



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

ROMMEL BENICIO COSTA DA SILVA

**RELAÇÃO ENTRE O CLIMA, A DENSIDADE DE MOSQUITOS EM FLORESTA E A
DISTRIBUIÇÃO DE ENDEMIAS NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

**BELÉM – PA
2021**

ROMMEL BENICIO COSTA DA SILVA

**RELAÇÃO ENTRE O CLIMA, A DENSIDADE DE MOSQUITOS EM FLORESTA E A
DISTRIBUIÇÃO DE ENDEMIAS NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária/Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi/MPEG como requisito para a obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Clima e dinâmica socioambiental na Amazônia

Linha de pesquisa: Interação Clima, Sociedade e Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Adriano Marlison Leão de Sousa

Coorientadora: Profa Dra. Maria Isabel Vitorino.

BELÉM-PA

2021

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

S586r Silva, Rommel Benicio Costa da.
Relação entre o clima, a densidade de mosquitos em floresta e a
distribuição de endemias na Amazônia Oriental / Rommel Benicio
Costa da Silva. — 2021.
75 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Adriano Marlison Leão de Sousa

Coorientação: Prof^a. Dra. Maria Isabel Vitorino

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de
Geociências, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais,
Belém, 2021.

1. Mudanças Climáticas. 2. Morbidades. 3. Malária. 4.
Endemias. 5. Amazônia. I. Título.

CDD 616.988

ROMMEL BENICIO COSTA DA SILVA

**RELAÇÃO ENTRE O CLIMA, A DENSIDADE DE MOSQUITOS EM FLORESTA E A
DISTRIBUIÇÃO DE ENDEMIAS NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária/Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi/MPEG como requisito para a obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Clima e dinâmica socioambiental na Amazônia.

Linha de pesquisa: Interação Clima, Sociedade e Ambiente.

Belém, 15 de Abril de 2021

Banca Examinadora



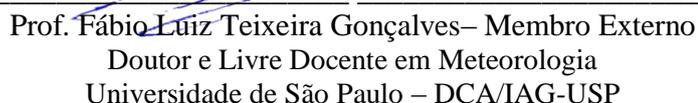
Prof. Adriano Marlison Leão de Sousa – Orientador
Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental
Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA

Prof. Everaldo Barreiros de Souza – Membro
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará - UFPA



Dr. Mário Augusto G. Jardim
MCTIC - Museu Paraense Emílio Goeldi
SIAPE: 672.470-1

Prof. Mário Augusto Gonçalves Jardim – Membro
Doutor em Ciências Biológicas
Museu Paraense Emílio Goeldi - MPEG



Prof. Fábio Luiz Teixeira Gonçalves – Membro Externo
Doutor e Livre Docente em Meteorologia
Universidade de São Paulo – DCA/IAG-USP



Profa. Andressa Tavares Parente - Membro
Doutora em Ciências Ambientais
Universidade Federal do Pará – UFPA

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e perseverança que me proporciona a cada amanhecer.

Às Instituições de fomento: CAPES (maio/2010 a janeiro/2013) e CNPq (fevereiro 2013 a maio 2014) pelo aporte financeiro;

Ao Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Pará (PPGCA/FAMET-UFPA/EMBRAPA/MPEG) pela estrutura física;

Aos: Professores Doutores: Adriano Marlison Leão de Souza (titular) e Maria Isabel Vitorino (co-orientação) pelas orientações e paciência;

Ao Programa LBA em Belém sediado primeiramente no Campus de pesquisa do Museu Paraense Emílio Goeldi e posterior e atualmente na Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) e aos seus ex-integrantes Dr. Leonardo Sá, Bel. Ronaldo Rodrigues, Msc. Welbert Souza, Dr. Hildo Nunes, Msc. Priscilla Barreto, Msc. Guilherme Camarinha Neto e Dr. Sérgio (in memoriam) Santos pelo apoio nas atividades de campo;

Ao Dr. Alessandro Carioca e Msc. Leila Leal pelo ensinamento de certificação dos dados, aos profissionais Vinicius Caldas pela colaboração nas certificações, Carlos Dias e Giselle Nerino pela mútua cooperação nos trabalhos de campo do LBA em Caxiuanã.

