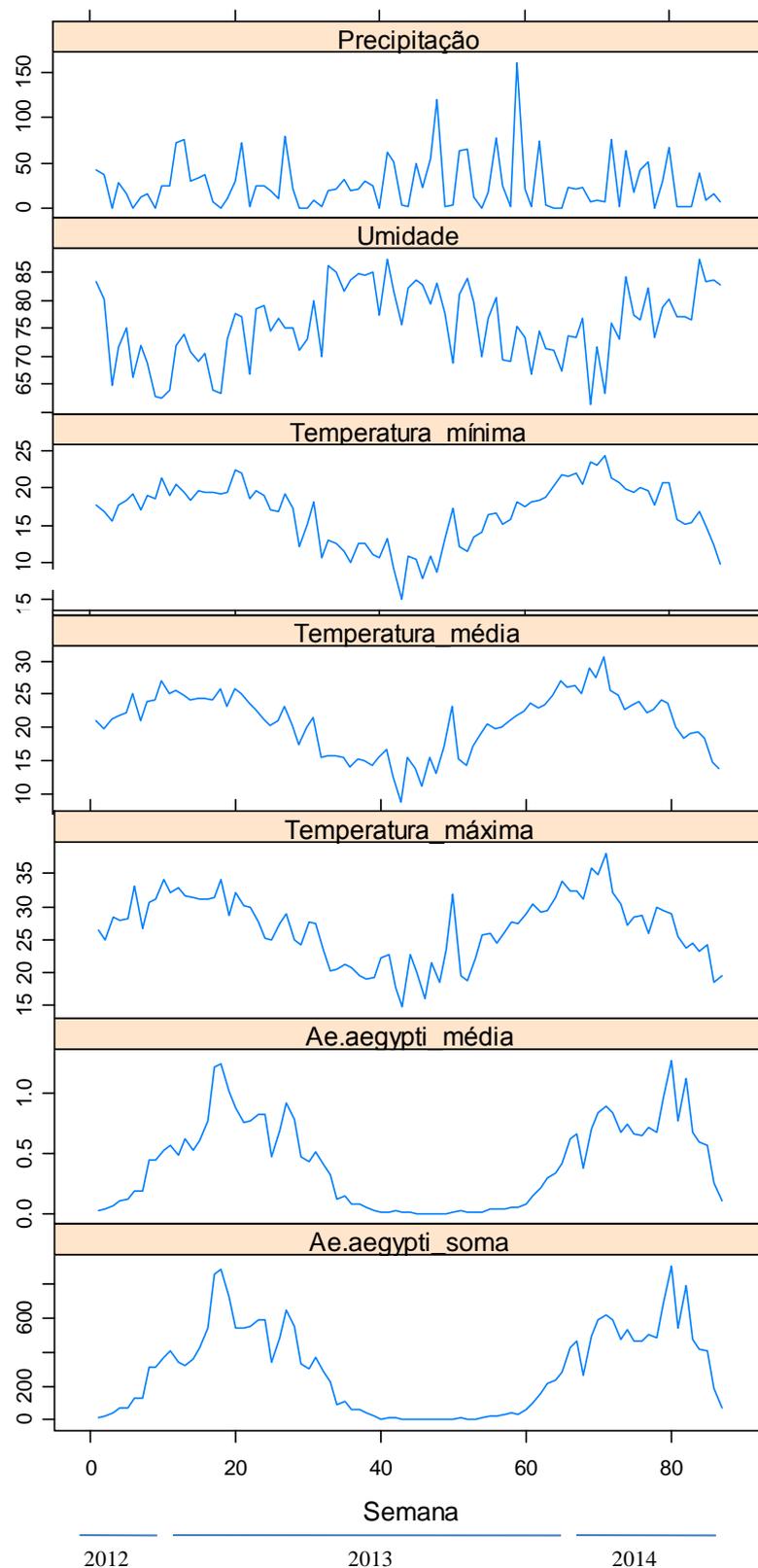


Figura 9. Séries temporais semanais do total (*Ae.aegypti_soma*) e média de fêmeas de *Aedes aegypti* capturadas pela MosquiTRAP, temperaturas mínima, média, máxima, da umidade e da precipitação acumulada de Porto Alegre (RS). (Outubro de 2012 a maio de 2014).

I.4.1 Efeito das variáveis climáticas na abundância de fêmeas de *Aedes aegypti*

Inicialmente foi ajustado um modelo de Poisson para avaliar o efeito das variáveis climáticas na abundância do vetor, porém a relação entre o desvio residual pelos graus de liberdade desse modelo foi 65, demonstrando a sobredispersão dos dados (Zuur et al. 2009)

O efeito não linear da temperatura mínima ($Tmin$, $Tmin_{t-1}$, $Tmin_{t-2}$, $Tmin_{t-3}$, $Tmin_{t-4}$), média ($Tmed$, $Tmed_{t-1}$, $Tmed_{t-2}$, $Tmed_{t-3}$, $Tmed_{t-4}$), máxima (Tmx , Tmx_{t-2} , Tmx_{t-3}) e umidade ($umid_{t-2}$, $umid_{t-3}$, $umid_{t-4}$) sobre a abundância de fêmeas do vetor foi significativo no modelos univariados ($p < 0,05$). Indicando que a abundância de fêmeas diminui com o aumento da umidade. Entretanto, a precipitação não mostrou efeito significativo. O melhor modelo de cada categoria foram os das variáveis $Tmed_{t-4}$, Tmx_{t-3} , $Tmin_{t-4}$ e $umid_{t-4}$.

O modelo da $Tmed_{t-4}$ apresentou o menor AIC (998,8) e, portanto a partir dele foram acrescentadas as outras co-variáveis. A análise dos resíduos do modelo $Tmed_{t-4}$ mostrou a presença de estrutura temporal, o que foi corrigido pela adição de um efeito não linear da média de fêmeas capturadas na semana anterior ($Aaefemed_{t-1}$). Quando acrescentou-se a umidade ($umid_{t-4}$) ao modelo, a variável perdeu a significância ($p > 0,05$). A tabela 3 mostra o modelo final.

Tabela 3. Melhor Modelo Aditivo Generalizado (GAM) do efeito das variáveis climáticas sobre a abundância semanal de fêmeas de *Aedes aegypti*.

Variável	Estimado	Erro padrão	Chi,sq	p-valor
Intercepto	-1,70597	0,04378		<0,001
$s(Tmed_{t-4})$	Suavizado		39,22	<0,001
$s(Aaefemed_{t-1})$	Suavizado		262,21	<0,001

O modelo final indica que com o aumento da temperatura a abundância de mosquitos aumenta até cerca 23°C, acima disso observou-se uma estabilização (Figura 10a). Além disso, demonstra que a quanto maior a média de fêmeas capturadas na semana anterior maior será a abundância na semana atual, após a média de captura semanal 0,8, o efeito é constante. (Figura 10b).

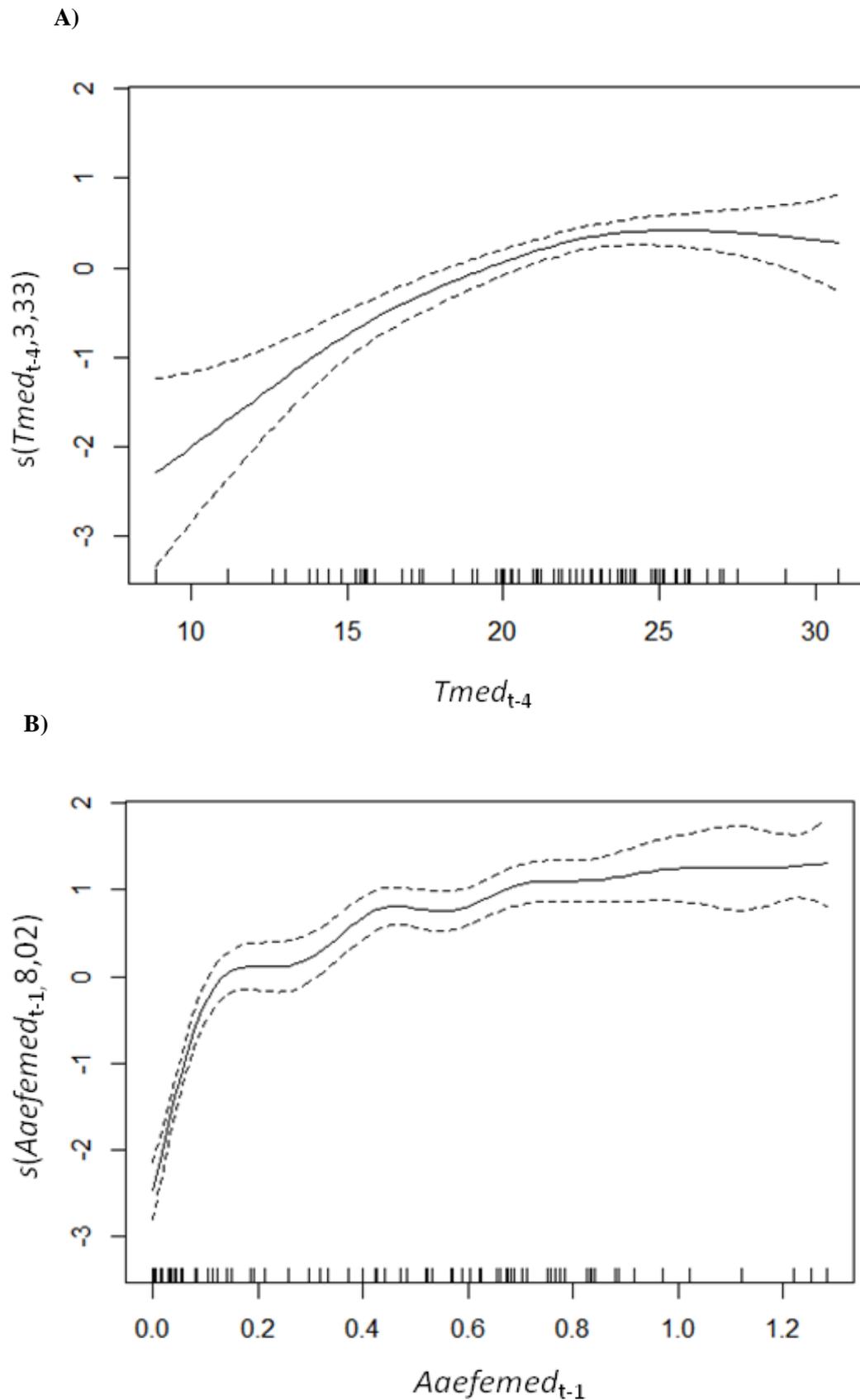


Figura 10. Efeito estimado pelo modelo GAM na abundância de fêmeas de *Aedes aegypti*. a) Efeito não linear da temperatura média defasada em quatro semanas ($Tmed_{t-4}$). b) Efeito não linear da média de fêmeas capturadas na semana anterior ($Aaefemed_{t-1}$).

I.4.2 Levantamento Rápido de Índices para *Aedes aegypti* (LIRAA)

Durante a pesquisa larvária foram localizados 1326 criadouros e 961 (72%) eram positivos para larvas de *Ae. aegypti*. Em todas as épocas em que foi realizada a pesquisa larvária o vetor foi detectado, porém no mês de outubro foi encontrado um número menor de criadouros e menor positividade (26%) (Tabela 4).

Tabela 4. Porcentagem de criadouros positivos e negativos para *Aedes aegypti* identificados durante o LIRAA em Porto Alegre (RS).

Ano	Mês	Total de vistorias	Total de criadouros com larva de culicídeo	Presença de <i>Aedes aegypti</i> (%)
2013	Janeiro	4196	367	72
2013	Abril	3997	340	77
2013	Outubro	4804	98	26
2014	Janeiro	3931	220	71
2014	Abril	4134	301	84

Apesar da diferença de positividade verificada entre os meses nos quais ocorreu a pesquisa larvária, a proporção de tipo de criadouros com larvas foi semelhante entre as diferentes épocas do ano (Figura 11). Foram localizadas larvas em todos os tipos de criadouros, porém o predomínio foi o do tipo B (depósitos móveis) independente do mês de vistoria, seguido pelos resíduos sólidos (D2) e depósitos fixos (C). O tipo A1 (depósito de água elevado) não apresentou larvas no LIRAA de outubro de 2013 e janeiro de 2014, e nos outros meses apenas uma pequena porcentagem desse tipo de criadouro foi positivo. Não havia informações sobre a identificação do tipo de criadouro do mês de janeiro de 2013.

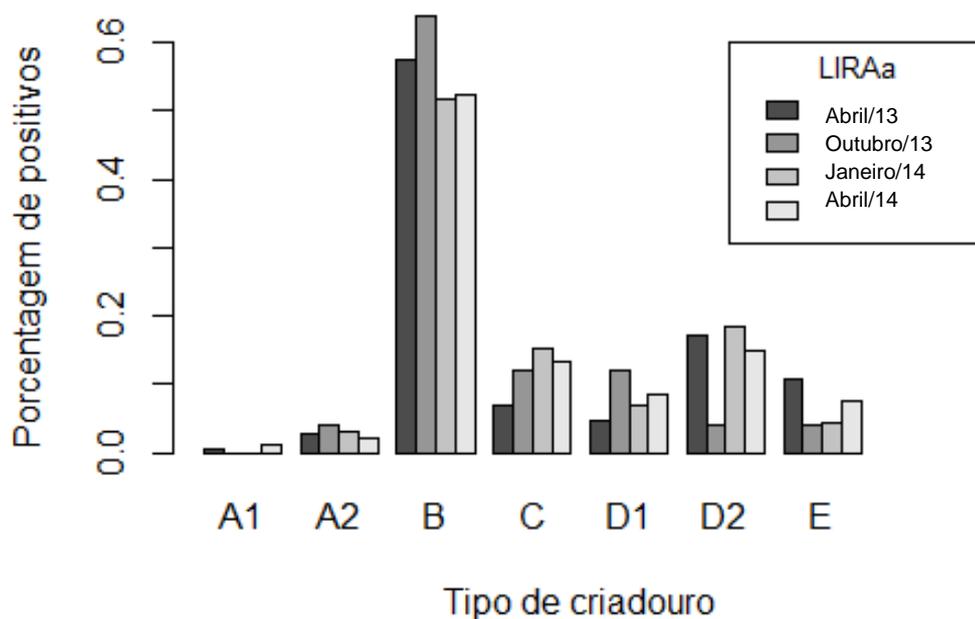


Figura 11. Porcentagem dos tipos de criadouros positivos localizados durante as visitas do Levantamento Rápido de Índices para *Aedes aegypti* (LIRAA) em abril, outubro de 2013 e janeiro e abril de 2014, Porto Alegre (RS).

Nos meses de realização do LIRAA nos anos de 2013 e 2014, observou-se que a média da temperatura mínima mensal variou de 15°C a 21,9° C e a máxima de 24,9°C a 33°C, as menores sempre no mês de outubro e as maiores em janeiro de 2014. A umidade variou mais discretamente de 67,3% (janeiro de 2013) a 76,9% (abril de 2014), já a precipitação registrou volume mínimo (76,8 mm) em janeiro de 2014 e máximo (131,8 mm) em outubro de 2013 (Figura 12). Ocorreram chuvas em todos os meses em que ocorreu a pesquisa larvária.

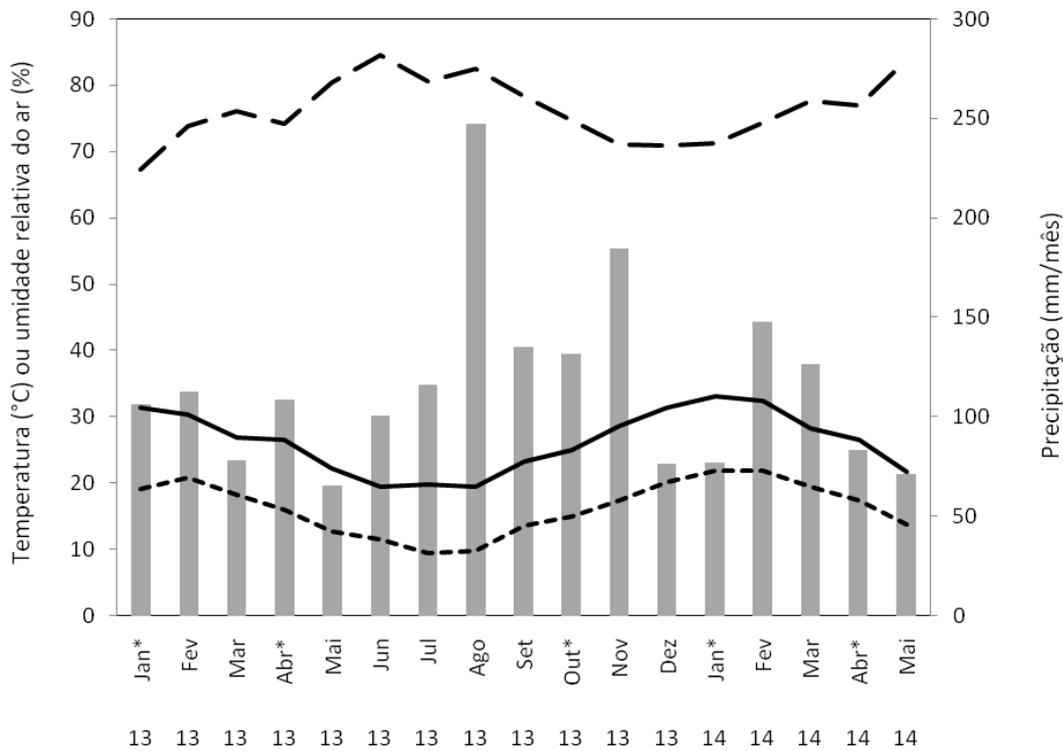


Figura 12. Variáveis climáticas mensais de Porto Alegre (RS) entre janeiro de 2013 a maio de 2014. Precipitação (barra cinza), a média da temperatura máxima (linha contínua), a média da temperatura mínima (linha pontilhada) e a umidade relativa média (linha tracejado longo). (*) meses em que realizou-se o Levantamento Rápido de Índices para *Aedes aegypti* (LIRAA).

I.4.3 Efeito das variáveis climáticas na positividade dos criadouros para *Aedes aegypti*

O resultado do modelo GLM binomial apontou efeito linear significativo das variáveis $Tmin_{(mensal)t}$, $chuva_{(mensal)t}$, $Tmin_{(mensal)t-1}$, $Tmed_{(mensal)t-1}$, $Tmx_{(mensal)t-1}$ sobre a presença de larvas de *Ae. aegypti* (positividade) nos criadouros localizados durante o LIRAA. A umidade não apresentou efeito significativo.

O melhor modelo univariado foi da $Tmin_{(mensal)t-1}$, a seleção baseou-se no menor AIC (Tabela 5). A partir desse modelo adicionou-se a co-variável $chuva_{(mensal)t}$ e obteve-se o modelo múltiplo apresentado na Tabela 6. Porém, a $chuva_{(mensal)t}$ perdeu o efeito detectado no modelo univariado ($p > 0,05$). Logo, o modelo final incluiu apenas a $Tmin_{(mensal)t-1}$.

Tabela 5. Resultado dos modelos univariados significativos ($p < 0,05$) ajustados com GLM binomial para avaliar o efeito das variáveis climáticas individuais sobre a positividade dos criadouros identificados durante o LIRAA em Porto Alegre (RS), de outubro de 2012 a maio de 2014.

Variável	Estimado	p-valor	AIC
$Tmin_{(mensal)t}$	0,06	0,03	1560
$Tmin_{(mensal)t-1}$	0,28	<0,001	1495,3
$Tmed_{(mensal)t-1}$	0,16	<0,001	1529,1
$Tmx_{(mensal)t-1}$	0,08	<0,001	1548,7
$chuva_{(mensal)t}$	-0,03	<0,001	1511,6

Tabela 6. Resultado do modelo múltiplo GLM binomial para avaliar o efeito das variáveis climáticas sobre a positividade dos criadouros identificados durante o LIRAA em Porto Alegre (RS), de outubro de 2012 a maio de 2014.

Variável	Estimado	p-valor	AIC
$Tmin_{(mensal)t-1}$	0,21	<0,001	1495,3
$chuva_{(mensal)t}$	-0,01	0,07	1494

De acordo com o modelo final ajustado a cada 1°C de aumento na temperatura mínima a chance do criadouro ser positivo no próximo mês aumenta por um fator de 1,32, demonstrando a importância da temperatura mínima para a dinâmica da abundância vetorial, pois se há mais criadouros positivos, conseqüentemente, haverá maior número de *Ae. aegypti*.

I.4.4 Efeito das variáveis climáticas sobre os casos de dengue

De outubro de 2012 a maio de 2014 foram notificados 155 casos de dengue autóctones em Porto Alegre. Os casos se distribuíram por 25 bairros da cidade (Figura 13), e cinco casos não tiveram os bairros informados.