Ao Dr Bento Melo Mascarenhas (MPEG) pela atenção e sugestões; Ao Dr. Ulisses Eugênio Cavalcante Confalonieri da Fundação Instituto Oswaldo Cruz (FIOCRUZ), pelas informações das coletas de mosquitos na FLONA de Caxiuanã.

Ao INMET/BDMET e ao SINAN/SAGE/MS pela disponibilização das informações climáticas e epidemiológicas regionais;

A Biblioteca do IG, na pessoa da Sra Lucia, pela normatização conforme regras da ABNT e a todos, que de alguma forma contribuíram para que a realização e conclusão deste trabalho fosse possível mesmo após as diversidades institucionais.

O autor se empenhou ao máximo para, adequadamente, citar e dar o devido crédito a todos os detentores de direitos autorais de qualquer material referenciado neste trabalho, colocando-se a inteira disposição aos possíveis acertos posteriores caso tenha sido omitida, inadvertida e involuntariamente, a identificação de alguns deles.

Frases da vida

Não ter dinheiro é ruim, MUITO RUIM.

A vida não será fácil.

Oportunidades passarão por você ser um ninguém.

Pessoas vão querer seu produto E NÃO VOCÊ. É um mundo cruel.

Se você ainda não é famoso, ou rico, ou bem conectado você vai achar ainda mais difícil.

Portas se fecharão.

Pessoas roubarão sua glória e esmagarão sua esperança.

Você vai se esforçar, se esforçar e nada acontecerá.

Então desolado, quebrado, pobre, você aceitará trabalhos que não o completam, por sobrevivência.

Quem sabe pode até acabar dormindo na rua.

Mas NUNCA deixem que destruam seu sonho.

Seja o que for que aconteça CONTINUE SONHANDO, mesmo quando esmagarem sua esperança CONTINUE SONHANDO, mesmo quando te deixarem sozinho CONTINUE SONHANDO.

Ninguém sabe do que você é capaz a não ser você mesmo.

Enquanto você estiver vivo, a sua história ainda não acabou.

by Sylvester Stallone

RESUMO

O clima na Amazônia vem se alterando, principalmente pelas atividades antrópicas fazendo com que a proliferação de insetos, responsáveis pela disseminação de doenças, seja influenciada pelo comportamento das variáveis atmosféricas. A Floresta Nacional de Caxiuanã, que é uma unidade de conservação (UC) apresenta entre 80% a 85% de floresta primária de terra firme, possuindo elevada diversidade e riqueza de espécies. Neste contexto, este estudo visa compreender a influência das mudanças climáticas na densidade de mosquitos e na disseminação de endemias em região de floresta e no seu entorno na Amazônia Oriental. Para isso foram utilizados dados climáticos obtidos junto ao BDMET/INMET (1978 a 2017) e na Torre do LBA instalada na Estação Científica Ferreira Pena (ECFPn), índices climáticos de IOS e do MMA no site da NOAA e dados de morbidades no site SAGE/MS. Os resultados mostram estatísticas elaboradas entre o clima, a Malária (MAL), a dengue (DNG) e a Leishmaniose tegumentar americana (LTA) que afetam a região durante o período de 2001 a 2017. A variabilidade climática demonstra elevação (por década) em seus níveis, com redução nos índices de umidade do ar, mostrando que as mudanças no uso e cobertura do solo denotam alterações no clima, com maior influência do indicador do pacífico por sobre as chuvas da região. As correlações estatísticas entre a variabilidade do clima apresentaram uma correlação não linear tanto com a densidade dos mosquitos quanto com as endemias. Os autovetores indicam que as variáveis que mais influenciaram nas endemias foram a temperatura do ar e a chuva. Diante desse cenário, concluímos que a região apresentou significativa variação nos índices climáticos, concorrendo para elevações nos índices de temperatura média do ar, em florestas primárias, provocando aumento significativo na densidade de mosquitos vetores, tendendo a elevar o número de morbidades na região.

Palavras-chave: Mudanças Climáticas. Morbidades. Malária. Endemias. Amazônia.

ABSTRACT

The climate in the Amazon has been changing, mainly due to human activities causing the proliferation of insects, responsible for the spread of diseases, is influenced by the behavior atmospheric variables. The Caxiuanã National Forest, which is a conservation unit (CU) that presents between 80% and 85% of upland primary forest, having high diversity and species richness. In this context, this study aims to understand the influence of climate change on the density of mosquitoes and on the spread of endemics in the forest region and its surroundings in the Eastern Amazon. For that, climatic data obtained from BDMET / INMET (1978 to 2017) and at the LBA Tower installed at the Ferreira Pena Scientific Station (ECFPn) were used, Pacific (IOS) and Atlantic (MMA) climatic indexes on the NOAA website and morbidity data on the SAGE/MS website. The results show statistics compiled between climate, Malaria (MAL), dengue (DNG) and American cutaneous leishmaniasis (ACL) that affect the region during the period from 2001 to 2017. The climatic variability shows an increase (per decade) in its levels, with a reduction in the humidity indexes of the air, showing that changes in land use and cover denote changes in the climate, with greater influence of the Pacific indicator over the region's rains. The statistical correlations between climate variability showed a non-linear correlation both with the density of mosquitoes and with endemics. The eigenvectors indicate that the variables that most influenced endemic diseases were air temperature and rain. In view of this scenario, we conclude that the region showed significant variation in climatic indices, contributing to increases in the average air temperature indices in primary forests, causing a significant increase in the density of vector mosquitoes, tending to increase the number of morbidities in the region.

Keywords: Climate Change. Morbidities. Malaria. Endemics. Amazon.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 2

- Figura 1- Mapa de localização da região indicando a área de estudo (a) com seus municípios, as estações meteorológicas (Δ) e a área de abrangência dentro do cenário nacional (b).....24
- Figura 2- Variação do uso e cobertura do solo na região de estudo, durante o período de a) 2004 e b) 2014.....27
- Figura 3- Distribuição mensal dos índices climáticos MMA (a) e IOS (b), durante o período de 1978 a 2017. As linhas pretas curvas representam a média móvel de 12 meses, as horizontais indicam os limiares dos extremos climáticos e as verticais a divisão decadal.....28
- Figura 4- Anomalia anual de chuva para a média da área de estudo, durante 1978 a 2017. As linhas pretas curva de chuva é a média móvel anual, as horizontais são as faixas do limiar das anomalias para extremos de chuvas (cores vermelha chuvas acima da média e azul abaixo da média climática) e as verticais a divisão decadal.....29
- Figura 5- Distribuição mensal da chuva (b), da temperatura média e da umidade relativa do ar (a) para as áreas urbanas (linha preta) e de floresta (linha vermelha), durante os períodos de 1978 a 2017 e 2000 a 2017, respectivamente.....30
- Figura 6- Climatologia espacial da temperatura do ar, da umidade relativa do ar e da chuva para a região de estudo, com efeito na unidade de conservação (UC), durante o período de 1978 a 2017.....32
- Figura 7- Variabilidade espacial por década (1978-1987; 1988-1997; 1998-2007; 2008-2017) para a temperatura do ar (Tar), a umidade relativa do ar (UR) e a chuva para a região de estudo, com efeito na unidade de conservação (UC).....33

Figura 8- Distribuição horária da densidade de mosquitos (preto) e das variáveis meteorológicas (linha vermelha) da temperatura do ar (a), umidade relativa do ar (b) e da Chuva (c) na região da Unidade de Conservação (UC), com destaque no período de maior quantidade de espécimes (quadrícula azul), durante as campanhas de 2005 e 2006.....	35
---	----

CAPÍTULO 3

Figura 1- A torre micrometeorológica do LBA (1a), uma esquematização (1b) de como foram distribuídos os atrativos humanos no ponto de realização das campanhas de coleta de mosquitos dentro da unidade de conservação (1c) e sua localização no cenário nacional (1d).....	41
---	----

Figura 2- Distribuição temporal dos índices climáticos MMA (Atlântico) e IOS (Pacífico), durante o período de coleta dos mosquitos na floresta de Caxiuanã, 2005 a 2006.....	43
--	----