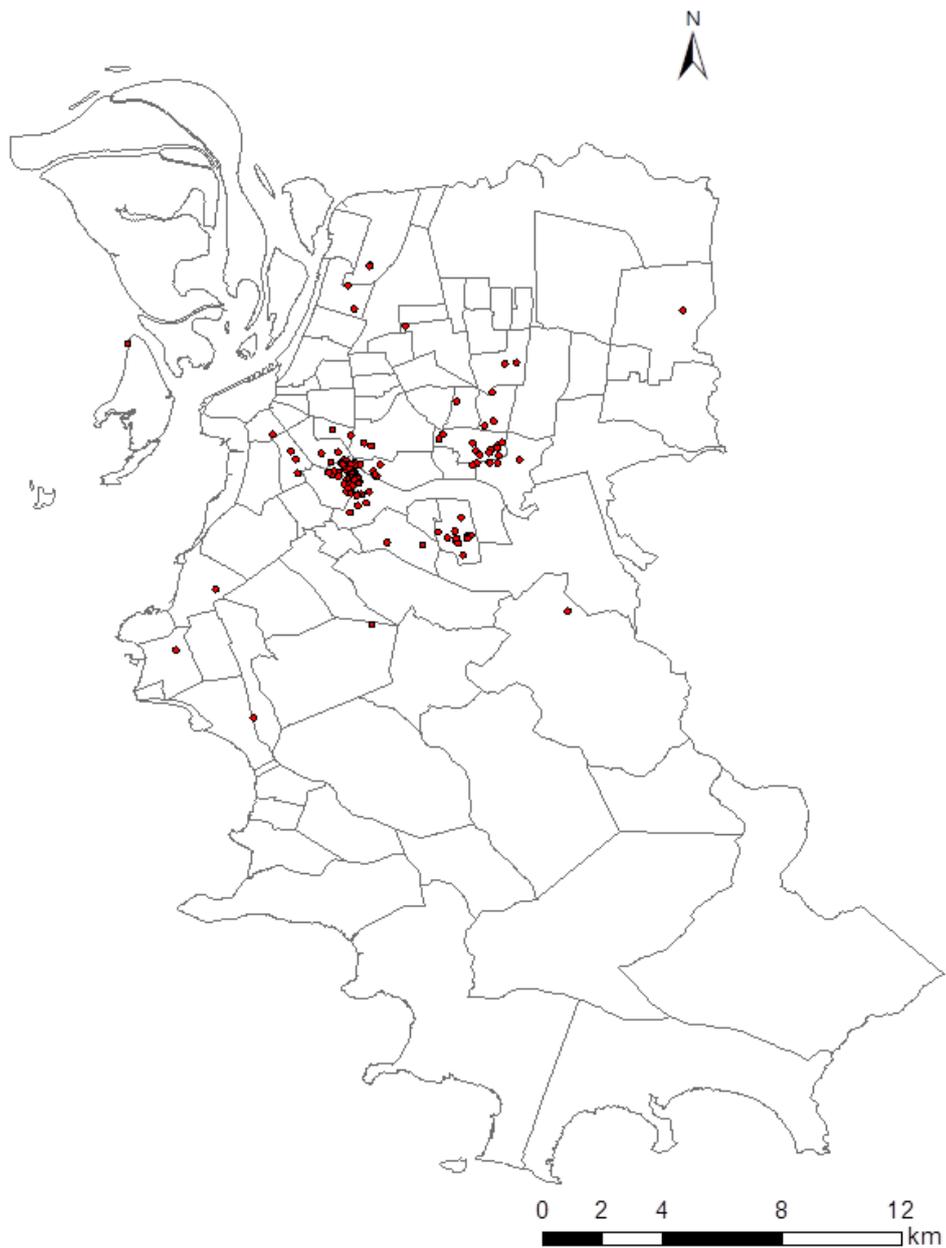


Figura 13. Mapa dos bairros oficiais de Porto Alegre (RS), mostrando a localização dos casos autóctones de dengue notificados em 2013 (janeiro a dezembro).

A incidência de dengue variou entre os bairros (Figura 14), sendo que a menor foi no bairro Rubem Berta (0,13) onde ocorreu um caso e maior no Partenon (15,1) onde foram notificados 69 casos (44% do total).

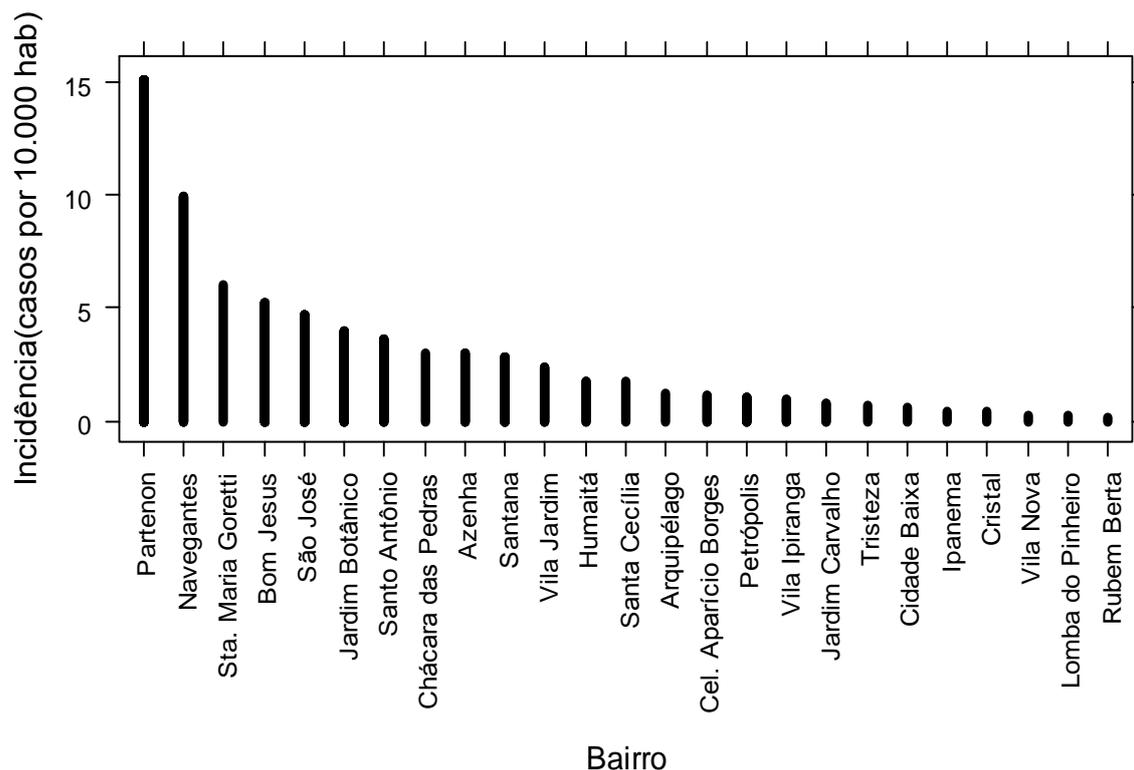


Figura 14. Incidência de casos de dengue autóctone em Porto Alegre, por bairro, a cada 10.000 habitantes, em 2013.

Todos os casos de dengue ocorreram em 2013, a partir da semana epidemiológica 02. No mês de março, semana epidemiológica 10 e 11, foram confirmados o maior número de casos, 17 em cada semana (Figura 15). O último caso foi registrado na semana 27, no mês de julho, época de temperaturas menores.

Da semana epidemiológica 49 de 2012 a 27 de 2014, a temperatura mínima variou de 9,9°C a 22,5°C e a máxima de 18°C a 34°C. Na semana 05 de 2013 não choveu, e a precipitação máxima foi registrada na semana 14 de 2013 atingindo 79,3 mm. A umidade média variou de 62% a 89% (Figura 15).

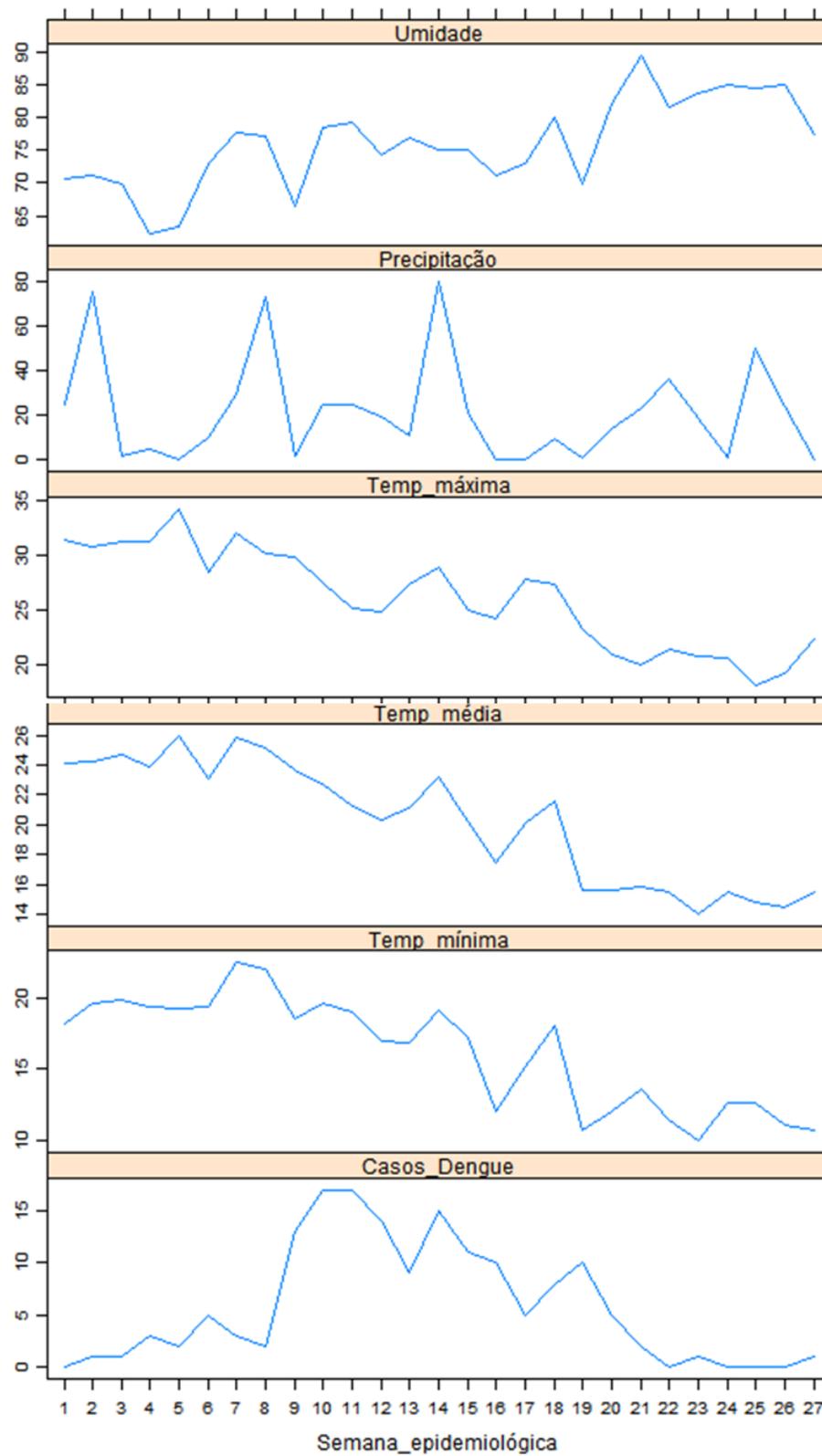


Figura 15. Casos de dengue autóctones e variáveis climáticas registrados em Porto Alegre (RS) por semana epidemiológica, em 2013.

Na avaliação do efeito das variáveis climáticas no número de casos de dengue, o GLM binomial negativo demonstrou que a $Tmin_{t-2}$, $Tmin_{t-3}$, $Tmin_{t-4}$ são preditores positivos do número de casos de dengue, ou seja, o aumento da temperatura contribui para o aumento do número de casos de dengue nas próximas semanas. A umidade, precipitação, temperatura média e máxima não apresentaram nenhum efeito significativo.

O melhor modelo, baseado no menor AIC, foi a $Tmin_{t-4}$ (Tabela 7), indicando que quanto maior a temperatura mínima maior será o número de casos de dengue após 4 semanas (efeito= 0,20)

Tabela 7. Resultados dos modelos univariados GLM binomial negativo significativos ($p < 0,05$): Efeito das variáveis climáticas sobre o número de casos de dengue por semana epidemiológica em Porto Alegre (RS).

Modelo	Variável	Estimado	Erro padrão	p-valor	Parâmetro de Dispersão	AIC
1	$Tmin_{t-2}$	0,15	0,28	0,021	0,83	161,0
2	$Tmin_{t-3}$	0,16	0,35	0,011	0,97	156,8
3	$Tmin_{t-4}$	0,20	0,49	0,001	1,28	150,2

I.4.5 Influência da abundância vetorial nos casos de dengue

Durante o período em que foram notificados os casos de dengue, a média de fêmeas por armadilha se manteve acima de 0,5 durante a maioria das semanas, sendo a maior média na semana epidemiológica 5, quando se registrou 1,25 fêmeas e dois casos de dengue. Já a menor média (0,004) foi na semana 27 quando ocorreu o último caso de dengue do ano (Figura 16).

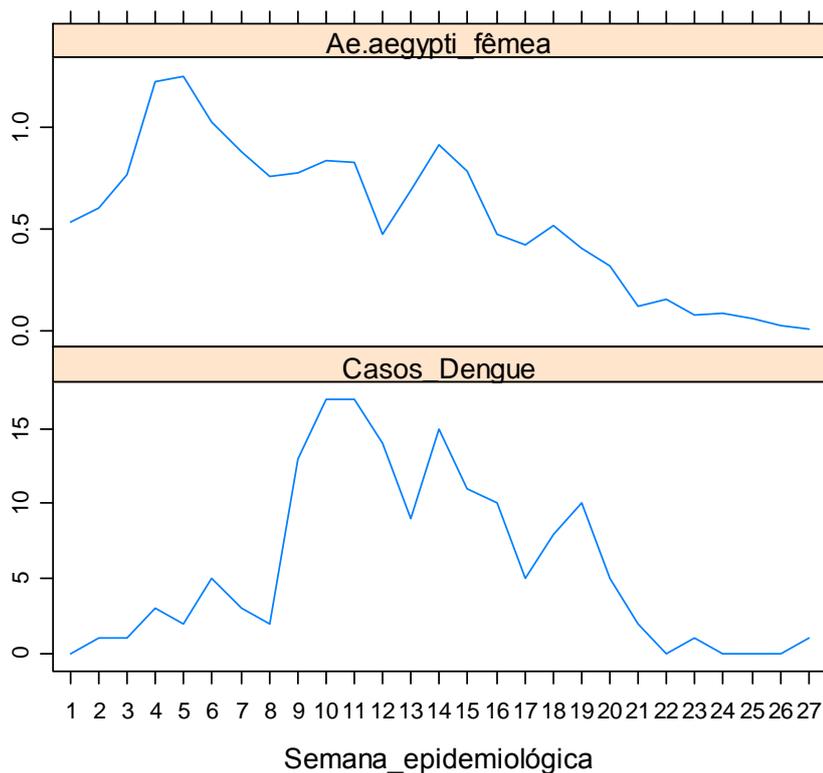


Figura 16. Média de fêmeas capturadas pela armadilha MosquiTRAP e total de casos de dengue por semana epidemiológica em Porto Alegre (RS), janeiro a dezembro de 2013.

De acordo com a média de capturas de fêmeas de *Ae. aegypti*, o modelo GLM binomial (Tabela 8) indicou que uma maior abundância de fêmeas contribui para um maior número de casos de dengue na próxima semana (tamanho do efeito 1,19).

Tabela 8. Resultado do MLG binomial negativo: Relação entre a média de fêmeas e casos de dengue por semana

Modelo	Estimado	Erro padrão	p-valor	Parâmetro de dispersão	AIC
<i>Aaefemed</i>	0,75	0,77	0,15	1,98	133,6
<i>Aaefemed_{t-1}</i>	1,19	0,83	0,02	2,13	131,9
<i>Aaefemed_{t-2}</i>	0,49	0,74	0,36	1,90	134,3
<i>Aaefemed_{t-3}</i>	0,71	0,76	0,18	0,74	133,8
<i>Aaefemed_{t-4}</i>	0,86	0,83	0,11	2,08	132,9

I.5 DISCUSSÃO

Avaliou-se o efeito das variáveis climáticas sobre a dinâmica populacional de *Ae. aegypti* e casos autóctones de dengue em Porto Alegre (RS), bem como a relação entre a densidade de fêmeas do vetor e a incidência da doença, utilizando para isso diferentes defasagens de tempo.

As armadilhas MosquiTRAP capturaram alta porcentagem de fêmeas de *Ae. aegypti* (36,4%) quando comparado com outros culicídeos. Em outros estudos a MosquiTRAP capturou grande número de *Ae. aegypti* (Gama et al. 2007, Fávoro et al. 2008, Maciel-de-Freitas et al. 2008), a maioria fêmeas grávidas, demonstrando a sensibilidade da armadilha que possui potencial para ser incorporada na vigilância entomológica em programas de controle da Dengue (Fávoro et al. 2006). A média de fêmeas por semana apresentou um padrão sazonal caracterizado por aumento na época quente (verão) e declínio no inverno, típico da flutuação natural do *Ae. aegypti* (Micieli & Campos 2003, Vezzani et al. 2004, Troyo et al. 2008)

Em Porto Alegre não se observou associação entre o aumento da abundância de *Ae. aegypti* e a incidência de dengue com a precipitação, apesar da detecção de um efeito fraco e negativo sobre a positividade dos criadouros, o que sugere que a chuva diminua a chance do criadouro ser positivo. Geralmente, a precipitação aumenta o número de criadouros (Kuno 1997) e conseqüentemente a sua positividade, oposto ao observado no presente trabalho. A associação negativa entre a precipitação e índices do vetor (adulto e ovos) foi detectado em Pedro Leopoldo-MG (Resende et al. 2013). Provavelmente, chuvas intensas possam lavar alguns criadouros (retirando as larvas) e, conseqüentemente, apresentar uma relação negativa (Arcari et al. 2007, Morin et al. 2013)

Entre os efeitos dos fatores climáticos na abundância do vetor, o efeito da precipitação é o que mais oscila de uma região para outra, pois sua influência está relacionada com características locais, como os tipos de criadouros que são mantidos pela chuva (Wu et al. 2007). Provavelmente, a precipitação não apresenta efeito significativo sobre o vetor adulto e casos de dengue na área de estudo porque as chuvas são bem distribuídas ao longo do ano, característica do clima subtropical úmido (Alvares et al. 2013). Pinto et al. (2011) não encontraram correlação entre a precipitação e a incidência de dengue em Singapura e atribuíram ao fato das chuvas ocorrerem durante todo o ano, e assim não afetar diretamente a população vetorial.

As variáveis climáticas temperatura mínima, média, máxima e a umidade apresentaram efeito não linear sobre abundância de fêmeas de *Ae. aegypti*. Essas variáveis interferem na sobrevivência e desenvolvimento do vetor, logo, interferem na dinâmica populacional do mosquito. No Rio de Janeiro (RJ), Honório et al. (2009a) encontrou uma associação não linear entre a abundância de fêmeas e a temperatura, corroborando o presente trabalho. Outros estudos encontram efeitos positivos da temperatura sobre a população do vetor (Dibo et al. 2008, Melo 2009, Simões et al. 2013).

O aumento da abundância do vetor é sazonal, e como as condições climáticas se mantêm semelhantes em períodos próximos, as capturas de mosquitos pela MosquiTRAP de uma semana tende a ser similar a anterior, ou seja, há correlação temporal entre as observações. Essa estrutura de correlação temporal foi detectada através da análise dos resíduos e incorporada ao modelo. A incorporação evita a chance de rejeitar a hipótese de que não existe efeito das variáveis climáticas na flutuação populacional do vetor, quando isto é verdadeiro (Zuur et al. 2010).

No presente estudo, o modelo múltiplo explicativo sobre a variação de fêmeas de *Ae. aegypti* por semana inclui o efeito não linear da temperatura média, defasada em quatro semanas, e o da média de fêmeas capturadas na semana anterior pela armadilha. O efeito da média de fêmeas capturadas na semana anterior ($Aaefemed_{t-1}$) demonstrou que quanto maior a captura na semana anterior, maior será a abundância do vetor na semana seguinte. Observou-se que esse efeito é mais forte quando a média de mosquitos é baixa. Provavelmente devido ao rápido aumento da infestação nos períodos mais quentes do ano condizente com o verão. Simões et al. (2013) enfatiza a importância de se considerar a abundância prévia do vetor para compreender o crescimento da população do mosquito.

A partir da média 0,8 o efeito não linear da média de mosquitos capturados na semana anterior se estabiliza. Da mesma forma, poucas são as médias de captura de fêmeas que ultrapassam 0,8. Contudo, essa média já é considerada crítica de acordo com a escala do IMFA e indica alta infestação do vetor (Eiras & Resende 2009).

O modelo de melhor ajuste para a abundância de fêmeas tem o efeito não linear da temperatura média defasada em quatro semanas, sugerindo que o aumento da abundância do vetor se eleva com o aumento da temperatura até 23°C, o que pode ser uma consequência da diminuição do tempo de desenvolvimento das diferentes fases do vetor e da maior sobrevivência observada em temperaturas maiores (Tun-Lin et al. 2000). No Rio de Janeiro, clima tropical, o aumento populacional do vetor foi associado com a temperatura média de 22° a 24° C (Honório et al. 2009a), ou seja, faixa de temperatura similar a encontrada no

presente trabalho, apesar de se tratar de regiões climáticas diferenciadas. A estabilização observada e leve tendência de declínio a partir do 27°C, pode estar relacionado ao fato que temperaturas elevadas diminuem a sobrevivência e a fecundidade do vetor (Tun-Lin et al. 2000, Carrington et al. 2013).