Figura 3- Variação média e acumulada mensal da Temperatura média do ar (a), da Umidade relativa do ar (b) e da chuva (c), durante 2005 e 2006 para a floresta de Caxiuanã (linhas contínuas vermelhas) e média da área urbana (linhas contínuas pretas). As linhas tracejadas inclinada representam as tendências estatísticas das variáveis e a linha vertical indica a separação dos anos.....	45
--	----

Figura 4- Distribuição temporal das variáveis climáticas e da densidade de mosquitos na FLONA de Caxiuanã, durante o período das campanhas 2005 e 2006.....	46
---	----

Figura 5- Coeficiente temporal dos autovalores diários das CP1 com 55% e CP2 com 34% da variância total explicada entre o clima (Tar e UR) e a densidade de mosquitos, com 95% de significância de teste <i>t-Student</i>	48
---	----

Figura 6- Distribuição média horária das variáveis meteorológicas (a) e da densidade de mosquitos (b), durante o período menos chuvoso, julho e setembro de 2005.....	49
---	----

Figura 7- Distribuição média horária das variáveis meteorológicas (a) e da densidade de mosquitos (b), durante o período chuvoso de dezembro, fevereiro e abril de 2006...50	50
--	----

CAPÍTULO 4

Figura 1- Área de estudo, com os 10 municípios e sua localização no âmbito estadual (a) e nacional (b), destacando o arco do desmatamento.....	58
Figura 2- Distribuição média das endemias (Malária, Dengue e Leishmaniose) (a) e das variáveis climáticas (Chuva e temperatura do ar) (b) para os 10 municípios no estado do Pará, durante o período de 2001 a 2017. A linha vermelha indica o máximo de chuva esperado para a região.....	60
Figura 3- Número de casos de Malária na área de estudo, durante o período de 2001 a 2017. As linhas horizontais indicam a incidência máxima esperada (IME) em cada município. Os anos com número de casos acima da IME (linha preta) são considerados com surto epidêmico e/ou epidemia.....	61
Figura 4- Número de casos de Dengue na área de estudo, durante o período de 2001 a 2017. As linhas horizontais indicam a incidência máxima esperada (IME) em cada município. Os anos com número de casos acima da IME (linha preta) são considerados com surto epidêmico e/ou epidemia.....	62
Figura 5- Número de casos de LTA na área de estudo, durante o período de 2001 a 2017. As linhas horizontais indicam a incidência máxima esperada (IME) em cada município. Os anos com número de casos acima da IME (linha preta) são considerados com surto epidêmico e/ou epidemia.....	63
Figura 6- Coeficientes dos autovetores (a,b) e autovalores (c) para CP1 (a) com 77% e CP2 (b) com 10% das correlações entre as endemias e o clima na área de estudo, durante o período de 2001 a 2017, com significância de 95% do teste t-Student com suas linhas de tendências.....	64

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 1- Relação dos extremos climáticos a partir das anomalias de chuva, associado ao valor médio anual dos índices IOS e MMA, durante 1978 a 2017.....30

Tabela 2- Quantidade total de espécimes capturados classificados por gênero, período do ano e totalidade.....34

CAPÍTULO 3

Tabela 1- Correlação (*Sperman*) (ρ) na escala sazonal para densidade de mosquitos e as variáveis climáticas, durante o período de 2005 a 2006.....46

Tabela 2- Correlação (*Sperman*) na escala horária entre a densidade de mosquitos e as variáveis climáticas, durante o período de julho, setembro e dezembro de 2005 a fevereiro e abril de 2006.....51

SUMÁRIO

CAPITULO 1 INTRODUÇÃO GERAL	14
1.1 Introdução.....	14
1.1.1 Aquecimento global e endemias	15
1.1.2 Variabilidade climática na Amazônia	16
1.1.3 Efeitos da alteração da cobertura vegetal na biodiversidade	17
1.2 Objetivos	21
1.3 Hipótese	22
1.4 Estrutura da tese	22
CAPÍTULO 2 A INFLUENCIA DA VARIABILIDADE CLIMÁTICA NA DENSIDADE DE MOSQUITOS VETORES NO LESTE DA AMAZÔNIA	23
2.1 Introdução	23
2.2 Material e métodos	24
2.3 Resultados e discussões	26
2.3.1 Análise da Mudança de Uso do Solo	26
2.3.2 Análise Climática Tempo-Espaço.....	27
2.3.3 Densidade dos Mosquitos e o Clima.....	34
2.4 Conclusão	36
CAPÍTULO 3 AS MÚLTIPLAS ESCALAS DO CLIMA E DO TEMPO NA DENSIDADE DE MOSQUITOS NA AMAZÔNIA ORIENTAL, DURANTE O PERÍODO DE 2005 E 2006.....	39
3.1 Introdução.....	39
3.2 Materiais e métodos	40
3.3 Resultado e discussão	43

3.3.1 Grande Escala	43
3.3.2 Escala Local	48
3.4 Conclusão	51
CAPÍTULO 4 ANÁLISE DAS ENDEMIAS COMBINADAS COM AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO ESTADO DO PARÁ.....	55
4.1 Introdução.....	55
4.2 Materiais e métodos	57
4.2.1 Caracterização da área de estudo.....	57
4.2.2 Dados Climáticos e Epidemiológicos.....	58
4.3 Resultado e discussão	59
4.3.1 Análise Temporal Média.....	59
4.3.2 Análise de Componentes Principais.....	63
4.4 Conclusão	65
CAPÍTULO 5 DISCUSSÕES GERAIS	68
5.1 Resultados Chaves.....	69
5.2 Prioridades para pesquisas futuras.....	69
5.3 Considerações Finais	70
REFERÊNCIAS	71

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL

1.1 Introdução

Atualmente, o clima na Amazônia vem se alterando, principalmente pelas atividades antrópicas, como desmatamentos, exploração da madeira e fogo na floresta, cujos efeitos ambientais ocasionam elevação na temperatura média do ar e mudanças no comportamento das chuvas e na composição do vapor d'água na atmosfera.

O clima nas regiões tropicais é, em geral quente e úmido agindo como um importante fator regulador dos processos biológicos (WOLFE et al., 2000). Estudos realizados por Lindsay e Bayoh (2004), Bale et al. (2002), Musolin (2007) e Blanche (2000) indicam que as chuvas e a temperatura do ar estão correlacionadas com a proliferação de mosquitos, porém em relação aos fluxos de energia (CO_2 , LE, H, H_2O) ainda é uma incógnita.

A proliferação de insetos vetores, responsáveis pela disseminação de doenças, está relacionada ao comportamento destas variáveis atmosféricas, que por sua vez, estão condicionadas aos níveis das concentrações dos gases atmosféricos responsáveis pelo aquecimento da atmosfera.

As alterações na química da atmosfera, mudanças climáticas, degradação do solo, perda da biodiversidade, urbanização, grandes empreendimentos, escassez de água e poluições químicas de âmbito global, podem ter consequências severas para o bem estar humano, saúde e sobrevivência e a importância dessas mudanças para a saúde humana dependerá de quanto às populações são ou podem ser afetadas no futuro, do grau de amplitude dos impactos e das possibilidades de adaptações biológicas e das formas de mitigação e controle disponíveis (ARAUJO, 2007).

Para Souza, Silva e Barreto (2009), a Amazônia que é rica em biodiversidade florística e animal (principalmente insetos) tendo em seu ecossistema um mecanismo de reprodução da vida e suas consequências desempenha um papel importante para o clima global sendo considerada a floresta tropical mais importante do planeta, segundo Esquivel-Muelbert et al. (2018) estas florestas tropicais representam os ecossistemas de maior biodiversidade do planeta, além de fornecer suas maiores reservas de carbono e contribuir bem mais para a produtividade de biomassa do que qualquer outro bioma no globo.