Em Porto Alegre, nos meses frios chegou-se a atingir 2°C, e como consequência a abundância do vetor foi reduzida a níveis mínimos. Porém, na próxima estação quente ocorreu o restabelecimento de médias altas de capturas, sugerindo que a população de *Ae. aegypti* resiste a baixa temperatura do inverno da capital.

No presente trabalho, não foi avaliado o efeito da interação entre a temperatura e a umidade, embora observa-se uma tendência do aumento da umidade quando a temperatura é menor. Além disso, observou-se uma diminuição na abundância do vetor com o aumento da umidade. Couret & Benedict (2014) hipotetizam que a interação entre a temperatura e outras variáveis ambientais são importantes na predição da taxa de desenvolvimento do vetor. A avaliação da interação entre a umidade e temperatura sobre a abundância do vetor em Governador Valadares (MG) demonstrou efeito significativo e positivo (Simões et al. 2013).

O efeito de variáveis climáticas sobre a positividade dos criadouros foi avaliada considerando a presença das formas imaturas durante o LIRAA de outubro de 2012 a maio de 2014. As larvas estavam distribuídas em diversos tipos de depósitos artificiais. Verificou-se alta frequência de criadouros do tipo B, C e D observada durante o LIRAA, provavelmente por causa da preferência do vetor por esses tipos de criadouros, ou a facilidade dos agentes de saúde localiza-los durante a vistoria dos imóveis.

Apesar de não se observar diferenças evidentes de tipos de criadouros que são mantidos em cada época do LIRAA, pois aparecem em proporções similares, observou-se no mês de outubro menos criadouros e menor porcentagem de positividade (26%) quando comparado com janeiro e abril. Provavelmente, a diferença de positividade seja por causa das menores temperaturas registradas nos meses anteriores à vistoria de outubro.

Quando se analisou o efeito das variáveis climáticas sobre a positividade dos criadouros, encontrou-se uma associação entre o aumento da precipitação mensal e achance do criadouro ser negativo (ausência de larvas). Porém, quando se acrescenta a chuva e a temperatura mínima (defasada em 1 mês) no mesmo modelo, apenas a temperatura é significativa. No modelo final desenvolvido a elevação da temperatura mínima em um grau no mês anterior à vistoria contribui com um aumento de 32% na chance do criadouro ser positivo no mês seguinte. Na Tailândia, foi observado correlação positiva entre o índice de larvas e a temperatura mínima (Nagão et al. 2003), corroborando o presente estudo. Contudo,

a análise dos dados do LIRAA encontra uma restrição no presente estudo, pois foram analisados dados de cinco LIRAAas o que corresponde a um período pequeno. A análise de séries temporais maiores poderia permitir o desenvolvimento de modelos preditivos (Favier et al. 2006), incorporando as variáveis climáticas como preditoras para o aumento da infestação entre as diferentes épocas do ano.

Assim como ocorre com a abundância do vetor, a dengue apresenta forte padrão sazonal, indicando a importância de fatores climáticos na transmissão da doença (Nakhapakorn & Tripathi 2005, Wu et al. 2009, Gomes et al. 2012). O aumento do número de casos autóctones de 2010 para 2013, sugere que além da presença do vetor em grande abundância surgiram condições ideais para a transmissão. Uma possibilidade seria a introdução de casos importados. Percebe-se que houve grande elevação de casos na semana epidemiológica 10 e 11, logo após o carnaval, período em que muitas pessoas viajam, e caso estejam em pico de viremia podem contribuir para a disseminação do vírus para outras regiões (Cummings et al. 2004, Azil et al. 2010, Teets et al. 2014).

Os casos de dengue que ocorreram em Porto Alegre em 2013 se concentraram no bairro Partenon, onde foi registrada a maior incidência. As capturas de fêmeas de *Ae. aegypti* nesse bairro seguiu o mesmo padrão observado nos outros, com aumento no verão e declínio no inverno. Provavelmente, existe um componente espacial favorecendo a transmissão da doença que precisa ser investigado, tais como condições socioambientais.

A temperatura mínima foi a variável climática que produziu o modelo mais informativo para a elevação do número de casos de dengue. Com o aumento da temperatura a capacidade vetorial se altera (Watts et al. 1987, Kay et al. 1989, Turell 1989), diminui o tempo de multiplicação e incubação do vírus (Watts et al. 1987, Reiter 2001), e assim mais mosquitos se tornam aptos a transmitir o vírus. Além disso, a elevação da temperatura pode alterar a frequência de picadas (Luz et al. 2008), fatores que favorecem a transmissão da doença. Da mesma forma, temperaturas maiores aumentam a abundância do vetor, conforme verificado no presente estudo, e com isso maior é a chance de contato entre mosquitos infectados e o homem, e conseqüentemente a transmissão do vírus.

A relação entre a temperatura mínima e o aumento dos casos de dengue foi reportado em diversos países, tais como, China, França, Equador, Brasil e Tailândia (Wu et al. 2007, Lu et al. 2009, Descloux 2012, Gomes et al. 2012, Stewart Ibarra & Lowe 2013, Chen et al. 2010). No presente estudo, notou-se que na época em que ocorreram os casos de dengue, na maioria das semanas anteriores ao início dos sintomas, a temperatura do ar foi maior que 18°C, como o vírus não se multiplica no vetor em temperaturas inferiores a 18°C (Watts et al.

1987), isso pode ser uma das causas da diminuição da incidência de dengue nas épocas mais frias do ano. Na Ilha Formosa (China), verificaram que o número de meses com temperatura maior que 18°C por ano está associado com o aumento do risco de dengue (Wu et al. 2009).

Verificou-se que o aumento dos casos de dengue ocorreram com o aumento da temperatura e da abundância de fêmeas de *Ae. aegypti*. Em Porto Alegre, observou-se o aumento de fêmeas de *Ae. aegypti* capturadas pela MosquiTRAP influencia no número de casos de dengue na semana seguinte, resultado semelhante foi encontrado por Dibo et al. (2008) em Mirassol (SP) e por Barrera et al. (2011) em San Juan (Porto Rico). O indicador entomológico que utiliza o mosquito adulto fêmea é apontado como o melhor para explicar a incidência de dengue (Rodriguez-Figueroa et al. 1995, Focks 2003, Melo et al. 2012), o que corrobora com o presente trabalho. Porém, o simples aumento da abundância vetorial não é suficiente para prever epidemias de dengue, tem-se que considerar, dentre outros fatores, a circulação do vírus, o sorotipo viral e a umidade da população (Scott & Morrison 2003).

De modo geral, verificou-se a importância das variáveis climáticas sobre a abundância do vetor e casos de dengue em Porto Alegre. Contudo, é essencial salientar que a transmissão da dengue é complexa e os fatores climáticos são apenas uma esfera dos determinantes da doença e outros precisam ser investigados com o objetivo de desenvolver modelos preditivos promissores.

I.6 CONCLUSÕES

O estudo do efeito das variáveis climáticas sobre a abundância de *Ae. aegypti* e casos de dengue em Porto Alegre (RS) e da abundância de fêmeas sobre o número de casos da doença permitiu concluir que:

- A precipitação não possui efeito significativo sobre a abundância de fêmeas e casos de dengue, apenas um fraco efeito negativo sobre a chance do criadouro ser positivo.
- O efeito bruto da umidade é negativo sobre a abundância de fêmeas de *Ae. aegypti*.
- A temperatura foi identificada como um preditor positivo e significativo da abundância de fêmeas, casos de dengue e chance do criadouro ser positivo.

- O melhor preditor para o aumento da abundância de fêmeas foi a temperatura média (defasada em quatro semanas). O efeito da temperatura aumentou até 23°C e após observou-se uma estabilização.
- Os tipos de criadouros foram semelhantes entre as diferentes épocas do ano em que se realizou o LIRAA. Portanto, a variação da positividade pode ser devida a variação de temperatura, pois o melhor preditor para a chance do criadouro ser positivo (presença de larvas de *Ae. aegypti*) foi a temperatura mínima mensal (defasada em um mês).
- O aumento em 1°C na temperatura mínima do mês anterior a vistoria do LIRAA aumenta a chance em 32% do criadouro ser positivo.
- A temperatura mínima (defasada quatro semanas) foi o melhor preditor climático para o aumento do número de casos de dengue.
- A correlação entre a média semanal de fêmeas de *Ae. aegypti* (defasada em uma semana) e casos de dengue foi positiva, indicando o aumento da incidência de dengue quando a abundância de fêmeas foi maior.

CAPÍTULO II

Distribuição espaço-temporal do *Aedes aegypti* e casos de dengue em Porto Alegre (RS)

RESUMO

A dengue é a arbovirose mais importante do Brasil e o principal vetor *Ae. aegypti* está presente em todos os estados da federação. A distribuição da dengue está relacionada, dentre outros fatores, com a distribuição do vetor e com características socioambientais do município. A identificação das regiões com maior ocorrência de dengue e *Ae. aegypti* é importante para compreender a distribuição do vetor e da doença no município e assim subsidiar as atividades de controle. Assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a distribuição espacial e temporal da dengue e de *Ae. aegypti* em Porto Alegre (RS). Utilizou-se o a abundância de fêmeas de *Ae. aegypti* capturadas pelas armadilhas MosquiTRAPs e a positividade de criadouros (presença de larvas) identificados dura o Levantamento Rápido de Índices de *Ae. aegypti* (LIRAA). Através da estatística de varredura espaço-temporal detectou-se conglomerados no tempo e no espaço e com o estimador de densidade de Kernel localizou-se *hotspots* da doença e de *Ae. aegypti*. Além disso, realizou-se a avaliação da sobreposição entre o conglomerados de vetor e casos de dengue. Foram identificados conglomerados espaço-temporais de armadilhas positivas, criadouros positivos e casos de dengue. Ocorreu sobreposição espacial entre o conglomerado de casos de dengue e armadilha positiva, porém não no mesmo período de tempo. Foram identificados conglomerados de vetor (positividade do criadouro e armadilha) na mesma região do município. Os *hotspots* do vetor estavam distribuídos por toda a área de estudo, com alterações de localização de um ano para o outro. Entretanto, apenas uma região (bairro Partenon) foi considera crítica em todos os critérios e períodos avaliados. A identificação das áreas de risco em Porto Alegre pode subsidiar os programas de controle do vetor e da dengue no município.

II.1 INTRODUÇÃO

O mosquito *Aedes aegypti*, o principal vetor da dengue, é encontrado nas regiões tropicais e subtropicais, entre as latitudes 45°N e 35°S, onde encontra condições ideais de desenvolvimento (Consoli & Oliveira 1994). O desenvolvimento do vetor *Ae. aegypti* ocorre no espaço urbano, pois há alimento e muitos locais de oviposição disponíveis (Quintero et al. 2014). A disponibilidade desses recursos está inversamente correlacionada à distância de voo do mosquito, portanto, quanto maior a oferta dos recursos menor será o deslocamento (Maciel-de-Freitas et al. 2007). A distância de voo do *Ae. aegypti* é geralmente de 50-150 m (Harrington et al. 2005), em locais com barreiras que possam restringir a dispersão do vetor, tais como: largos corpos de água, montanhas e etc. (Venkatesan & Rasgon 2010). Entretanto, na ausência de barreira física há registro de deslocamentos por distâncias superiores a 500m (McDonald 1977, Honório et al. 2003).

Ae. aegypti é o principal vetor da dengue e a invasão de novas áreas por esse mosquito pode ocasionar epidemias desde que haja circulação viral e uma população humana susceptível (Focks et al. 2000). Em Porto Alegre, capital do Rio Grande do Sul, a primeira ocorrência do vetor foi registrada em 2001 (SMS 2001) e os primeiros casos autóctones ocorreram em 2010, com súbito aumento em 2013. Essa situação evidencia o risco eminente de epidemia de dengue em regiões infestadas pelo vetor.

A propagação da dengue, considerando o pequeno deslocamento do vetor, sofre grande influência do deslocamento humano (Harrington et al. 2005, Halstead 2008, Wilder-Smith & Gubler 2008, Azil et al. 2011) O fluxo de pessoas em pico de viremia para locais, onde há vetores competentes e baixa imunidade da população, pode desencadear epidemias com transmissão local (WHO 2012). Isso foi observado, por exemplo, em Queensland na Austrália, onde a frequente introdução de casos importados resultou em 15 epidemias desde 1990 (Ritchie et al. 2004).

Dentre os fatores que estão relacionados a incidência da dengue e a distribuição do vetor tem-se o índice de vegetação, qualidade da habitação (Troyo et al. 2009, Van Benthem et al. 2005), número de pessoas por residência (Rodrigues et al. 2015) e condições socioeconômicas (Eisen & Lozano-Fuentes 2009). O vetor *Ae. aegypti* é altamente adaptado ao ambientes urbano, onde a concentração populacional humana é elevada e há baixa cobertura vegetal (Braks et al. 2003).

Atualmente, existem diversas ferramentas disponíveis que permitem a análise espacial e espaço-temporal de eventos em saúde, as quais são empregadas em epidemiologia e saúde

pública, pois possibilitam a compreensão dos fatores socioeconômicos e ambientais associados à doença e a sua tendência na área geográfica (MS 2007).

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) fornecem ferramentas para análises espaciais, temporais e mapeamento (Eisen & Eisen 2011). Os benefícios decorrentes da utilização do SIG incluem a capacidade de relacionar diferentes tipos de informação de uma área como a cobertura e uso do solo, fatores climáticos, socioeconômicos, entomológicos e epidemiológicos (Eisen & Lozano-Fuentes 2009). Assim, SIGs podem ser utilizados para (a) mapear e realizar estudos espaciais e espaço-temporais da distribuição de doenças como a malária e a dengue (Toan et al. 2013); (b) permitem estabelecer estratificações de risco e classificar as regiões por prioridade (Eisen & Lozano-Fuentes 2009) e (c) possibilitam a identificar quais são os melhores períodos para intervenção e controle da doença (Costa et al. 2010, Eisen & Eisen 2011).

Dentre as metodologias para análise de distribuição de doenças e vetores, o Estimador de Densidade não paramétrico de Kernel (EDK), proposto por Worton (1989) é uma importante ferramenta de análise. O EDK é uma alternativa simples de fácil uso e interpretação para analisar o comportamento de pontos e estimar a intensidade pontual do processo em toda região de estudo, não se limitando a divisões político-administrativas. É um estimador utilizado para identificar áreas quentes (do inglês “hotspots”) de doenças transmitidas por vetores, como a leishmaniose (Guimarães et al. 2013), filariose linfática (Medeiros et al. 2012), malária (Moshia et al. 2014) e dengue (Barbosa & Lourenço 2010).

A varredura circular espaço-temporal é outro método interessante que é realizado através de uma janela em forma de cilindro, no qual a base circular é a janela espacial e a altura a janela temporal. O cilindro percorre o tempo e espaço em uma área geográfica, comparando o número de eventos observados e os esperados dentro da janela em cada local. O método cria vários cilindros de diferentes formas e cada um deles é um candidato a conglomerado (Kulldorff et al. 2005).

A estatística de varredura espacial e espaço-temporal é muito utilizada para a identificação de conglomerados de doenças. Na Província de Mpumalanga (África do Sul), esse método foi incorporado a um sistema de alerta para detecção precoce de conglomerados de Malária e auxilia no direcionamento das atividades de controle (Coleman et al. 2009). Essa metodologia já foi utilizada para localização de conglomerados de casos de dengue e *Ae. aegypti* em vários países, como na Tailândia, Brasil e Vietnã, e comumente demonstra a agregação dos casos de dengue e do vetor.

Assim a utilização dessas ferramentas pode permitir o conhecimento da distribuição do *Ae. aegypti* e dos casos de dengue a nível local e dos fatores que podem estar associados a maior infestação e a incidência da doença, e tornar as atividades de prevenção da dengue mais efetivas (Reisen 2010).

II.2 OBJETIVOS

II.2.1 Objetivo geral

Analisar a dinâmica espaço-temporal da distribuição de dengue e do vetor *Aedes aegypti* em Porto Alegre (RS).

II.2.2 Objetivos específicos

- Identificar áreas com maior infestação de *Ae. aegypti* e maior densidade de casos de dengue.
- Identificar conglomerados espaço-temporais de casos de dengue e de infestação por *Ae. aegypti*.
- Avaliar a existência de sobreposição entre conglomerado de abundância do vetor e casos de dengue.

II.3 MATERIAL E MÉTODOS

II.3.1 Caracterização da área

O município de Porto Alegre possui uma área territorial de 496,68 km² e população estimada de 1.472.482 habitantes (IBGE 2010). Está localizado no estado do Rio Grande do Sul, na latitude 30°01'40" sul e longitude 51°13'43" oeste. Divide-se em 81 bairros oficiais e 17 regiões do orçamento participativo. A maior parte da população se concentra na área urbana, onde há abastecimento de água e coleta de lixo em mais de 99% dos domicílios (IBGE 2010).

Desde 2012, o Monitoramento Inteligente da Dengue (MI-Dengue) (Ecovec Ltda, Belo Horizonte, MG) está instalado em 22 bairros, considerados de maior vulnerabilidade, segundo estudo realizado pela Coordenadoria Geral de Saúde municipal (CGSM). A região de estudo dos dados do vetor se restringiu à área monitorada pelo MI-Dengue correspondente aos bairros: (1) Cel. Aparício Borges, (2) Azenha, (3) Bom Jesus, (4) Cavahada, (5) Chácara das Pedras, (6) Cidade Baixa, (7) Farroupilha, (8) Glória, (9) Jardim Carvalho, (10) Jardim do Salso, (11) Mario Quintana, (12) Medianeira, (13) Menino Deus, (14) Nonoai, (15) Partenon, (16) Passo da Areia, (17) Passo das Pedras, (18) Santa Tereza, (19) Santo Antonio, (20) São José. (21) Três Figueiras, (22) Vila João Pessoa (Figura 17). Já para os casos de dengue foi analisado todo o município para a compreensão da distribuição da doença.

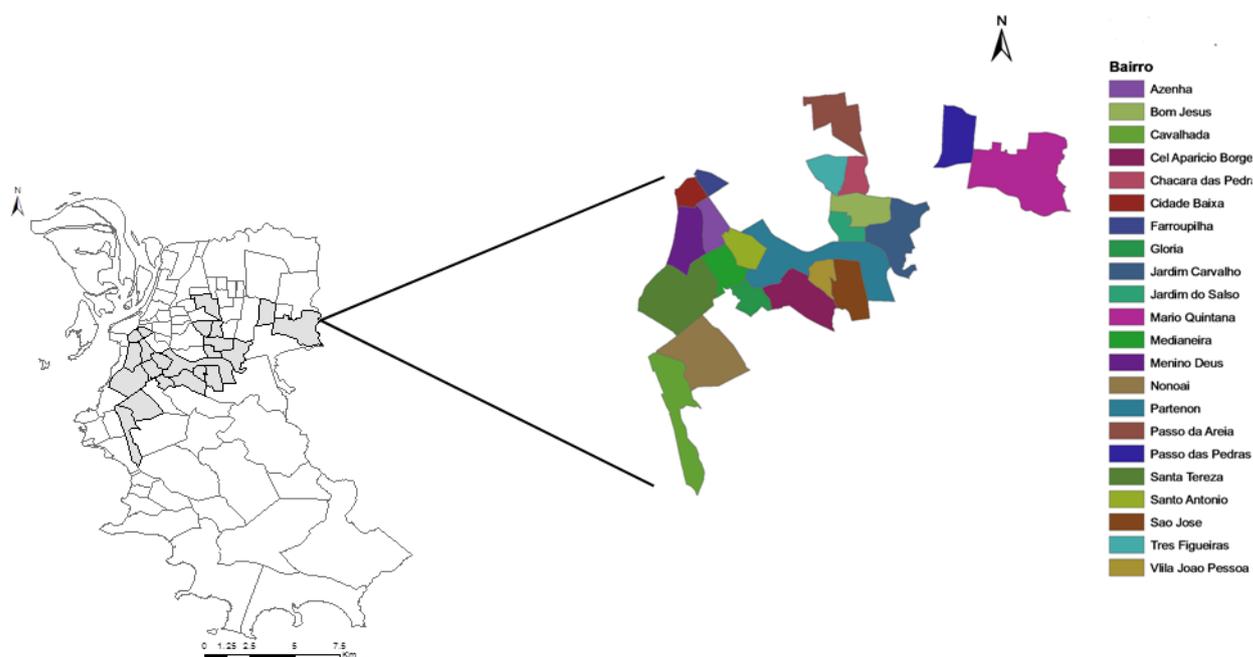


Figura 17. Mapa de Porto Alegre (RS). Em destaque área de estudo dos bairros monitorados pelo MI-dengue.

II.3.2 Monitoramento de adultos de *Aedes aegypti*

Foram instaladas 714 armadilhas MosquiTRAP® (Ecovec Ltda., Belo Horizonte, MG) para capturas de grávidas de *Ae. aegypti*. Localizadas a aproximadamente 250 m de distância uma da outra, sendo que uma armadilha por residência. As armadilhas foram vistoriadas semanalmente pelos agentes de controle de endemias.

Os dados do monitoramento das fêmeas de *Ae. aegypti* de outubro de 2012 a maio de 2014 foram analisados.

II.3.3 Monitoramento das forma imaturas de *Aedes aegypti*

Os dados do monitoramento das larvas de *Ae. aegypti* referentes ao Levantamento de Índice Rápido de Infestação do *Ae. aegypti* (LIRAA) de janeiro, abril e outubro de 2013 e janeiro e abril de 2014 foram obtidos a partir de consulta ao sistema Dengue Report (Ecovec Ltda, Belo Horizonte, MG), que armazena todos as atividades de controle do *Ae. aegypti* recomendadas pelo Ministério da Saúde (MS 2002a, MS 2013). No presente estudo foram utilizados os dados: (a) endereço da residência com criadouro, e (b) número de larvas de *Ae. aegypti* por criadouro em janeiro, abril e outubro de 2013 e em janeiro e abril de 2014. Todos os endereços das residências com criadouros, totalizando 927, foram georreferenciados através do *Google Earth*, obtendo-se a coordenada geográfica exata em graus decimais.

II.3.4 Casos de dengue

Os dados dos casos autóctones de dengue notificados de outubro de 2012 a maio de 2014 foram obtidos do Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN), fornecidos pela Secretaria Municipal de Saúde de Porto Alegre (SMS-POA). Todos os registros foram confirmados por critérios laboratoriais (IgM ou NS1). Os dados dos casos de dengue utilizados foram: data de início dos primeiros sintomas e o endereço da residência para realização das análises espaciais e espaço-temporais.

As coordenadas geográficas (em graus decimais) obtidas a partir do endereço de residência de cada caso de dengue foram obtidas utilizando o *Google Earth*. Após esse processo foi identificado o setor censitário no qual o caso ocorreu, utilizando uma malha digital do município.

II.3.5 Bases cartográficas e dados demográficos

Utilizou-se as malhas digitais dos bairros oficiais, setores censitários e regiões do orçamento participativo de Porto Alegre, disponibilizadas pelo Observatório da cidade de Porto Alegre (OBSERVA POA). Todas foram convertidas para o sistema de projeção *World Geodetic System 1984* (WGS84), utilizando ferramentas do ArcGIS.

A partir da consulta ao censo demográfico de 2010 (IBGE 2010) foi obtida a população por setor censitário de Porto Alegre, utilizada na análise de varredura para detecção de conglomerados espaço-temporais.

II.3.6 Varredura circular para detecção de conglomerados espaço-temporais

A estatística de varredura circular espaço-temporal (Kulldorff 1997) retrospectiva (detecção de conglomerado no presente ou no passado) foi aplicada para avaliar a ocorrência de conglomerados do vetor e casos de dengue. O emprego dessa metodologia teve como propósito verificar a hipótese nula de que os eventos estão distribuídos aleatoriamente no tempo e no espaço. As análises foram processadas no *software* SaTScan® versão 9.2 (<http://www.satscan.org>).

O método identifica vários candidatos a conglomerados na forma de cilindros e para cada um calcula-se o valor de verossimilhança através do teste de razão de verossimilhança, adequado ao modelos de probabilidade utilizado. Aqueles que apresentarem valores maiores são os conglomerados mais prováveis. A significância estatística dos conglomerados é calculada através das simulações de Monte Carlo (Dwass 1957) comparando a máxima verossimilhança dos dados reais com a dos dados aleatórios. Se o p-valor obtido for menor ou igual a 0,05, rejeita-se a hipótese nula de que os eventos se distribuem aleatoriamente a 5% de significância, assumindo que exista conglomerado espaço-temporal (Kulldorff et al. 1998).

Foram definidos os seguintes parâmetros para todas as análises: (a) o tamanho máximo do conglomerado de 800 m, pois simulações realizados com raios menores mostraram um número excessivo de conglomerados dificultando a interpretação, (b) a duração máxima de cada conglomerado não foi definida, permanecendo o valor padrão do SaTScan de 50% do tempo de estudo. Para cada conjunto de dados foram realizadas 999 simulações de Monte Carlo. Além disso, foi selecionada a opção de não sobreposição geográfica entre os conglomerados. Apenas os mais verossímeis foram reportados.

O banco de dados completo foi analisado no *software* R para a construção dos arquivos no formato adequado de entrada no SaTScan.

II.3.7 Conglomerado de casos de dengue

A varredura espaço-temporal para detecção de conglomerados de casos de dengue foi realizada utilizando o modelo de distribuição de Poisson, no qual o número de eventos em

cada área é considerado de acordo com a população sob risco conhecida. Os casos foram agregados por setor censitário e a coordenada geográfica associada foi a do centroide de cada setor, identificada a partir do arquivo *shapefile* utilizando o *software* R e a biblioteca *rgdal* (Bivand et al. 2014). A unidade temporal utilizada nessa análise foi o dia, e a data do início dos sintomas.

II.3.8 Conglomerado de *Aedes aegypti*

Os dados do monitoramento do *Ae. aegypti* adulto e larva foram utilizados na análise de varredura espaço-temporal para identificar possíveis conglomerados do vetor. O modelo de probabilidade utilizado foi o de Bernoulli, nesse modelo os dados possuem distribuição binomial e requer informações sobre a localização dos criadouros e armadilhas MosquiTRAP com presença (variável 1) ou ausência (variável 0) do mosquito.

A data utilizada para cada ocorrência foi: (1) data de vistoria da armadilha e (2) data da inspeção dos imóveis no caso da pesquisa larvária. A agregação temporal das armadilhas foi de 7 dias, pois as vistorias são semanais. Já a agregação da pesquisa larvária foi um dia.. Foram analisados separadamente os dados das armadilhas e da pesquisa larvária.

Os resultados obtidos através do *software* SaTScan® dos casos de dengue e do vetor foram processados através do *software* R para a construção dos mapas de localização e gráficos de duração para cada conglomerado. Para isso utilizaram-se as bibliotecas *maptools* (Bivand & Lewin-Koh 2015), *PBSmapping* (Schnute et al. 2015), *RgoogleMaps* (Loecher & Ropkins 2015), *rgdal* (Bivand et al. 2014), *splancs* (Rowlingson & Diggle 2014) e *Hmisc* (Harrel 2014), o mapa base do Google e o *shapefile* de Porto Alegre.

II.3.9 Verificação da sobreposição entre os conglomerados

Os conglomerados do vetor e casos de dengue foram analisados quanto à existência de sobreposição espacial e temporal, para isso foram utilizados os arquivos *shapefile* dos resultados do SaTScan. A sobreposição espacial foi verificada sobrepondo-se as camadas no *software* ArcGIS 10.2 e depois verificou-se a interseção temporal utilizando os dados das tabelas.

II.3.10 Densidade espacial de casos de dengue e *Aedes aegypti*

O estimador de densidade de Kernel (EDK) foi utilizado para a construção de mapas anuais dos casos de dengue e infestação do vetor com o objetivo de localizar áreas de alta densidade ou “áreas quentes” (*hotspots*). Para tanto foram somadas por coordenada geográfica e ano: (a) Fêmeas capturadas pela armadilha MosquiTRAP, (b) Larvas de *Ae. aegypti* e (c) Casos de dengue.

O EDK permite a estimativa da quantidade de eventos por área, em cada célula de uma grade regular que recobre a região do mapa (Bailey & Gatrell 1995). O resultado é uma superfície que permite a identificação de *hotspots*. O estimador possui dois parâmetros básicos, que são um raio de influência ou amplitude da banda, que define a vizinhança do ponto a ser interpolado, e uma função *K* de estimação de suavização do fenômeno. Essa função realiza uma contagem de todos os pontos dentro de uma região de influência, ponderando-os pela distância, de cada um, a uma localização de interesse (Câmara et al. 2002).

Os parâmetros definidos foram: (a) raio de 200 m para os dados entomológicos, considerando que geralmente o *Ae. aegypti* se dispersa por distâncias inferiores a esse raio (Harrington et al. 2005) e para os casos de dengue foi 500 m (Melo 2009) e (b) tamanho da célula de 30 m.

A análise foi realizada no *software* ArcGIS 10.2 baseado na função quadrática de Kernel (Silverman 1986). A escala da densidade utilizada nos mapas variou da cor verde escuro (menor densidade) ao vermelho (maior densidade).

II.3.11 Comitê de ética

Este estudo foi analisado e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais, MG, Brasil (CAAE N°. 3699 1014.7.0000.5149).

II.4 RESULTADOS

II.4.1 Densidade de casos de dengue e *Aedes aegypti*

Os mapas de Kernel demonstram a distribuição espacial heterogênea do vetor (número de larvas por localização e número de fêmeas por armadilhas) e casos dengue. Porém notou-se agregação em alguns regiões, constituindo *hotspots*.

O mapa de Kernel dos casos autóctones de dengue de 2013, mostrou um *hotspot* bem definido na região do bairro Partenon. (Figura 18), sendo considerado o mais crítico para a transmissão da dengue.

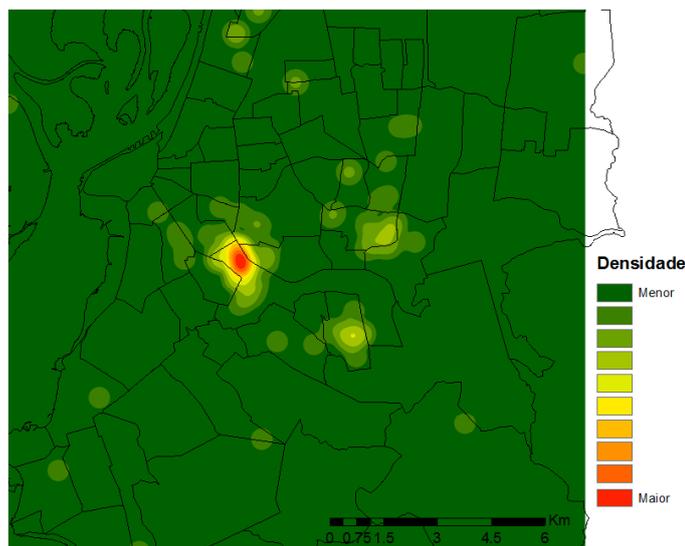


Figura 18. Estimador de densidade Kernel da distribuição de casos de dengue autóctone em Porto Alegre em 2013 (janeiro a dezembro).

II.4.2 Mapa Kernel de fêmeas de *Aedes aegypti*

O mapa de Kernel para fêmeas de *Ae. aegypti* capturadas em 2012 (Figura 19a) apresentou alguns *hotspots* em regiões contíguas, entretanto observou-se áreas de alta densidade mais afastadas das primeiras. As localizações dos *hotspots* foram no bairro Nonoai, Santa Tereza, Medianeira, Azenha, Santo Antônio, Vila João Pessoa, Chácara das Pedras, Passo da Areai e Mário Quintana. Na região dos bairros Bom Jesus e Jardim Carvalho foram observadas as maiores densidades. Em 2013 apareceram novos *hotspots* (Figura 19b),

indicando aumento da infestação em novas áreas. Várias regiões que ainda se apresentavam em amarelo (densidade média) passaram a vermelho (alta densidade) quando compara-se 2012 e 2013.

O mapa de Kernel de fêmeas de 2014 (Figura 19c) mostra uma região de *hotspot* no bairro Partenon que se manteve desde 2012. O mesmo ocorre no bairro Bom Jesus, porém quando comparado com 2013 houve redução da área de alta densidade.

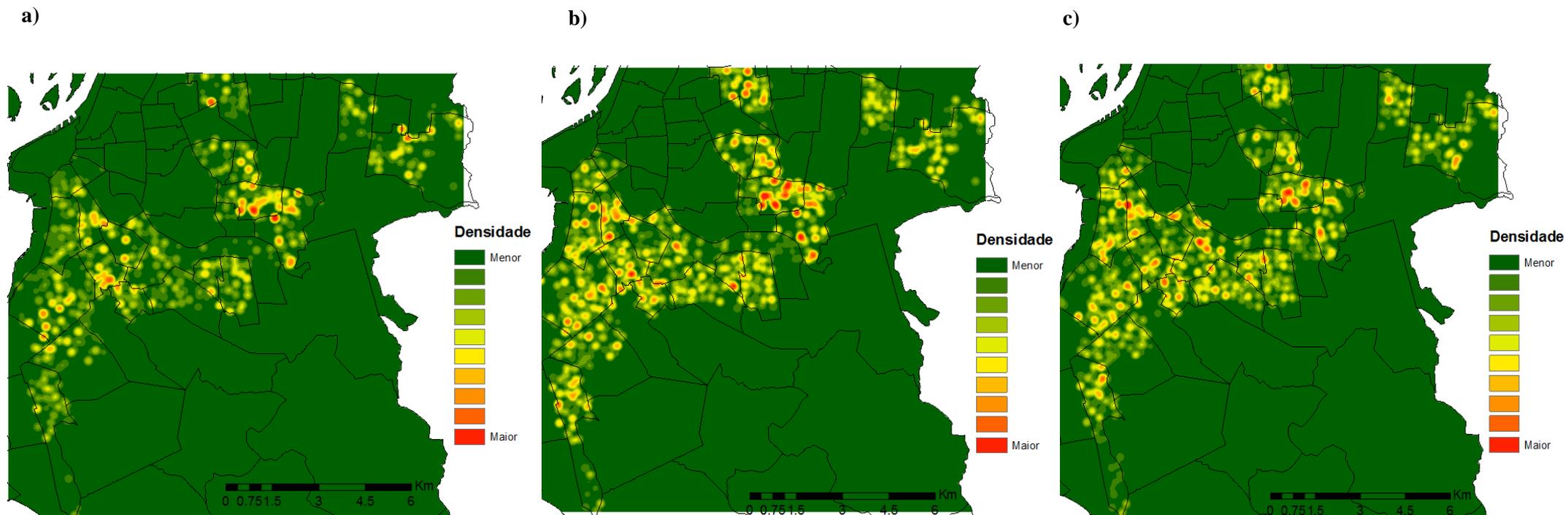


Figura 19. Estimador de densidade Kernel da distribuição da abundância de fêmeas de *Aedes aegypti* capturadas pela MosquiTRAP em Porto Alegre (RS): a) 2012, b) 2013, c) 2014.

II.4.2 Mapa Kernel de larvas de *Aedes aegypti*

No mapa Kernel de larvas referente a 2013 (Figura 20a) identificou-se várias regiões de alta densidade. Observou-se *hotspot* na região dos bairros Partenon, Menino Deus, São José, Nonoai. No Bairro Santa Tereza e Bom Jesus ocorreram áreas de tonalidade média, indicando que são locais de possível formação de *hotspot*.

Em 2014, algumas áreas de alta densidade de larvas se mantiveram no bairro Nonoai e São José e surgiram novas no Jardim Carvalho e Bom Jesus (Figura 20b). No bairro Azenha aparecem regiões de densidade média de infestação. Já no Partenon os dois *hotspots* de 2013 desaparecem e surgiu outro na extremidade leste do bairro.

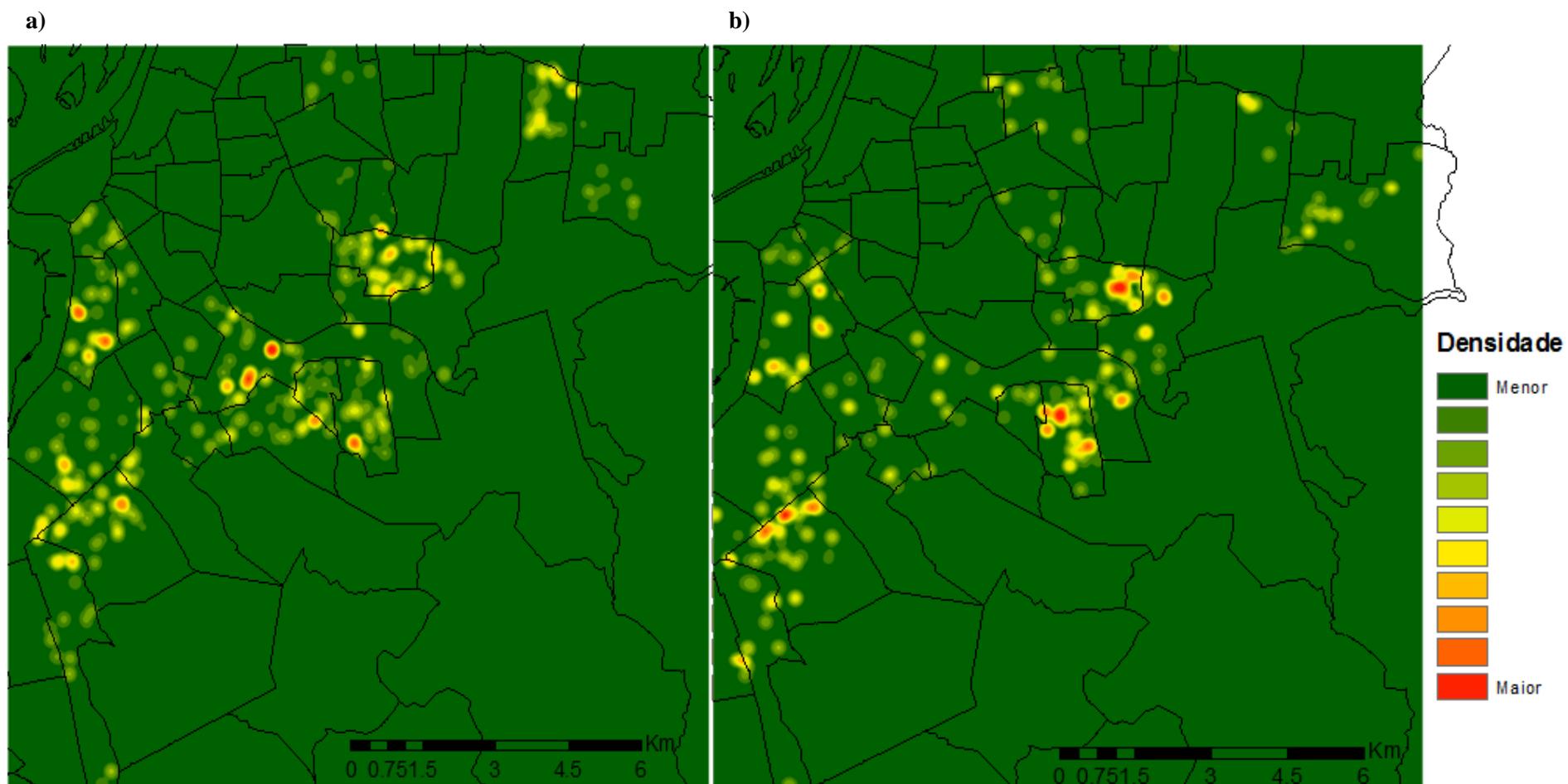


Figura 20. Estimador de densidade Kernel da distribuição da abundância de larvas de *Aedes aegypti* identificadas nos criadouros durante o LIRAa. a) mapa 2013, b) mapa 2014.

Observou-se maior densidade de larvas e adultos de *Ae. aegypti* no bairro Partenon, local onde ocorreu *hotspot* de casos autóctones de dengue.

Ocorreu *hotspot* de adultos e larvas na mesma região. Em 2014 essa área similar foi na região do bairro Bom Jesus, Jardim Carvalho e no limite entre os bairros Vila João Pessoa e São José. No ano 2013 foi entre o bairro Menino Deus e no limite dos bairros Cel. Aparício Borges e Menino Deus, ou seja, os dois métodos de monitoramento identificam áreas similares de alta infestação.

II.4.4 Varredura circular espaço-temporal da positividade das MosquiTRAP

Na varredura circular espaço-temporal da positividade das armadilhas para fêmeas de *Ae. aegypti* foram localizados 27 candidatos a conglomerado, ocupando quase toda a área de estudo (Figura 21a).

Dentre os conglomerados de armadilha positiva os de identificação (ID-A) 24 a 27 não foram significativos ($p > 0,05$). Os significativos apresentaram raio médio de 660,4 m ($\pm 204,1$), e o mais verossímil (ID-A 1) apresentou o maior raio (800 m), englobando 51 armadilhas. O conglomerado ID-A 14 apresentou o menor raio (320 m), com quatro armadilhas.

Os primeiros conglomerados começaram a surgir a partir de novembro e persistiam no máximo até maio do próximo ano, período marcado por maior temperatura. A duração dos conglomerados foi 134,1 ($\pm 24,5$) dias, sendo a maior duração do ID-A 1 que foi do dia 11/11/2013 até 11/05/2014, totalizando 181 dias e a menor duração 97 dias. Os conglomerados IDs-A 5, 14 e 23 persistiram por 167, 167 e 174 dias, respectivamente. (Figura 21b).

II.4.5 Varredura circular espaço-temporal da positividade dos criadouros durante o LIRAA

Foram identificados nove candidatos a conglomerado de positividade para larvas de *Ae. aegypti* (Figura 22a). Apenas o conglomerado de identificação (ID-L) 1 foi significativo ($p < 0,05$).

O conglomerado ID-L 1 apresentou raio de 730 m, inserido na área dos bairros Bom Jesus e Jardim Salso, e duração de 204 dias com iniciou em 08/04/2013 e fim em 29/10/2013

(Figura 22b), período do LIRAA de abril e outubro. Nessa região foram observados 63 criadouros e 46 ocorrências de positividade para larvas de *Ae. aegypti*.