O bioma Amazônico onde Berbert (2013), radicalmente denominou de 'inferno verde', assim como outros vários adjetivos que não mostram a verdadeira realidade do local, para Nobre (2014) é a **bomba biótica** que faz da vegetação da floresta a maior fonte de umidade para a atmosfera, transformando esta umidade florestal em rios voadores distribuindo esta água evaporada pela floresta para outras regiões do Brasil. Esta floresta expande-se por

muitos quilômetros na América do Sul, abrangendo aproximadamente 65% da parte norte do território brasileiro (CONFALONIERE; MARGONARI; QUINTÃO, 2014).

Os níveis da concentração de CO₂ na atmosfera variam conforme a estação do ano, devido às interações entre a vegetação e a atmosfera. A elevação nos níveis desta concentração ocasiona aumento nos níveis da temperatura do planeta e, este aumento consecutivo, provoca alterações no clima o que leva a um aumento na quantidade de eventos de ondas de calor, enchentes e no número de doenças infecciosas através da proliferação de pestes. Com respeito aos gases da própria atmosfera, estudos realizados por Laporta e Sallum (2011), indicam que o gás CO₂ age como agente atrativo de mosquitos.

Um estudo elaborado pelo Fundo Mundial para a Natureza (WWF, 2014) e a sociedade de Zoologia de Londres (WWF, 2016) mostrou que o “índice” que acompanha a biodiversidade no planeta, revela que ocorreu, em média, uma redução total de 27% nestes 35 anos. A destruição dos *habitats* são as grandes causas de redução destas populações e adiciona que, nos próximos 30 anos, a mudança do clima será um dos fatores de crescente importância que irá afetar as espécies.

1.1.1 Aquecimento global e endemias

Os processos de mudanças ambientais globais afetam a saúde humana, direta ou indiretamente, pontual ou regionalmente. Projeções da União Internacional para a Conservação da Natureza e dos Recursos Naturais (SHAH, 2013) indicam que um aquecimento mundial acima de 3,5°C causará um empobrecimento generalizado na biodiversidade terrestre, com extinção (provável) de até 70% de todas as espécies conhecidas.

O aquecimento global gera uma preocupação científica sobre uma provável expansão da área de ocorrência de algumas doenças transmitidas por insetos vetores para países de clima temperado. A partir do impacto do clima dentro do cenário de mudanças climáticas e as consequências no nível de insetos, Wilson e Maclean (2011) relatam que, a nível global, as literaturas encontradas a respeito deste assunto, ainda são incipientes.

No contexto nacional, o que existe são estudos que relacionam e/ou que tentam responder o porquê da biodiversidade está se modificando no que concerne à presença do vetor e o nível populacional em seu habitat natural, sem levar em conta as alterações das variáveis climáticas e a mudança de uso da terra.

O aquecimento do planeta está permitindo que mosquitos vetores sobrevivam em áreas que, antes eram consideradas muito frias para ele, haja vista que autoridades sanitárias

peruanas afirmam ter constatado aumento no número de casos de malária, dengue e bartonelose¹ em altitudes em que as doenças não eram comuns como o caso do *Aedes Albopictus* que contribui para o aumento de casos de dengue e que a presença deste vírus pode, também, desencadear doenças como a meningite², a encefalite³ ou a síndrome de Guillain-Barré⁴.

Pesquisadores do Instituto Evandro Chagas, em entrevista aos telejornais locais, relataram a realização de experimentos laboratoriais onde constataram que o *Zika* vírus, predominantemente encontrado no organismo do *Aedes aegypti*, foi facilmente adaptado ao organismo dos mosquitos da espécie *Culex portesi*, que é a espécie de maior predominância na Amazônia.

Na Amazônia, estudos sobre mosquitos (da família *Culicidae*) concentram-se principalmente no gênero *Anopheles*, por ser um importante agente na transmissão da malária (*Anopheles Darlingi*) e, em menor intensidade, em *culicíneos* vetores (mosquitos transmissores) de arboviroses silvestres, como a febre amarela na qual, a partir do século XVII, exterminou vidas através das epidemias que assombraram as extensas áreas das regiões tropicais da África e das Américas (JONES et al., 2004; FUNASA, 1994; HOCH et al., 1981).