II.4.6 Varredura circular espaço-temporal dos casos de dengue

Foram identificados oito conglomerados de casos de dengue, e apenas o conglomerado de identificação ID-C 1 foi significativo (Figura 23a).

O raio do conglomerado foi de 520 m, correspondendo à área de 10 setores censitários. A janela circular desse conglomerado está na maior parte no bairro Partenon, apesar de ocupar uma área do bairro Santo Antônio e uma pequena fração do Jardim Botânico.

A duração do conglomerado foi de 59 dias, iniciando-se em 11/02/2013 e finalizando em 11/04/2013 (Figura 23b). Durante esse período foram notificados 102 casos de dengue em todo o município sendo 53 (52%) deles oriundos da região onde se localizou o conglomerado.

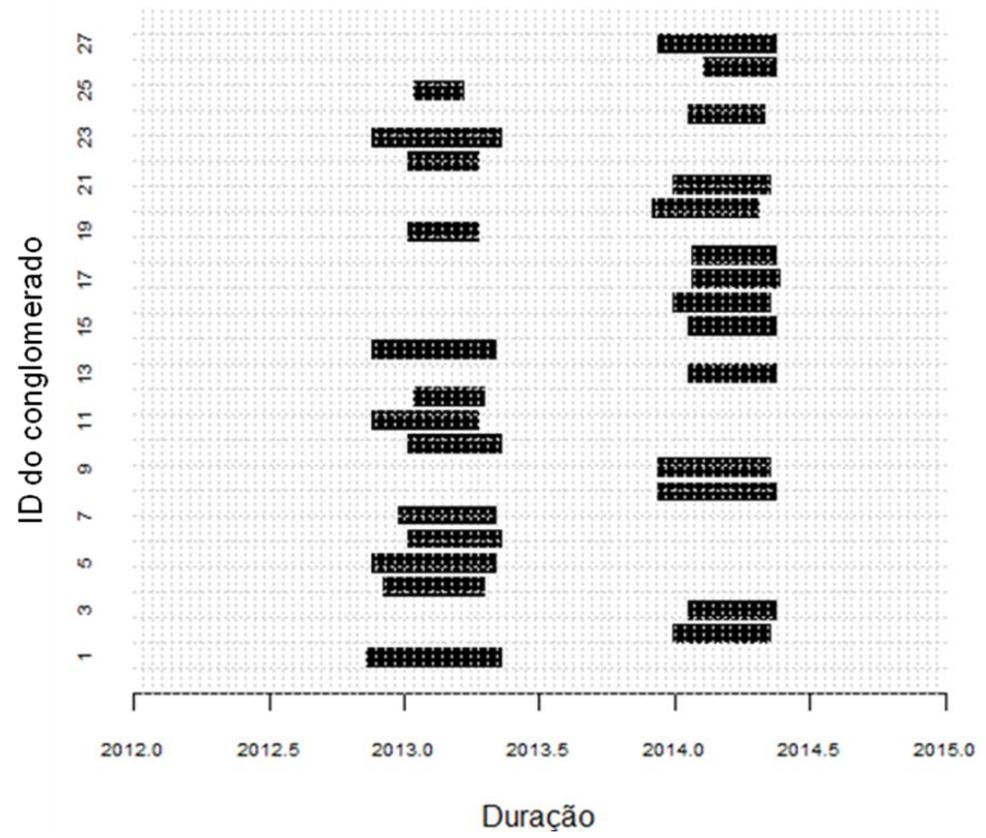
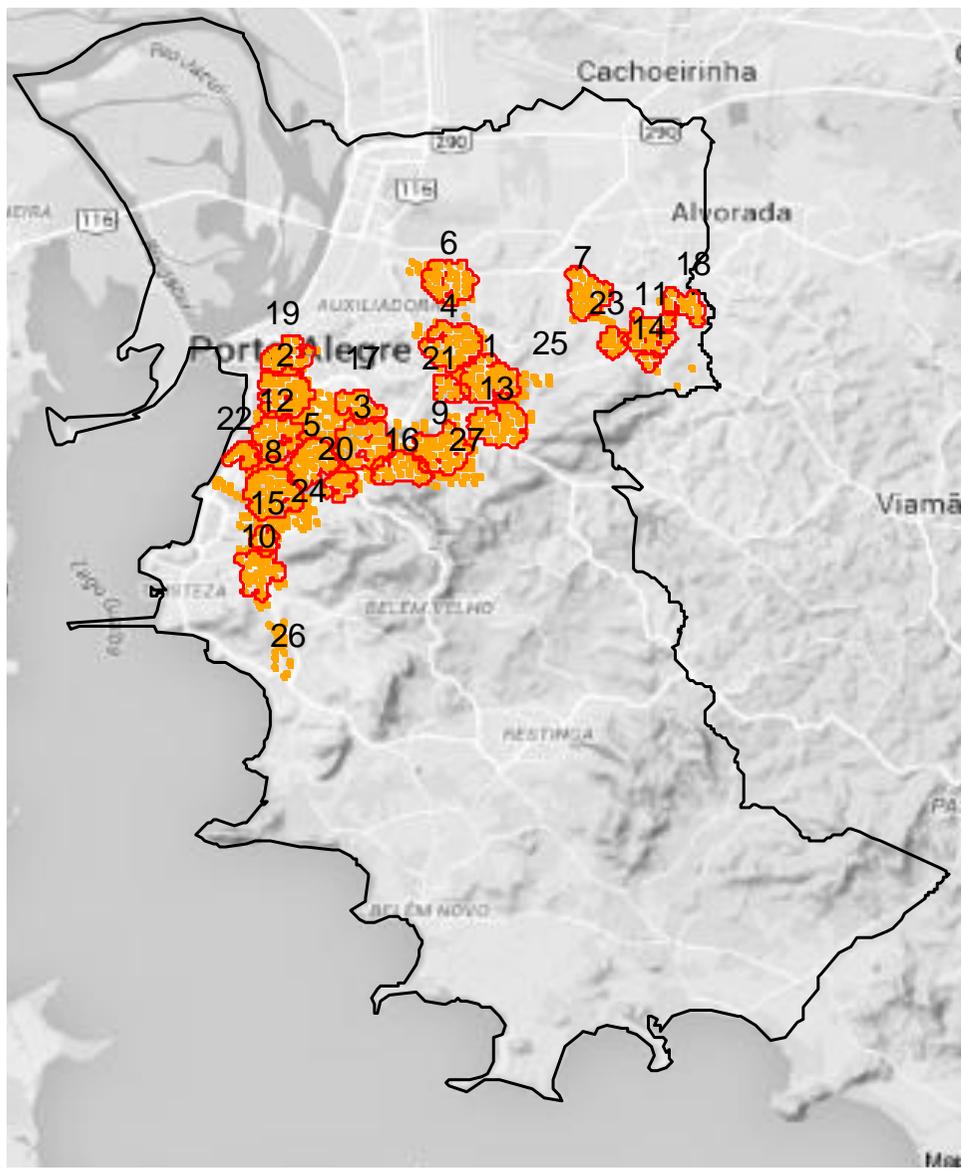


Figura 21. Conglomerados de armadilhas MosquiTRAP positivas. (a) Localização geográfica dos conglomerados. O contorno vermelho identifica os conglomerados significativos ($p < 0.05$) (b) Duração dos conglomerados identificados.

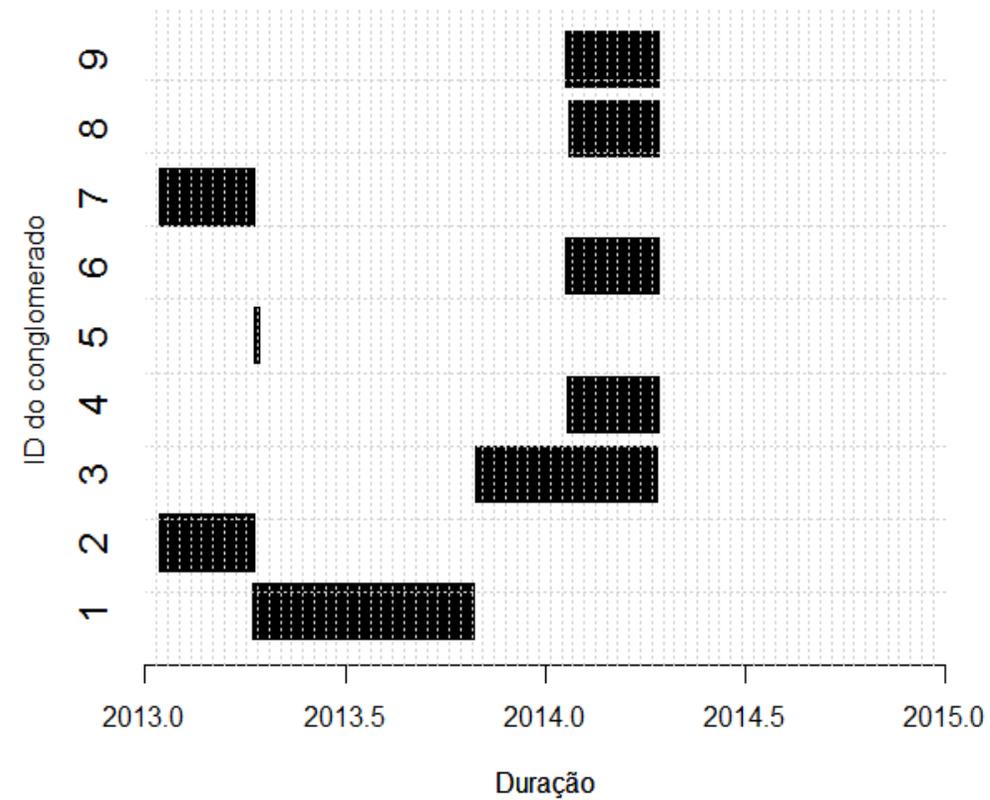
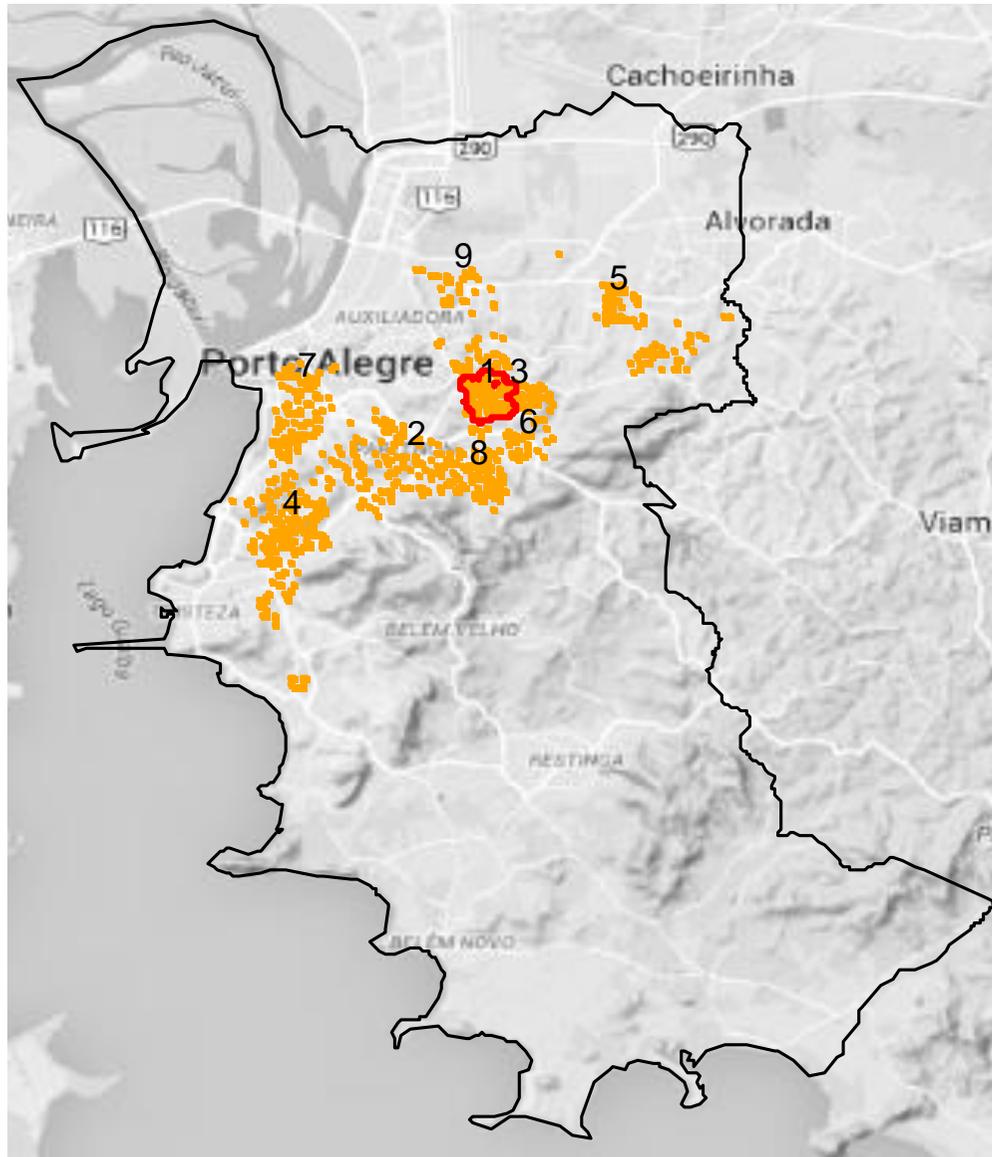


Figura 22. Conglomerados de positividade dos criadouros. (a) Localização geográfica dos conglomerados de criadouros positivos para larvas de *Aedes aegypti* identificados durante o LIRAa. O contorno vermelho identifica o conglomerado significativo ($p < 0,05$) (b) Duração dos conglomerados identificados.

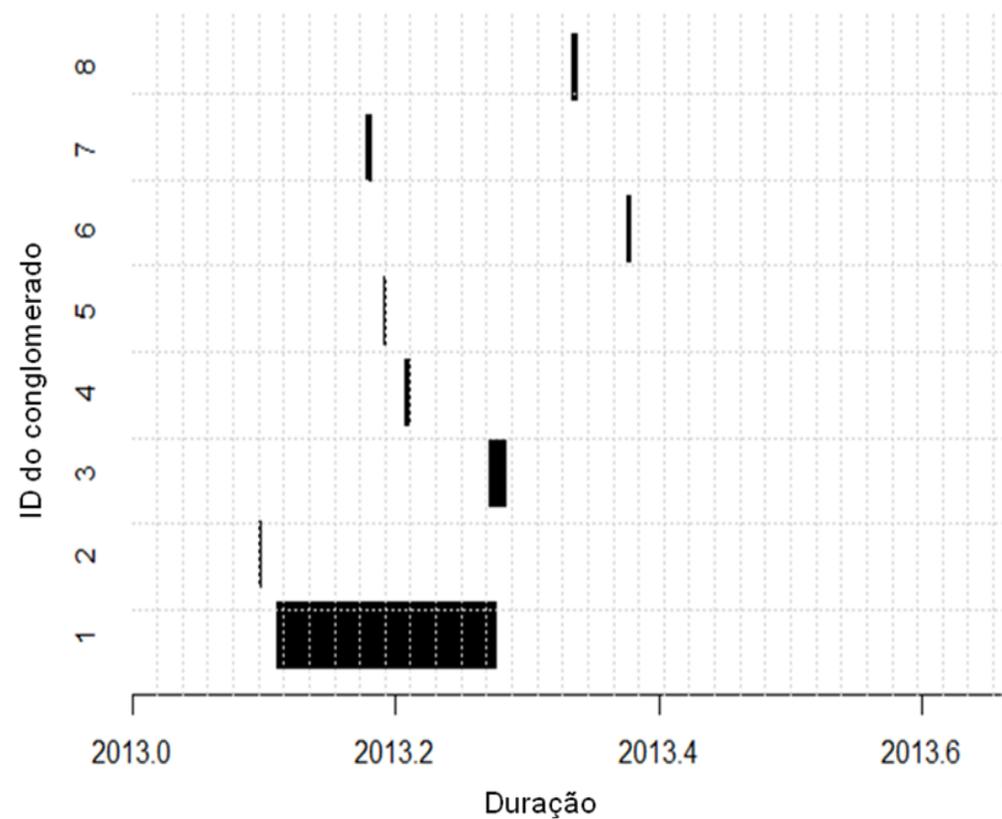
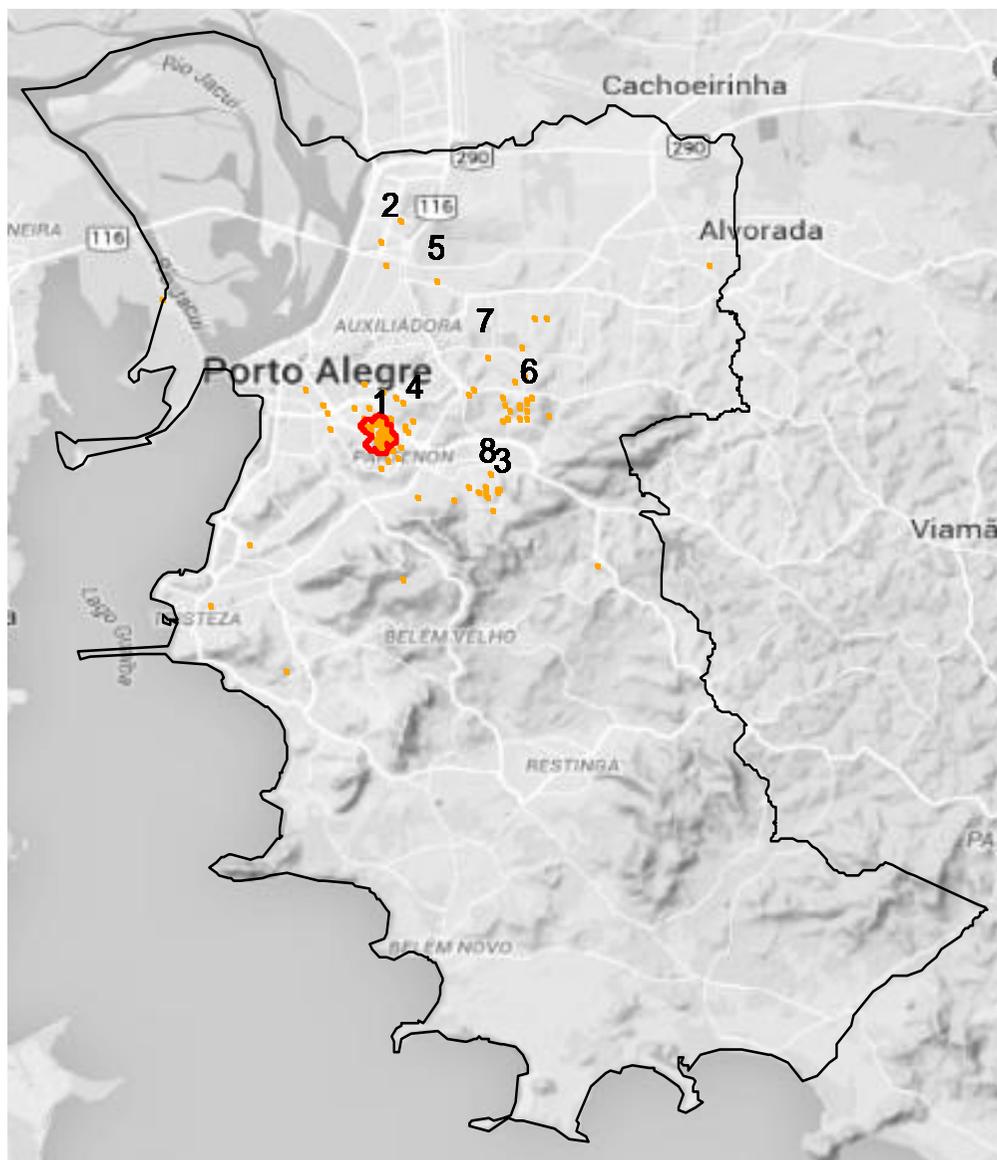


Figura 23. Conglomerado de casos de dengue. (a) Localização geográfica dos conglomerados de casos de dengue autóctones. O contorno vermelho identifica o conglomerado significativo ($p < 0,05$) (b) Duração dos conglomerados identificados.

II.4.7 Avaliação da sobreposição entre os conglomerados do vetor e dos casos de dengue

Observou-se a ocorrência de conglomerado de criadouros e armadilhas positivas na mesma região. Entre o conglomerado de criadouros e casos de dengue não houve sobreposição espacial, porém verificou-se sobreposição entre o conglomerado de casos da doença e de positividade para fêmeas de *Ae. aegypti* (Figura 24).



Figura 24. Sobreposição entre os conglomerados significativos de casos de dengue (vermelho), criadouros positivos para larvas de *Aedes aegypti* (azul) e de armadilhas positivas para fêmeas de *Aedes aegypti* (cinza).

O conglomerado de casos de dengue (ID-C 1) de área 0.86 Km^2 se sobrepôs em 60,7% com o conglomerado ID-A 17 da positividade para fêmeas de *Ae. aegypti* e em 15,7% com o conglomerado ID-A 3 (Figura 25), porém a duração temporal não apresentou interseção (Tabela 9).

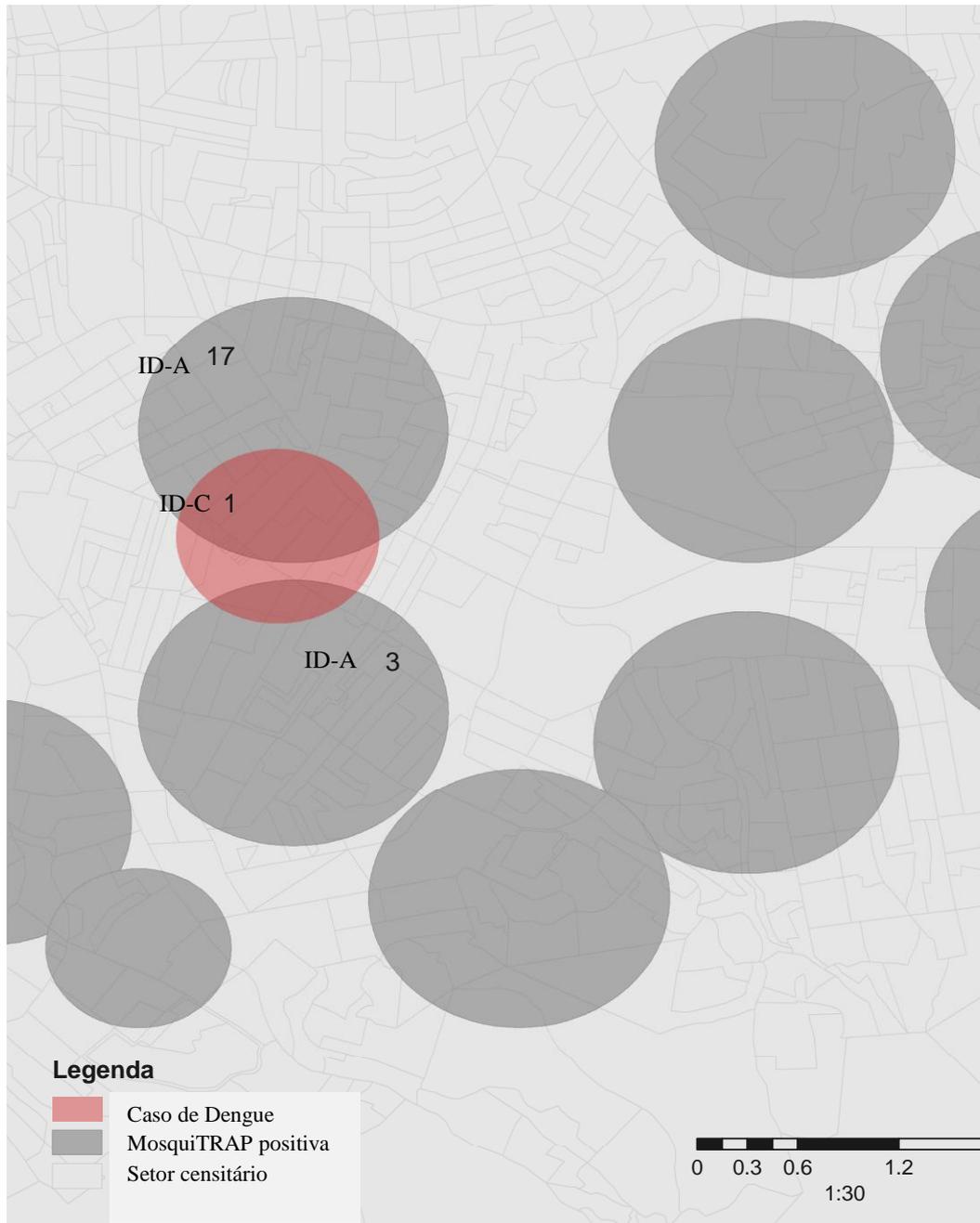


Figura 25. Sobreposição geográfica entre o conglomerado de caso de dengue (ID-C-1) e fêmeas de *Aedes aegypti* (ID-A 3 e 17).

Tabela 9. Duração e área de sobreposição entre o conglomerado de caso de dengue (ID-C 1) e positividade da MosquiTRAP (ID-A 3 e 17).

<i>ID Conglomerado</i>	<i>Data início</i>	<i>Data final</i>	<i>Área total (m²)</i>
Dengue-ID-C 1	11/02/2013	11/04/2013	860
			<i>Área de sobreposição</i>
Armadilha-ID-A 3	19/01/2014	17/05/2014	130
Armadilha-ID-A 17	26/01/2014	24/05/2014	520

II.5 DISCUSSÃO

A transmissão da dengue é complexa, pois envolve o contato entre o vetor, o vírus e o homem, sendo esta interação associada às condições ambientais e climáticas favoráveis que são determinantes na distribuição geográfica da doença (Kyle & Harris 2008, Mammen et al. 2008). A identificação de áreas de alta infestação de *Ae. aegypti* e casos de dengue tem sido realizada utilizando abordagens de modelagem espacial e espaço-temporais (Eisen & Lozano-Fuentes 2009, Melo et al. 2012, Dom et al. 2013), que permitem a delimitação das áreas críticas e podem ajudar no planejamento das estratégias de controle, poupando tempo e dinheiro e ajudando a compreender a dinâmica da dengue a nível local (Lozano-Fuentes et al. 2008, Eisen & Eisen 2011)

No presente estudo, identificou-se em Porto Alegre, através de varredura espaço-temporal, vários conglomerados de positividade da armadilha MosquiTRAP para fêmeas de *Ae. aegypti*. Os conglomerados iniciavam-se em novembro e persistiam até maio, período caracterizado por temperaturas maiores, o que favorece o desenvolvimento do vetor (Tun-Lin et al. 2000). No geral, a duração dos conglomerados foi longa, média de 134,1 (\pm 24,5) dias, sugerindo que as condições para o desenvolvimento do mosquito se mantiveram e que a estratégia de controle não foi eficaz para a diminuição da abundância vetorial naquela região. Barrera (2011) sugere que a manutenção desses agregados de vetor pode ser devido a ausência de vistoria de algumas residências do conglomerado durante as atividades de controle, com isso os mosquitos residuais podem repovoar a região mantendo a área de alta infestação.

Detectou-se apenas um conglomerado de criadouro positivo para larvas de *Ae. aegypti*, com duração de abril de 2013 a outubro de 2013, meses marcados por condições climáticas

diferenciadas. Estes resultados sugerem que naquela área outros fatores não diretamente relacionados ao clima podem estar favorecendo o desenvolvimento do *Ae. aegypti*, tais como maior disponibilidade constante de certos tipos criadouros que independem da chuva para formação. A maior parte desse conglomerado se encontra no bairro Bom Jesus que é caracterizado por ser essencialmente residencial com pouco comércio, sendo inicialmente ocupado de forma irregular (Vilarino et al. 1998). A formação de conglomerado de positividade de criadouros nessa área indica que possivelmente haja alta infestação de fêmeas de *Ae. aegypti*, demonstrado pelos conglomerados de armadilhas positivas na mesma região.

Um conglomerado significativo de caso autóctone de dengue foi localizado com maior área no Bairro Partenon e duração de 59 dias. Esse bairro é caracterizado por apresentar grande fluxo de pessoas devido a ampla rede comercial, escolas e a Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul instaladas no bairro (Franco 1992). Locais de intenso movimento e aglomeração de pessoas são favoráveis a transmissão da dengue (Resendes et al. 2010), por favorecer a interação entre o homem e o vetor. Porém, o presente estudo não avaliou os fatores que podem explicar a maior ocorrência de casos nessa região, tais como os socioeconômicos, densidade populacional humana, cobertura e uso do solo que são relacionados a transmissão da doença (Barrera et al. 2000, Tauil 2001, Van Benthem et al. 2005, Vanwambeke et al. 2006).

Notou-se uma sobreposição geográfica entre os conglomerados da positividade da armadilha MosquiTRAP e casos de dengue, porém o conglomerado de dengue ocorreu em 2013 e o do vetor em 2014, sugerindo que a área continua sendo de risco para a transmissão da doença, caso haja condições ideais e circulação viral. Não ocorreu sobreposição temporal e espacial entre o conglomerado de criadouros positivos e casos de dengue, o mesmo resultado foi encontrado em um estudo conduzido em Belo Horizonte (Melo et al. 2012), o que corrobora outros trabalhos que não encontram correlação entre os índices obtidos a partir da pesquisa larvária e a incidência de dengue (Camara et al. 2007, Burattini et al. 2007, Coelho et al. 2008). A precisão da MosquiTRAP em identificar áreas críticas para a transmissão da dengue justifica o uso potencial dessa armadilha nos programas de controle (Fávaro et al. 2008, Melo 2009), permitindo que os recursos sejam direcionados para as áreas de risco.

A inferência do local da infecção baseado nos índices de infestação do vetor próximo à residência do caso de dengue pode ser interessante ao se pensar que a pessoa doente em pico de viremia se mantém em repouso em casa. Durante esse período o mosquito susceptível pode se contaminar ao realizar o repasto sanguíneo, e como o vetor apresenta um deslocamento curto poderá infectar outras pessoas ao redor. Contudo, alguns estudos não identificam um

relação espacial clara entre a incidência de dengue e alta infestação do *Ae. aegypti* (Sheppard et al. 1969, Honório et al. 2009b) o que pode estar relacionado a mobilidade humana que tem grande importância na epidemiologia da dengue (Enduri 2014). Além disso, é essencial considerar que a circulação viral muitas vezes ocorre na ausência de sintomas (Singh et al. 2000, Teixeira et al. 2002, Kyle & Harris 2008, Honório et al. 2009a) o que dificulta relacionar espacialmente a presença do vetor com a circulação viral.

O estimador de densidade de Kernel (EDK) mostrou um *hotspot* de casos de dengue no bairro Partenon, mesma região em que a estatística de varredura circular espaço-temporal identificou um conglomerado. A concordância entre as duas metodologias reforça a importância dessa área de risco e a necessidade de intervenções nos fatores que aumentam a possibilidade de proliferação do vetor. O EDK igualmente apontou vários *hotspots* do vetor no município, inclusive no bairro Partenon. De 2012 a 2013, observou-se o aumento das regiões de alta infestação de fêmeas de *Ae. aegypti*, sugerindo uma dispersão do vetor pelo município para locais onde havia condições ideais para proliferação. Em 2012, havia várias regiões de densidade média (coloração amarelo e laranja), de acordo com a escala adotada no presente estudo, que se tornaram de alta densidade (coloração avermelhada) em 2013. Em estudo realizado em Recife (PE) usando armadilhas de oviposição e utilizando o EDK, constatou-se a diminuição da abundância do vetor, através da observação da diminuição das áreas de alta densidade de um ano para o outro (Regis et al. 2013). No entanto, os resultados do presente trabalho com armadilhas para captura de adulto não corrobora com o observado em Recife (PE), pois observou-se em Porto Alegre o aumento dos *hotspots*, indicando elevação da densidade do vetor na região.

O presente estudo observou a presença de *hotspots* de criadouros positivos em toda a área de estudo. Os mapas mostram que as regiões de alta densidade mudam de localização de um ano para o outro, possivelmente a própria estratégia de controle de eliminar todos os criadouros de uma região possa contribuir para a dispersão do vetor que irá procurar novos locais para oviposição (Reiter et al. 1995, Edman et al. 1998). Regiões dos bairros Bom Jesus e Jardim Salso foram identificadas como críticas pelo estimador Kernel e varredura espaço-temporal, tendo possivelmente nessa região condições muito favoráveis ao desenvolvimento do vetor.

Apesar do número de larvas por criadouro ser um dado importante, e os resultados encontrados demonstrarem que é possível identificar áreas de alta infestação similares as localizadas pelo monitoramento do vetor adulto, deve-se levar em consideração que no presente estudo foram analisados dados secundários obtidos a partir das vistorias de rotina dos

agentes de campo no município. Portanto, não é possível informar com precisão se todas as larvas de todos os criadouros identificados foram coletadas, principalmente quando se considera a laboriosidade desse trabalho. Dessa forma, trabalhar com a presença ou a ausência da larva no criadouro, como foi realizado com a análise de varredura circular espaço-temporal, pode ser mais informativo e não gerar conclusões equivocadas.

A armadilha MosquiTRAP foi capaz de identificar as mesmas áreas de maior infestação indicadas pela pesquisa larvária, método recomendado pelo Ministério da Saúde. Resende et al. (2013) encontrou correlação entre esses dois métodos de monitoramento em Pedro Leopoldo (MG). Considerando que as armadilhas possuem sensibilidade em monitorar o *Ae. aegypti* na época de seca (Gama et al. 2007, Degener et al. 2014) e o fato do sistema MI-Dengue usar essa armadilha para gerar índices entomológicos do vetor de forma rápida, precisa e contínua (Resende et al. 2013), pode ser muito simples e útil identificar as áreas prioritárias, mesmo na época seca. Para esta finalidade, seria importante o uso de técnicas de análise espacial e espaço-temporal como a estatística de varredura e o estimador de Kernel, métodos sugeridos ou mesmo incorporados em programas de controle de doenças transmitidas por vetores como a dengue e a malária (Lagrotta et al. 2008, Coleman 2009, Dom et al. 2013).

A delimitação das áreas prioritárias com antecedência e a definição rápida das estratégias de controle, antes de se atingir níveis críticos de infestação, podem ser muito eficazes (Barrera 2011). Uma estratégia poderia ser a utilização de armadilhas letais para a supressão populacional do vetor. Estudos tem demonstrado o potencial desse tipo de armadilha (Regis et al. 2008, Ritchie et al. 2009, Kitayapong 2008). A Gravid *Aedes* Trap (GAT) desenvolvida recentemente (Eiras et al. 2014, Ritchie et al. 2014) é exemplo de armadilha letal que apresenta resultados promissores (Costa 2014) e que poderia ser instalada nas regiões críticas indicadas pela MosquiTRAP.

II.6 CONCLUSÕES

O estudo da distribuição espaço-temporal do vetor *Ae. aegypti* e casos de dengue em Porto Alegre (RS), permitiu concluir que:

- O *Ae. aegypti* se distribui de forma heterogênea por toda a região monitorada de Porto Alegre.

- Identificou-se em Porto Alegre regiões de maior densidade de casos de dengue e abundância do vetor, formando conglomerados e *hotspot*.
- Os conglomerados de armadilhas positivas e casos de dengue ocorrem nas épocas mais quentes do ano.
- Os conglomerado de armadilha MosquiTRAP positiva surgiram a partir de novembro e persistiam até no máximo maio do próximo ano, período marcado por maiores temperaturas.
- A região do bairro Bom Jesus e Jardim Salso é considerada crítica para a infestação de *Ae. aegypti*, pois apresentou *hotspot* de larvas e adultos e conglomerado espaço-temporal.
- O bairro Partenon é uma área crítica para a transmissão da dengue, pois identificou-se conglomerado espaço-temporal de casos da doença e *hotspot* na região desse bairro.
- A sobreposição espacial do conglomerado de casos de dengue com o da positividade da armadilha MosquiTRAP, indica a correlação do índice de fêmeas de *Ae. aegypti* e a incidência de dengue.
- Em algumas regiões identificou-se *hotspot* tanto para larvas quanto para adultos, sugerindo que existe uma concordância entre os dois métodos de monitoramento.
- A maior contribuição desse estudo foi mapear áreas críticas de infestação do *Ae. aegypti* e relacionar com áreas de incidência da doença.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A maioria dos estudos sobre a distribuição espacial e temporal da dengue e de *Ae. aegypti* e a relação com as variáveis climáticas foram realizados em locais de clima tropical, e no Brasil, principalmente na região sudeste. Portanto, o presente estudo é inédito ao realizar esse tipo de análise em uma região de clima subtropical úmido no Brasil.

No presente estudo, a análise de dados de larvas, fêmeas de *Ae. aegypti* e casos autóctones de dengue notificados enriquece o estudo, porém é importante considerar o grande número de assintomáticos que podem existir no município, assim é interessante a realização de um inquérito soro-epidemiológico, associado a distribuição dos vetores infectados para melhor compreender a dinâmica da dengue em Porto Alegre (Méndez et al. 2006).

A identificação das áreas de alta infestação do vetor e dos casos de dengue em Porto Alegre, permitiu inferir que há condições diferenciadas que favorecem o desenvolvimento do vetor e que precisam ser investigadas. Uma abordagem interessante seria a utilização de imagens térmicas de sensoriamento remoto para mapear e classificar as áreas de acordo com a temperatura, construir mapas de densidade populacional e uso da terra e assim analisar como esses fatores interferem na transmissão da dengue (Araujo et al. 2014, Dom et al. 2013) e na distribuição do vetor (Braks et al. 2003). A averiguação de quais são os tipos de criadouros predominantes no bairro Bom Jesus e Jardim Salso, consideradas áreas críticas, seria interessante, pois a distribuição dos mosquitos por tipo de criadouro pode ser altamente agregada (Basso et al. 2012) e elucidar tal fato poderá ajudar no planejamento das atividades de controle.

Os resultados do presente trabalho podem subsidiar as ações de controle do vetor e da dengue no município, tornando a intervenção mais eficaz. Além disso, a presente metodologia por gerar resultados promissores poderia integrar o sistema de monitoramento do vetor e vigilância da dengue.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Akaike, H 1974. A New Look at the Statistical Model Identification. *IEEE Trans. Automatic Control* ac-19: 716-723.
- Almeida MC de M, Assunção RM, Proietti FA, Caiaffa WT 2008. Dinâmica intra-urbana das epidemias de dengue em Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 1996-2002. *Cad. Saúde Pública* 24: 2385–2395.
- Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Moraes Gonçalves JL De, Sparovek G 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorol. Zeitschrift* 22: 711–728.
- Amarakoon D, Chen A, Rawlins S, Chadee DD, Taylor M, Stennett R. 2008. Dengue epidemics in the Caribbean- temperature indices to gauge the potential for onset of dengue. *Mitig Adapt Strat Global Change* 13:341–357.
- Arcari P, Tapper N, Pfueller S 2007. Regional variability in relationships between climate and dengue/DHF in Indonesia. *Singapore Journal of Tropical Geography* 28, 251–272.
- Araujo RV, Albertini MR, Costa-da-silva AL, Suesdek L, Franceschi NCS, Bastos NM, Katz G, Cardoso VA, Castro B, Capurro ML, Allegro VLAC 2015. São Paulo urban heat islands have a higher incidence of dengue than other urban areas. *Braz J Infect* 9: 146–155.
- Aström C, Rocklöv J, Hales S, Béguin A, Louis V, Sauerbor R 2012. Potential Distribution of Dengue Fever Under Scenarios of Climate Change and Economic Development. *Ecohealth* 9: 448–454.
- Azil AH, Long SA, Ritchie SA, Williams CR 2010. The development of predictive tools for pre-emptive dengue vector control: a study of *Aedes aegypti* abundance and meteorological variables in North Queensland, Australia. *Trop Med Int Heal.* 15: 1190-1197.
- Azil AH, Ming L, Williams CR 2011. Dengue vector surveillance programs: a review of methodological diversity in some endemic and epidemic countries. *Asia. Pac. J. Public. Health* 23:827-842.
- Azil AH, Bruce D, Williams CR 2014. Determining the spatial autocorrelation of dengue vector populations: Influences of mosquito sampling method, covariables, and vector control. *J. Vector Ecol.* 39: 153–163.
- Banu S, Hu W, Hurst C & Tong S 2011. Dengue transmission in the Asia-Pacific region: impact of climate change and socio- environmental factors. *Trop Med Int Heal.* 16, 598–607.
- Barbosa GL, Lourenço RW 2010. Análise da distribuição espaço-temporal de dengue e da infestação larvária no município de Tupã, Estado de São Paulo. *Rev. Soc. Bras. Med. Trop.* 43: 145–151.