O constante lançamento de CO₂ para a atmosfera concorre para elevar o nível térmico do ecossistema a ponto de preservar por longos períodos ovos de determinado gênero de mosquito aguardando o momento de início da temporada das chuvas na Amazônia para promover sua eclosão, inclusive e principalmente, mosquitos transmissores de doenças tropicais (a dengue, a leishmaniose, a febre amarela, o zika, a malária, dentre outras).

O estudo da interação entre mudanças climáticas e seus efeitos sobre a diversidade biológica de vetores tem rara atenção dentro da comunidade científica, haja vista que poucos estudos são realizados nesta área temática, principalmente na Amazônia legal. Considerando-se como estudos que analisam a influência do efeito das variáveis atmosféricas sobre a densidade de insetos vetores onde as complicações na saúde humana causadas por mosquitos fazem parte deste grupo servindo como base de referência a estudos futuros.

1.1.2 Variabilidade climática na Amazônia

A Amazônia possui uma enorme importância para a estabilidade ambiental do Planeta, nela estão fixadas mais de 100x10⁹ toneladas⁵ de carbono. Sua massa vegetal, através da evapotranspiração, libera $\approx 7 \times 10^9$ ton.ano⁻¹ de água para atmosfera e seus rios descarregam $\approx 20\%$ de toda água doce que chega até os oceanos (MMA, 2002). As florestas tropicais das

¹ Bartonelose - São doenças infecto-contagiosas causadas por bactérias do gênero *Bartonella*.

² Meningite - É a inflamação das membranas que revestem o encéfalo e a medula espinhal.

³ Encefalite - São infecções agudas do encéfalo, causadas por vírus, bactéria, fungos ou parasitas.

⁴ Síndrome de Guillain-Barré - Fraqueza muscular de aparecimento súbito causada pelo ataque do sistema imunitário ao nervoso periférico.

⁵ cem trilhões de toneladas

Américas são mais biodiversas do que as florestas úmidas da África e Ásia (TURNER, 2001).

É uma região de clima equatorial (exceto: o estado de Rondônia, o sul do Amazonas e o norte do Pará, onde o clima registrado é o tropical) com altas temperaturas durante todo o ano (médias de 24°C a 26°C) e baixa amplitude de temperatura que compreende a região Norte do Brasil. É afetada pelos Oceanos Pacífico e Atlântico (FIGUEROA; NOBRE, 1990; FISCH et al., 1998; MARENGO, 1992), através das anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) e pelos gradientes térmicos (zonais e meridionais) nestes Oceanos.

Devido suas atividades, os seres humanos são as criaturas que exercem maior influência no planeta. A vegetação contribui na promoção de eventos de chuvas pela capacidade de semearem as nuvens através da liberação de sais de potássio (POHLKER et al., 2012). Para Nobre, (2014) a devastação da floresta gera um clima inóspito e seus efeitos danosos têm como causa imediata a redução drástica da transpiração, a modificação na dinâmica de nuvens e chuvas com o prolongamento da estação seca, assim como o dano por fumaça e fuligem à dinâmica de chuvas.

Um cenário apresentado, onde ao contrário das atividades humanas, ecossistemas naturais não tem capacidade de adaptação diante da evolução das mudanças do clima se esta evolução ocorrer em um intervalo de poucos anos (décadas) (NOBRE et al., 2005), a grande velocidade nestas alterações introduzirá grande ameaça à imensa diversidade de espécies nos ecossistemas, tanto da flora quanto na fauna, tendo como possível resultado, uma sensível diminuição biológica, com ênfase na Amazônia, poderá ocasionar alteração nos ciclos de água, de energia solar, de carbono e de nutrientes, como resultado da mudança na cobertura vegetal na região, afetando o clima e o meio ambiente nas escalas local, regional e global.

1.1.3 Efeitos da alteração da cobertura vegetal na biodiversidade

Segundo Herzog e Vieira (2017), o estado do Amazonas tem a maior área de floresta do Brasil e a evolução do desmatamento mostra o cenário real que a Amazônia vive, a fronteira do agronegócio avança pelo sul do Pará que concentra um dos maiores rebanhos do país, Rondônia está quase sem a metade de suas florestas e esta degradação avança pelo sul do Amazonas, a extração ilícita de madeira, a grilagem, a abertura de rodovias e o agronegócio colocam o bioma Amazônia (floresta) no limite, pois já perdeu ≈20% de sua cobertura vegetal original.