- Barcellos C, Pustai AK, Weber MA, Brito MRV 2005. Identification of places with potential transmission of dengue fever in Porto Alegre using Geographical Information Systems. *Rev. Soc. Bras. Med. Trop.* 38: 246–250.
- Barrera R, Delgado N, Jiménez M, Villalobos I, Romero I 2000. Estratificación de una ciudad hiperendémica en dengue hemorrágico. *Rev. Panam. Salud Pública* 8: 225–233.
- Barrera R 2011. Spatial stability of adult *Aedes aegypti* populations. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 85: 1087–1092.
- Barrera R, Amador M, MacKay AJ 2011. Population dynamics of *Aedes aegypti* and dengue as influenced by weather and human behavior in san juan, puerto rico. *PLoS Negl. Trop. Dis.* 5.
- Basso C, Caffera RM, Rosa EG Da, Lairihoy R, González C, Norbis W, Roche I 2012. Mosquito-producing containers, spatia distribution, and relationship between *Aedes aegypti* population indices on the southern boundary of its distribution in South America (Salto, Uruguay). *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 87: 1083–1088.
- Bastos MS, Figueiredo RM, Ramasawmy R, Itapirema E, Gimaque JB, Santos LO, Figueiredo LT, Mourão MP 2012. Simultaneous circulation of all four dengue serotypes in Manaus, State of Amazonas, Brazil in 2011. *Rev Soc Bras Med Trop* 45: 393–394.
- Bentham BHB Van, Vanwambeke SO, Khantikul N, Burghoorn-Maas C, Panart K, Oskam L, Lambin EF, Somboon P 2005. Spatial patterns of and risk factors for seropositivity for dengue infection. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 72: 201–208.
- Beserra EB, Castro Jr FP de, Santos JW dos, Santos T da S, Fernandes CRM 2006. Biologia e exigências térmicas de *Aedes aegypti* (L.)(Diptera: Culicidae) provenientes de quatro regiões bioclimáticas da Paraíba. *Neotrop. Entomol.* 35: 853–860.
- Bivand R, Keitt T, Rowlingson B 2014. rgdal: Bindings for the Geospatial Data Abstraction Library. R package version 0.9-1. <http://CRAN.R-project.org/package=rgdal>.
- Bivand R, Lewin-Koh N 2015. maptools: Tools for Reading and Handling Spatial Objects. R package version 0.8-34. <http://CRAN.R-project.org/package=maptools>
- Braga IA, Gomes AC, Nelson M, Mello RC, Bergamaschi DP, Souza JMP 2000. Comparação entre pesquisa larvária e armadilha de oviposição para detecção de *Aedes aegypti*. *Rev Soc Bras Med Trop* 33: 347-353.
- Braks MAH, Honório NA, Lourenço-De-Oliveira R, Juliano SA, Lounibos LP 2003. Convergent Habitat Segregation of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in Southeastern Brazil and Florida *J. Med. Entomol.* 40: 785–794.
- Burattini MN, Chen M, Chow A, Coutinho FA., GOH K., LOPEZ L, MA S, MASSAD E 2007. Modelling the control strategies against dengue in Singapore. *Epidemiol. Infect* 136: 309–319.

- Câmara G, Monteiro AMV, Druck S, Carvalho MS 2002. Análise espacial e geoprocessamento. In S Druck, MS Carvalho, G Câmara and AMV Monteiro, Análise espacial de dados geográficos, Brasília.
- Câmara FP, Theophilo RLG, Santos GT Dos, Pereira SRFG, Câmara DCP, Matos RRC De 2007. Estudo retrospectivo (histórico) da dengue no Brasil: Características regionais e dinâmica. *Rev. Soc. Bras. Med. Trop.* 40: 192–196.
- Carrington LB, Armijos MV, Lambrechts L, Barker CM, Scott TW 2013. Effects of fluctuating daily temperatures at critical thermal extremes on *Aedes aegypti* life-history traits. *PLoS One* 8: e58824.
- Castro MG De, Maria R, Nogueira R, Maria A, Filippis B De, Ferreira AA, Queiroz R, Rodrigues N, Nogueira FDB, Bastos J, Simões S, Conrado P, Nunes G, Sampaio SA, Lourenço-de-oliveira R, Barreto F 2012. Dengue virus type 4 in Niterói, Rio de Janeiro: the role of molecular techniques in laboratory diagnosis and entomological surveillance. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz* 107: 940–945.
- Cazelles B, Chavez M, McMichael AJ, Hales S 2005. Nonstationary influence of El Niño on the synchronous dengue epidemics in Thailand. *PLoS Med.* 2: 0313–0318.
- Chadee DD, Corbet P, Greenwood J 1990. Egg-laying Yellow Fever mosquitoes avoid sites containing eggs laid by themselves or by conspecifics. *Entomol Exp Appl.* 57: 295–298.
- Chen SC, Liao CM, Chio CP, Chou HH, You SH, Cheng YH 2010. Lagged temperature effect with mosquito transmission potential explains dengue variability in southern Taiwan: insights from a statistical analysis. *Sci Total Environ.* 408:4069–4075.
- Christophers, S.R. 1960. *Aedes aegypti* (L.), The Yellow Fever Mosquito: Its Life History, Bionomics and Structure. *Cambridge University Press*, London.
- Coelho GE, Burattini MN, Teixeira G, Antonio F, Coutinho B, Massad E 2008. Dynamics of the 2006 / 2007 dengue outbreak in Brazil. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 103: 535–539.
- Coleman M, Coleman M, Mabuza AM, Kok G, Coetzee M, Durrheim DN 2009. Using the SaTScan method to detect local malaria clusters for guiding malaria control programmes. *Malar. J.* 8:68
- Colón-González FJ, Lake IR, Bentham G. 2011. Climate variability and dengue fever in warm and humid Mexico. *Am J Trop Med Hyg* 84:757–763.
- Consoli RAGB, Oliveira RL De 1994. Principais mosquitos de importância sanitária no Brasil. Fiocruz, Rio de Janeiro. 225 pp.
- Costa EAPDA, Santos EMDM, Correia JC, Albuquerque CMR De 2010. Impact of small variations in temperature and humidity on the reproductive activity and survival of *Aedes aegypti* (Diptera, Culicidae). *Rev. Bras. Entomol.* 54: 488–493.
- Costa, LH 2014. Análises dos padrões do comportamento de “oviposição em saltos” de fêmeas de *Aedes (Stegomyia) aegypti* (Diptera: Culicidae) e avaliações preliminares de

- supressão de grávidas por armadilhas ,Tese Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG, 189 pp.
- Couret J, Benedict MQ 2014. A meta-analysis of the factors influencing development rate variation in *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *BMC Ecol.* 14: 3.
- Cummings DAT, Irizarry RA, Huang NE, Endy TP. A. Nisalak, K. Ungchusak, D.S. Burke 2004. Travelling waves in the occurrence of dengue haemorrhagic fever in Thailand. *Nature.* 427: 344-347.
- Degener CM, Ázara TMF De, Roque RA, Codeço CT, Nobre AA, Ohly JJ, Geier M, Eiras AE 2014. Temporal abundance of *Aedes aegypti* in Manaus, Brazil, measured by two trap types for adult mosquitoes. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz* 109: 1030–1040.
- Descloux E, Mangeas M, Menkes CE, Lengaigne M, Leroy A, Tehei T, Guillaumot L, Teurlai M, Gourinat AC, Benzler J, Pfannstiel A, Grangeon JP, Degallier N, Lamballerie X de 2012. Climate-based models for understanding and forecasting dengue epidemics. *PLoS Negl. Trop. Dis.* 6: e1470.
- Dibo MR, Chierotti AP, Ferrari MS, Mendonça AL, Neto FC 2008. Study of the relationship between *Aedes (Stegomyia) aegypti* egg and adult densities , dengue fever and climate in Mirassol , state of São Paulo , Brazil. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 103: 554–560.
- Dom NC, Ahmad AH, Latif ZA, Ismail R 2013. Measurement of dengue epidemic spreading pattern using density analysis method: Retrospective spatial statistical study of dengue in Subang Jaya, Malaysia, 2006-2010. *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.* 107: 715–722.
- Dwass M 1957. Modified randomization tests for nonparametric hypotheses. *Ann Math Stat.* 28: 181–187.
- Edman JD, Strickman D, Kittayapong P, Scott TW 1992. Female *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in Thailand rarely feed on sugar. *J Med Entomol* 29: 1035– 1038.
- Edman JD, Scott TW, Costero A, Morrison AC, Harrington LC, Clark GG 1998. *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) movement influenced by availability of oviposition sites. *J Med Entomol* 35(4):578–583
- Eiras AE, Resende MC 2009. Preliminary evaluation of the "Dengue-MI" technology for *Aedes aegypti* monitoring and control. *Cad Saúde Pública* 25: 45-58.
- Eiras AE, Buhagiar TS, Ritchie SA 2014. Development of the Gravid Aedes Trap for the Capture of Adult Female Container-Exploiting Mosquitoes (Diptera: Culicidae). *Journal of Medical Entomology* 51, 200-209.
- Eisen L, Eisen RJ 2011. Using Geographic Information Systems and Decision Support Systems for the Prediction , Prevention , and Control of Vector-Borne Diseases. *Annu. Rev. Entomol.* 56: 41–61.

- Eisen L, Lozano-Fuentes S 2009. Use of mapping and spatial and space-time modeling approaches in operational control of *Aedes aegypti* and dengue. *PLoS Negl. Trop. Dis.* 3: e411.
- Enduri MK 2014. Spatial Patterns of Spread of Dengue with Human and Vector Mobility. arXiv:1409.0965 [q-bio.PE]
- Farjana T, Tuno N, Higa Y 2012. Effects of temperature and diet on development and interspecies competition in *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*. *Med. Vet. Entomol.* 26: 210–217.
- Farjana T, Tuno N 2013. Multiple Blood Feeding and Host-Seeking Behavior in *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae). *J. Med. Entomol.* 50(4):838-846.
- Fávaro EA, Dibo MR, Mondini A, Ferreira AC, Barbosa AAC, Eiras ÁE, Barata EAMF, Chiaravalloti-neto F 2006. Physiological state of *Aedes (Stegomyia) aegypti* mosquitoes captured with MosquiTRAPstm in Mirassol, São Paulo, Brazil. *J. vector Ecol.* 31: 285–291.
- Fávaro EA, Mondini A, Dibo MR, Barbosa A a C, Eiras AE, Neto FC 2008. Assessment of entomological indicators of *Aedes aegypti* (L.) from adult and egg collections in São Paulo, Brazil. *J. Vector Ecol.* 33: 8–16.
- Favier C, Degallier N, Vilarinhos PDTR, Carvalho MDSL de, Yoshizawa MAC, Knox MB 2006. Effects of climate and different management strategies on *Aedes aegypti* breeding sites: a longitudinal survey in Brasília (DF, Brazil). *Trop. Med. Int. Health* 11: 1104–1118.
- Fay RW, Eliason DA 1966. A preferred oviposition site as a surveillance method for *Aedes aegypti*: *Mosquito News* 26: 531–535.
- Figueiredo LTM 2007. Emergent arboviruses in Brazil. *Rev Soc Bras Med Trop* 40: 224-229.
- Focks DA, Brenner RJ, Hayes J, Daniels E 2000. Transmission thresholds for dengue in terms of *Aedes aegypti* pupae per person with discussion of their utility in source reduction efforts. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 62: 11–18.
- Focks DA 2003. A review of entomological sampling methods and indicators for dengue vectors. TDR/IDE/ Den/03.1.40 pp.
- Focks DA, Barrera R 2006. Dengue Transmission Dynamics : Assessment And Implications For Control. Report of the Scientific Working Group Meeting on Dengue. Geneva: WHO. pp. 92–109.
- Franco SC 1992. Porto Alegre: Guia Histórico. 2º edição. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS.
- Fuller DO, Troyo A, Beier JC. 2009. El Niño Southern Oscillation and vegetation dynamics as predictors of dengue fever cases in Costa Rica. *Environ Res Lett* 4:140111–140118.

- Gama RA, Silva EM, Silva IM, Resende MC, Eiras AE 2007. Evaluation of the Sticky MosquiTRAP TM for Detecting *Aedes (Stegomyia) aegypti* (L.) (Diptera: Culicidae) during the Dry Season in Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil. *Neotrop. Entomol.* 36: 294–302.
- Gomes AF, Nobre AA, Cruz OG 2012. Temporal analysis of the relationship between dengue and meteorological variables in the city of Rio de Janeiro, Brazil, 2001-2009. *Cad. Saúde Pública* 28: 2189–2197.
- Gordon A, Kuan G, Mercado JC, Gresh L, Avilés W, Balmaseda A, Harris E 2013. The Nicaraguan Pediatric Dengue Cohort Study: Incidence of Inapparent and Symptomatic Dengue Virus Infections, 2004-2010. *PLoS Negl. Trop. Dis.* 7: 2004–2010.
- Gubler DJ, Kuno G 1997. Dengue and Dengue hemorrhagic fever. CAB International, Wallingford, 498 pp.
- Gubler DJ, Reiter P, Ebi KL, Yap W, Nasci R & Patz JA 2001. Climate variability and change in the United States: potential impacts on vector- and rodent-borne diseases. *Environmental Health Perspectives* 109(Suppl. 2), 223–233.
- Guimarães RJPS, Gonçalves R, Gonçalves NV, Soares DC, Santos WS, Garcez LM 2013. Uso do SIG para o estudo da leishmaniose em Santarém, Pará, Brasil. In: *An. XVI Simpósio Bras. Sensoriamento Remoto-SBSR*, 8599–8605.
- Guzman MG, Halstead SB, Artsob H, Buchy P, Farrar J, Nathan MB, Pelegriño JL, Simmons C, Yoksan S, Peeling RW 2010. Dengue: a continuing global threat. *Nat Rev Microbiol.* 8: 1–26.
- Halstead SB 2007. Dengue. *Lancet* 370: 1644–1652.
- Halstead SB 2008. Dengue Virus-Mosquito Interactions. *Annu. Rev. Entomol.* 53: 273–291.
- Harrell FEJ, with contributions from Charles Dupont and many others 2015. Hmisc: Harrell Miscellaneous. R package version 3.15-0. <http://CRAN.R-project.org/package=Hmisc>
- Harrington LC, Scott TW, Lerdthusnee K, Coleman RC, Costero A, Clark GG, Jones JJ, Kitthawee S, Kittayapong P, Sithiprasasna R, Edman JD 2005. Dispersal of the dengue vector *Aedes aegypti* within and between rural communities. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 72: 209–220.
- Hasenack, H. et al. (Coord.) 2008. Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre: Geologia, Solos, Drenagem, Vegetação/Ocupação e Paisagem. Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 84 pp.
- Hochedez P, Jaureguiberry S, Debruyne M, Bossi P, Hausfater P, Brucker G, Bricaire F, Caumes E 2006. Chikungunya infection in travelers. *Emerg. Infect. Dis.* 12: 1565–1567.
- Honório NA, Silva WC, Leite PJ, Gonçalves JM, Lounibos LP, Lourenço-de-Oliveira R 2003. Dispersal of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* (Diptera:Culicidae) in an urban

- endemic Dengue area in the State of Rio de Janeiro, Brazil. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 98(2):191-8.
- Honório NA, Codeço CT, Alves FC, Magalhaes MAF., Lourenço-de-oliveira R 2009a. Temporal Distribution of *Aedes aegypti* in Different Districts of Rio De Janeiro , Brazil , Measured by Two Types of Traps. *J. Med. Entomol.* 46: 1001–1014.
- Honório NA, Nogueira RMR, Codeço CT, Carvalho MS, Cruz OG, Magalhães MDAFM, Araújo JMG de, Araújo ESM de, Gomes MQ, Pinheiro LS, Silva Pinel C da, Lourenço-de-Oliveira R 2009b. Spatial evaluation and modeling of Dengue seroprevalence and vector density in Rio de Janeiro, Brazil. *PLoS Negl. Trop. Dis.* 3: e545.
- Hurtado-Díaz M, Riojas-Rodríguez H, Rothenberg SJ, Gomez- Dantés H, Cifuentes E. 2007. Short communication: impact of climate variability on the incidence of dengue in Mexico. *Trop Med Int Health* 12:1327–1337.
- IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/censo2010>. Acessado em 15.07.14).
- Kay BH, Fanning ID, Mottram P 1989. Rearing temperature influences flavivirus vector competence of mosquitoes. *Med. Vet. Entomol.* 3:415–422.
- Kitayapong P, Yoksan S, Chansang U, Chansang C, Bhumiratana A 2008. Suppression of dengue transmission by application of integrated vector control strategies at sero-positive GIS-based foci. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 78: 70–76.
- Kulldorff M 1997. A spatial scan statistic. *Commun. Stat. Meth* 26: 1481–1496.
- Kulldorff M, Athas W, Feuer E J, Miller B, Key, C. 1998. Evaluating cluster alarms,: A space-time scan statistic and brain cancer in Los Alamos. *Am. J. Public Health.* 88: 1377-1380.
- Kulldorff M, Mostashari F, Assunção R, Hartman J, Heffernan R. 2005. A Space-Time Permutation Scan Statistic for the early detection of Disease Outbreak. *PLoS Medicine.* 2: 216-224.
- Kuno G 1995. Review of the factors modulating dengue transmission. *Epidemiol. Rev.* 17: 321–335.
- Kuno G 1997. Factors influencing the transmission of dengue viruses. In: Gubler DJ, Kuno G, editors. Dengue and dengue hemorrhagic fever. Cambridge, UK: CAB International. pp. 61–88.
- Kurane I, Ennis FE 1992. Immunity and immunopathology in virus infections. *Semin. Immunol.* 123: 585–608.
- Kyle JL, Harris E 2008. Global Spread and Persistence of Dengue. *Annu. Rev. Microbiol.* 62: 71–92.

- Lagrotta MFT, Silva W da C, Souza-santos R 2008. Identification of key areas for *Aedes aegypti* control through geoprocessing in Nova Iguaçu , Rio de Janeiro State, Brazil. *Cad. Saúde Pública* 24: 70–80.
- Leparc-Goffart I, Nougairede A, Cassadou S, Prat C, de Lamballerie X 2014. Chikungunya in the Americas. *Lancet* 383: 514.
- Liu-Helmersson J, Stenlund H, Wilder-Smith A, Rocklöv J 2014. Vectorial capacity of *Aedes aegypti*: effects of temperature and implications for global dengue epidemic potential. *PLoS One* 9: e89783.
- Loecher M, Ropkins K 2015. RgoogleMaps and loa: Unleashing R Graphics Power on Map Tiles. *Journal of Statistical Software* 63(4), 1-18. URL <http://www.jstatsoft.org/v63/i04/>.
- Lourenço J, Recker M 2014. The 2012 Madeira Dengue Outbreak: Epidemiological Determinants and Future Epidemic Potential. *PLoS Negl. Trop. Dis.* 8: e3083.
- Lozano-Fuentes S, Elizondo-Quiroga D, Farfan-Ale JA, Loronõ-Pino MA, Garcia-Rejon J, Gomez-Carro S, Lira-Zumbardo V, Najera-Vazquez R, Fernandez-Salas I, Calderón-Martinez J, Dominguez-Galera M, Mis-Avila P, Morris N, Coleman M, Moore CG, Beaty BJ, Eisen L 2008. Use of Google Earth to strengthen public health capacity and facilitate management of vector-borne diseases in resource-poor environments. *Bull. World Health Organ.* 86: 718–725.
- Lu L, Lin H, Tian L, Yang W, Sun J, Liu Q 2009. Time series analysis of dengue fever and weather in Guangzhou, China. *BMC Public Health* 9: 395.
- Luz PM, Mendes BVM, Codeço CT, Struchiner CJ, Galvani AP 2008. Time series analysis of dengue incidence in Rio de Janeiro, Brazil. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 79: 933–939.
- Macdonald, WW. *Aedes aegypti* in Malaya. I. Distribution and dispersal. *Ann Trop Med Parasitol* 1956; 50:385– 398.
- McDonald P.T 1977. Population characteristics of domestic *Aedes aegypti* (Diptera:Culicidae) in villages on the Kenya coast. II. Dispersal within and between villages. *J. Med. Entomol.* 14: 49 – 53.
- Maciel IJ, Siqueira Júnior JB, Turchi Martelli CM 2008. Epidemiologia e desafios no controle do dengue. *Rev. Patol. Trop.* 37: 111–130.
- Maciel-de-Freitas R, Codeço CT, Lourenço-de-Oliveira R, 2007. Daily survival rates and dispersal of *Aedes aegypti* females in Rio de Janeiro, Brazil. *Am J Trop Med Hyg* 76: 659-665.
- Maciel-de-freitas R, Peres RC, Alves F, Brandolini MB 2008. 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. *103: 602–605.*

- Maciel-de-Freitas R, Aguiar R, Bruno R V., Guimarães MC, Lourenço-de-Oliveira R, Sorgin MHF, Struchiner CJ, Valle D, O'Neill SL, Moreira LA 2012. Why do we need alternative tools to control mosquito-borne diseases in latin america? *Mem. Inst. Oswaldo Cruz* 107: 828–829.
- Mammen MPJ, Pimgate C, Koenraadt CJM, Rothman AL, Aldstadt J, Nisalak A, Jarman RG, Jones JW, Srikiatkachorn A, Ypil-Butac CA, Getis A, Thammapalo S, Morrison AC, Libraty DH, Green S, Scott TW 2008. Spatial and Temporal Clustering of Dengue Virus Transmission in Thai Villages. *PLoS Med.* 5: 1605–1616.
- Massad E, Stefan M, Burattini MN, Tun Y, Coutinho ABC, Ang LW 2008. The Risk of Chikungunya Fever in a Dengue-Endemic Area. *J. Travel Med.* 15: 147–155.
- Medeiros Z, Bonfim C, Brandão E, Netto MJE, Vasconcellos L, Ribeiro L, Portugal J 2012. Using kernel density estimates to investigate lymphatic filariasis in northeast Brazil. *Pathog. Glob. Health* 106: 113–117.
- Melo DPO 2009. Análise espacial e temporal da distribuição de casos de dengue e do monitoramento de *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) em duas regiões de Belo Horizonte (MG): influências das variáveis climáticas e das intervenções para controle do vetor. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais, MG, 186 pp.
- Melo DPO, Eiras AE, Scherrer LR 2012. Dengue Fever Occurrence and Vector Detection by Larval Survey , Ovitrap and MosquiTRAP : A Space-Time Clusters Analysis. *PLoS One* 7: 1–14.
- Méndez F, Barreto M, Arias JF, Rengifo G, Muñoz J, Burbano ME, Parra B 2006. Human and mosquito infections by dengue viruses during and after epidemics in a dengue-endemic region of Colombia. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 74: 678–683.
- Mieli MV, Campos RE 2003. Oviposition activity and seasonal pattern of a population of *Aedes (Stegomyia) aegypti* (L.) (Diptera: Culicidae) in subtropical Argentina. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 98: 659-663
- Morin CW, Comrie AC, Ernst K 2013. Climate and dengue transmission: Evidence and implications. *Environ. Health Perspect.* 121: 1264–1272.
- Mosha JF, Sturrock HJW, Greenwood B, Sutherland CJ, Gadalla NB, Atwal S, Hemelaar S, Brown JM, Drakeley C, Kibiki G, Bousema T, Chandramohan D, Gosling RD 2014. Hot spot or not : a comparison of spatial statistical methods to predict prospective malaria infections. *Malar. J.* 13: 1–12.
- MS - Ministério da Saúde 2002a. Fundação Nacional de Saúde (FUNASA). Programa Nacional de Controle da Dengue - PNCD, FUNASA, Brasília, 32 pp.
- MS- Ministério da Saúde 2002b. Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) Dengue aspecto epidemiológicos, diagnóstico e tratamento. Brasília 24 pp.

- MS- Ministério da Saúde 2007. Fundação Oswaldo Cruz. Série B. Textos Básicos de Saúde. Série Capacitação e Atualização em Geoprocessamento em Saúde; 3).Vol. 3, Brasília. 120 pp
- MS- Ministério da Saúde 2009a. Secretaria de Vigilância em Saúde. Guia de vigilância epidemiológica. 7. ed. Brasília. 816 pp.
- MS- Ministério da Saúde 2009b.Secretaria de Vigilância em Saúde. Diretrizes Nacionais para a Prevenção e Controle de Epidemias de Dengue. Brasília.162 pp.
- MS-Ministério da Saúde 2013. Secretaria de Vigilância em Saúde. 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. Brasília. 86 pp.
- MS- Ministério da Saúde 2014a. Boletim Epidemiológico: Monitoramento dos casos de dengue Semana Epidemiológica (SE) 35 e febre de chikungunya SE 36 de 2014. Secretaria de Vigilância em Saúde. Vol. 45, nº 20. Brasília.
- MS-Ministério da Saúde 2014b. Boletim Epidemiológico:Monitoramento dos casos de dengue até a Semana Epidemiológica (SE) 36 e febre de chikungunya até a SE 37 de 2014. Secretaria de Vigilância em Saúde. Vol 45, nº 21. Brasília.
- MS-Ministério da Saúde 2015a. Boletim Epidemiológico: Monitoramento dos casos de dengue e febre de chikungunya até a Semana Epidemiológica 6, 2015. Secretaria de Vigilância em Saúde , 46, nº 07. Brasília.
- MS-Ministério da Saúde 2015b. Boletim Epidemiológico: Monitoramento dos casos de dengue e febre de chikungunya até a Semana Epidemiológica (SE) 53 de 2014. Secretaria de Vigilância em Saúde – Ministério da Saúde, 46, nº 03. Brasília.
- MS-Ministério da Saúde 2015c. Nova classificação de casos de Dengue-OMS. Disponível em:http://dtr2004.saude.gov.br/sinanweb/novo/Download/Nova_classificacao_de_caso_de_dengue_OMS.pdf. Acessado em 20/02/2015.
- Nagao Y, Thavara U, Chitnumsup P, Tawatsin A, Chansang C 2003. Climatic and social risk factors for *Aedes* infestation in rural Thailand. *Trop. Med. Int. Health* 8: 650–659.
- Nakhapakorn K, Tripathi NK 2005. An information value based analysis of physical and climatic factors affecting dengue fever and dengue haemorrhagic fever incidence. *Int. J. Heal. Geogr.* 13: 1–13.
- Nogueira RM, Eppinghaus AL 2011. Dengue virus type 4 arrives in the state of Rio de Janeiro: a challenge for epidemiological surveillance and control. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 106: 255–256.
- Patz JA, Epstein PR, Burke TA, Balbus MPHJM 1996. Global Climate Change and Emerging Infectious Diseases. *J. Am. Med. Assoc.* 275: 217–223.

- Padmanabha H, Durham D, Correa F, Diuk-Wasser M, Galvani A 2012. The Interactive Roles of *Aedes aegypti* Super-Production and Human Density in Dengue Transmission. *PLoS Negl. Trop. Dis.* 6: e1799.
- Pepin KM, Marques-toledo C, Scherer L, Morais MM, Ellis B, Eiras AE 2013. Cost-effectiveness of Novel System of Mosquito Surveillance. *Emerg. Infect. Dis.* 19: 542–550.
- Pessanha JEM, Caiaffa WT, César CC, Proietti FA 2009. Evaluation of the Brazilian National Dengue Control Plan. *Cad. Saúde Pública* 25: 1637–1641.
- Pimenta Jr FG 2005. Instrumento para avaliar a implantação do Programa Nacional de Controle do Dengue no âmbito municipal, Dissertação de Mestrado, Escola Nacional de Saúde Pública. Rio de Janeiro, RJ, 204 pp.
- Pinto E, Coelho M, Oliver L, Massad E. 2011. The influence of climate variables on dengue in Singapore. *Int J Environ Health Res* 21:415–426
- Powell JR, Tabachnick WJ 2013. History of domestication and spread of *Aedes aegypti* - A Review. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz* 108 Suppl: 11–17.
- Prefeitura de Porto Alegre. Disponível em: http://www2.portoalegre.rs.gov.br/turismo/default.php?p_secao=260. Acesso em 10/02/2015.
- Quintero J, Brochero H, Manrique-saide P, Barrera-pérez M, Basso C, Romero S, Caprara A, Cris J, Cunha DL, Ayala EB, Mitchell-foster K, Kroeger A, Sommerfeld J, Petzold M 2014. Ecological , biological and social dimensions of dengue vector breeding in five urban settings of Latin America : a multi-country study. *BMC Infect. Dis.* 14:38: 1–13.
- Regis LN, Acioli RV, Silveira JC, Melo-Santos MAV, Souza WV, Ribeiro CMN, Silva JCS da, Monteiro AMV, Oliveira CMF, Barbosa RMR, Braga C, Rodrigues MAB, Silva MGNM, Ribeiro PJ, Bonat WH, Medeiros LC de C, Carvalho MS, Furtado AF 2013. Sustained reduction of the dengue vector population resulting from an integrated control strategy applied in two brazilian cities. *PLoS One* 8: e67682.
- Regis L, Monteiro AM, Melo-Santos MAV De, Silveira JC, Furtado AF, Acioli RV, Santos GM, Nakazawa M, Carvalho MS, Ribeiro PJ, Souza WV De 2008. Developing new approaches for detecting and preventing *Aedes aegypti* population outbreaks: Basis for surveillance, alert and control system. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz* 103: 50–59.
- Reisen, W.K. 2010. Landscape epidemiology of vector-borne diseases. *Annual Review of Entomology*, 55, 461–483
- Reiter P, Amador M a., Anderson R a., Clark GG 1995. Short report: Dispersal of *Aedes aegypti* in an urban area after blood feeding as demonstrated by rubidium-marked eggs. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 52: 177–179.
- Reiter P 2001. Climate change and mosquito-borne disease. *Environ. Health Perspect.* 109: 141–161.

- Reiter P, Lathrop S, Bunning M, Biggerstaff B, Singer D, Tiwari T, Baber L, Amador M, Thirion J, Hayes J, Seca C, Mendez J, Ramirez B, Robinson J, Rawlings J, Vorndam V, Waterman S, Gubler D, Clark G, Hayes E 2003. Texas lifestyle limits transmission of dengue virus. *Emerg. Infect. Dis.* 9: 86–89.
- Reiter P 2007. Oviposition, dispersal, and survival in *Aedes aegypti*: implications for the efficacy of control strategies. *Vector-Borne Zoon Dis* 7: 261-273.
- Resende MC De, Silva IM da, Eiras ÁE 2010. Avaliação da operacionalidade da armadilha MosquiTRAP no monitoramento de *Aedes aegypti*. *Epidemiol. Serv. Saúde* 19: 329–338.
- Resende MC De, Silva IM, Ellis BR, Eiras ÁE 2013. A comparison of larval, ovitrap and MosquiTRAP surveillance for. *Mem Inst Oswaldo Cruz*, Rio Janeiro: 1–7.
- Resendes APDC, Silveira NAPR Da, Sabroza PC, Souza-Santos R 2010. Determination of priority areas for dengue control actions. *Rev. Saude Publica* 44: 274–282.
- Ritchie SA, Buhagiar TS, Townsend M, Hoffmann A, Van Den Hurk AF, McMahon JL, Eiras AE 2014. Field validation of the Gravid *Aedes* Trap (GAT) for collection of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *J Med Entomol* 51:210-219.
- Ritchie S., Rapley L., Williams C, Johnson P., Larkman M, Silcock R., Long SA, Russel R. 2009. A lethal ovitrap-based mass trapping acheme for dengue control in Australia: I.Public acceptability and performance of lethal ovitraps. *Med. Vet. Entomol.* 23: 295–302.
- Ritchie S, Long S, Smith G, Pyke A, Knox TB 2004. Entomological investigations in a focus of dengue transmission in Cairns, Queensland, Australia, by using the Sticky Ovitrap. *J. Med. Entomol.* 41: 1–4.
- Rueda LM, Patel KJ, Axtell RC, Stinner RE (1990) Temperature-dependent development and survival rates of *Culex quinquefasciatus* and *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *J Med Entomol* 27: 892–898
- Rodrigues MDM, Marques GRAM, Serpa LLN, Arduino MDB, Voltolini JC, Barbosa GL, Andrade VR, Lima VLC de 2015. Density of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* and its association with number of residents and meteorological variables in the home environment of dengue endemic area, São Paulo, Brazil. *Parasit. Vectors* 8: 1–9.
- Rodriguez-Figueroa L, Rigau-Perez JG, Suarez EL, Reiter P 1995. Risk factors for Dengue infection during an outbreak in Yanes, Puerto Rico in 1991. *Am J Trop Med Hyg.* 52: 496–502
- Rowlingson B, Diggle P 2014. splancs: Spatial and Space-Time Point Pattern Analysis. Rpackage version 2.01-36. <http://CRAN.R-project.org/package=splancs>
- Salazar MI, Richardson JH, Sánchez-Vargas I, Olson KE, Beaty BJ 2007. Dengue virus type 2: replication and tropisms in orally infected *Aedes aegypti* mosquitoes. *BMC Microbiol* 7: 1–13.

- San Martin JL, Brathwaite O, Zambrano B, Solorzano JO, Bouckenooghe A, Dayan GH, Guzman MG 2010. The epidemiology of dengue in the Americas over the last three decades: a worrisome reality. *Am J Trop Med Hyg* 82: 128-135
- Schnute JT, Boers N, Haigh R, Grandin c, Chabot D, Johnson A, Wessel P, Antonio f, Lewin-Koh NJ, Bivand R 2015. PBSmapping: Mapping Fisheries Data and Spatial Analysis Tools. R package version 2.68.68. <http://CRAN.R-project.org/package=PBSmapping>
- Scott TW, Chow E, Strickman D, Kittayapong P, Wirtz RA, Lorenz LH, Edman JD 1993. Blood-feeding patterns of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) collected in a rural Thai village. *J. Med. Entomol.* 30: 922–927.
- Scott TW, Amerasinghe PH, Morrison AC, Lorenz LH, Clark GG, Strickman D, Kittayapong P, Edman JD 2000. Longitudinal Studies of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in Thailand and Puerto Rico: Blood Feeding Frequency. *J. Med. Entomol.* 37: 89–101.
- Scott TW, Morrison AC 2003. *Aedes aegypti* density and the risk of dengue virus transmission. In: Takken W, Scott TW (eds) Ecological aspects for application of genetically modified mosquitoes. FRONTIS, Dordrecht, The Netherlands. 187–206
- Scott TW, Takken W 2012. Feeding strategies of anthropophilic mosquitoes result in increased risk of pathogen transmission. *Trends Parasitol.* 28: 114–121.
- Shepard DS, Coudeville L, Halasa Y a, Zambrano B, Dayan GH 2011. Economic impact of dengue illness in the Americas. *Am. J. Trop. Med. Hyg* 84: 200–207.
- Sheppard PM, Macdonald WW, Tonn RJ, Grab B. 1969. Dynamics of an adult population of *Aedes aegypti* in relation to dengue haemorrhagic fever in Bangkok. *J. Anim. Ecol.* 38: 661-702.
- Silverman B 1986. Density estimation for statistics and data analysis. *Chapman Hall* 37: 1–22.
- Simões TC, Codeço CT, Nobre AA, Eiras ÁE 2013. Modeling the Non-Stationary Climate Dependent Temporal Dynamics of *Aedes aegypti* (SJ Ryan, Ed.). *PLoS One* 8: e64773.
- Simmons CP, Farrar JJ, Vinh Chau N, Wills B 2012. Dengue. *New Engl. J. Med.* 366: 1423.
- Singh J, Balakrishnan N, Bhardwaj M, Amuthadevi P, George EG, Subramani K, Soundararajan K, Appavoo NC, Jain DC, Ichhpujani RL, Bhatia R, Sokhey J 2000. Silent spread of dengue and dengue haemorrhagic fever to Coimbatore and Erode districts in Tamil Nadu, India, 1998: need for effective surveillance to monitor and control the disease. *Epidemiol. Infect.* 125: 195–200.
- Siqueira-Junior JB, Maciel IJ, Barcellos C, Souza W V, Carvalho MS, Nascimento NE, Oliveira RM, Morais-Neto O, Martelli CMT 2008. Spatial point analysis based on dengue surveys at household level in central Brazil. *BMC Public Health* 8: 361.

- SMS-POA 2001. Secretaria Municipal de saúde de Porto Alegre. Boletim epidemiológico equipe de controle epidemiológico - Coordenadoria Geral de Vigilância em Saúde. Ano IV, nº 11. Porto Alegre (RS).
- Stewart Ibarra AM, Lowe R 2013. Climate and non-climate drivers of dengue epidemics in southern coastal Ecuador. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 88: 971–981.
- Stewart Ibarra AM, Ryan SJ, Beltrán E, Mejía R, Silva M, Muñoz A 2013. Dengue vector dynamics (*Aedes aegypti*) influenced by climate and social factors in Ecuador: implications for targeted control. *PLoS One* 8: e78263.
- Tabachnik, WJ, Powell, JR 1979. A worldwide survey of genetic variation in the yellow fever mosquito, *Aedes aegypti*. *Genetic Research* 34: 215–229.
- Tauil PL 2001. Urbanização e ecologia do dengue Urbanization and dengue ecology. *Cad. Saúde Pública* 17: 99–102.
- Teets FD, Ramgopal MN, Sweeney KD, Graham AS, Michael SF, Isern S 2014. Origin of the Dengue virus outbreak in Martin County, Florida, USA 2013. *Virology Reports* 1-2: 2-8
- Teixeira MDG, Barreto ML, Costa MDCN, Ferreira LD a, Vasconcelos PFC, Cairncross S 2002. Dynamics of dengue virus circulation: A silent epidemic in a complex urban area. *Trop. Med. Int. Heal.* 7: 757–762.
- Thomas S, Obermayr U, Fischer D, Kreyling J, Beierkuhnlein C 2012. Low-temperature threshold for egg survival of a post-diapause and non-diapause European aedine strain, *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae). *Parasit. Vectors* 5: 100.
- Trpis M, Haussermann W 1986. Dispersal and other population parameters of *Aedes aegypti* in an African village and their possible significance in epidemiology of vector- borne diseases. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 35: 1263-1279.
- Toan DTT, Hu W, Quang Thai P, Hoat LN, Wright P, Martens P 2013. Hot spot detection and spatio-temporal dispersion of dengue fever in Hanoi, Vietnam. *Glob. Health Action* 6: 18632.
- Troyo A, Calderón-arguedas O, Fuller DO, Solano ME, Arheart KL, Chadee DD, Beier JC 2008. Seasonal profiles of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) larval habitats in an urban area of Costa Rica with a history of mosquito control. *J. Vector Ecol.* 33: 76–88.
- Troyo A, Fuller DO, Calderon-Arguedas O, Solano ME, Beier JC. 2009. Urban structure and dengue fever in Puntarenas, Costa Rica. *Singap J Trop Geogr* 30:265–282
- Tun-Lin W, Burkot T., Kay H 2000. Effects of temperature and larval diet on development rates and survival of the dengue vector *Aedes aegypti* in north Queensland , Australia. *Med. Vet. Entomol.* 14: 31–37.
- Turell MJ 1989. Effect of environmental temperature on the vector competence of *Aedes fowleri* for Rift Valley fever virus. *Res Virol* ;140(2):147–54.

- Van Benthem BHB , Vanwambeke SO, Khantikul N, Burghoorn-Maas C, Panart K, Oskam L, Lambin EF, Somboon P 2005. Spatial patterns of and risk factors for seropositivity for dengue infection. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 72: 201–208.
- Vanwambeke SO, Benthem BHB van, Khantikul N, Burghoorn-Maas C, Panart K, Oskam L, Lambin EF, Somboon P 2006. Multi-level analyses of spatial and temporal determinants for dengue infection. *Int. J. Health Geogr.* 5: 5.
- Venkatesan M, Rasgon JL. 2010. Population genetic data suggest a role for mosquito-mediated dispersal of West Nile virus across the western United States. *Mol Ecol* 19:1573–1584
- Vezzani D, Velásquez SM, Schweigmann N 2004. Seasonal pattern of abundance of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in Buenos Aires city, Argentina. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 99: 351-356.
- Vezzani D, Carbajo A 2008. *Aedes aegypti*, *Aedes albopictus*, and dengue in Argentina: current knowledge and future directions. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 103: 66–74.
- Vilarino MG 1998. Bom Jesus. Porto Alegre: Secretaria Municipal da Cultura da Prefeitura Municipal de Porto Alegre. (Memória dos Bairros)
- Watts DM, Burke DS, Harrison BA, Whitmire RE, Nisalak A. 1987. Effect of temperature on the vector efficiency of *Aedes aegypti* for Dengue 2 virus. *Am J Trop Med Hyg* 36:143–52.
- Westaway EG, Brinton MA, Gaidamovich S, Horzinek MC, Igarashi A, Kaariainen L, Lvov DK, Porterfield JE, Russell PK, Trent DW 1985. Flaviviridae. *Intervirology* 24: 183-192.
- WHO-World Health Organization 2012. Global Strategy for Dengue Prevention and Control 2012–2020. Geneva. 35 pp.
- Wilder-Smith A, Gubler DJ 2008: Geographic expansion of dengue: the impact of international travel. *Med Clin North Am.* 92:1377–1390.
- Williams CR, Johnson PH, Ball TS, Ritchie S a 2013. Productivity and population density estimates of the dengue vector mosquito *Aedes aegypti* (*Stegomyia aegypti*) in Australia. *Med. Vet. Entomol.* 27: 313–322.
- Wong J, Stoddard ST, Astete H, Morrison AC, Scott TW 2011. Oviposition site selection by the dengue vector *Aedes aegypti* and its implications for dengue control. *PLoS Negl. Trop. Dis.* 5: e1015.
- Worton BJ 1989. Kernel Methods for Estimating the Utilization Distribution in Home-Range Studies. *Ecology*, 70:164–168
- Wu P-C, Guo H-R, Lung S-C, Lin C-Y, Su H-J 2007. Weather as an effective predictor for occurrence of dengue fever in Taiwan. *Acta Trop.* 103: 50–57.

- Wu P, Lay J, Guo H, Lin C, Lung S, Su H 2009. Higher temperature and urbanization affect the spatial patterns of dengue fever transmission in subtropical Taiwan. *Sci. Total Environ.* 407: 2224–2233.
- Yoon IK, Rothman AL, Tannitisupawong D, Srikiatkachorn A, Jarman RG, Aldstadt J, Nisalak A, Mammen MP, Thammapalo S, Green S, Libraty DH, Gibbons R V., Getis A, Endy T, Jones JW, Koenraadt CJM, Morrison AC, Fansiri T, Pimgate C, Scott TW 2012. Underrecognized mildly symptomatic viremic dengue virus infections in rural thai schools and villages. *J. Infect. Dis.* 206: 389–398.
- Zuur AF, Ieno EN, Walker NJ, Saveliev AA, Smith GM 2009. Mixed effects models and extensions in ecology with R: Springer, New York, 600 pp.
- Zuur AF, Ieno EN, Elphick CS 2010. A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. *Methods Ecol. Evol.* 1: 3–14.

ANEXO 6. Termo de aprovação do Comitê de Ética (COEP-UFMG)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA - COEP

Projeto: CAAE – 36991014.7.0000.5149

**Interessado(a): Prof. Alvaro Eduardo Eiras
Departamento de Parasitologia
ICB- UFMG**

DECISÃO

O Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG – COEP aprovou, no dia 26 de novembro de 2014, o projeto de pesquisa intitulado **"Distribuição espaço-temporal do Aedes aegypti (Diptera: Culicidae) e casos de Dengue em Porto Alegre (RS)"**.

O relatório final ou parcial deverá ser encaminhado ao COEP um ano após o início do projeto através da Plataforma Brasil.

A handwritten signature in blue ink, reading "Telma Campos Medeiros Lorentz".

**Prof.ª Dr.ª. Telma Campos Medeiros Lorentz
Coordenadora do COEP-UFMG**