Segundo Herzog e Vieira, (2017), o desmatamento na Amazônia Legal até 2016 apresentou os seguintes percentuais (em relação a anos anteriores): norte de Mato Grosso (46,1%), Pará (24,7%), Rondônia (15,6%), Amazonas (7,3%), Acre (3,7%), Maranhão (2%), Tocantins (0,3%) e Roraima (0,3%). Somente em 2016, de todos os estados da Amazônia legal, o Pará desmatou mais de 3000km², Mato Grosso mais de 1500km², Rondônia com ≈1400km² e Amazonas com ≈1100km² (≈54%) pelos diversos motivos, sendo em sua ampla maioria, antrópicos, evidenciando a mudança pelo uso da terra.

Para Gash e Nobre (1997) a mudança em grande escala na vegetação da superfície altera as transferências regionais de energia sensível e latente e de momentum entre a superfície e a atmosfera, tendo como resultado variações nos índices de chuva e de temperatura média do ar. Por conseguinte, se um habitat for fragmentado (promovendo extinção de espécies na região) levará a uma irreparável perda da biodiversidade local, além de que, para Hansen et al. (2013), em um intervalo de 13 anos, a tendência linear nos totais anuais de perda florestal mostraram declínio, porém o desflorestamento ainda é significativo, ficando acima dos 25000 km² de floresta derrubada, ocasionando mudança e/ou alteração no clima.

O clima é importante como um fator governante na distribuição sobre extensas áreas, e que o calor e a umidade são as variáveis climáticas mais importantes para a reprodução, desenvolvimento e sobrevivência da maioria dos insetos (LINDSAY; BAYOH, 2004). O épico trabalho de Darwin (1859) já relatava o importante papel do clima, em determinar o número médio de indivíduos de uma espécie e que suas variações são os mecanismos mais eficazes para o aumento de indivíduos em uma população.

Segundo Draghi et al. (2010), uma população tem dificuldade em adaptar-se diante de uma alteração ambiental pelos organismos mais fortes, pois são mais adaptáveis, tendo demonstrado que a força pode tanto dificultar quanto facilitar a adaptação, já Hoffmann e Sgrò (2011), relatam que o desafio é entender quando o processo de evolução ocorrerá para poder identificar os potenciais vencedores e/ou perdedores nesta evolução e as espécies que necessitam de capacidade adaptativa vivem em situações próximas de seus limites fisiológicos.

Newbold et al. (2015), relatam que a conversão e degradação de habitat que estão causando reduções planetária da biodiversidade são exclusivamente devido às atividades ocasionadas pelos seres humanos. Para Huete (2016), é através da compreensão das respostas da vegetação à variabilidade do clima atual é que se melhoram as previsões das futuras consequências desta variação nos ecossistemas e na biodiversidade planetária e em nossa própria segurança e bem-estar alimentar.

Para Rosenzweig et al. (2008), as alterações antropogênicas no clima estão proporcionando um impacto significativo nos sistemas físicos e biológicos de âmbito global, já Marengo (2006) expõem um alerta para os imensos impactos ambientais que estão provocando a elevação das temperaturas médias do ar, assim como o aumento da ocorrência de casos de doenças graves e, principalmente, doenças tropicais (malária, dengue e diarreia), sendo que as principais doenças que atingem os países pobres, apresentam resposta sensível às condições do clima.

A temperatura do ar afeta diretamente os estados de desenvolvimento, de reprodução e de sobrevivência de insetos herbívoros (BALE et al., 2002), obriga a migração da espécie expondo a dificuldade de reprodução em determinados insetos (MUSOLIN, 2007), influencia a fertilidade do solo e uma distribuição desigual das espécies de insetos por entre as plantas (BLANCHE, 2000) e tem em seus níveis um fator limitante com efeito direto para a distribuição de uma espécie (LINES, 1993). Os padrões de chuvas estão correlacionados a flutuação na densidade de mosquitos tropicais (GALINDO et al., 1956; PAGE, 1967; SOUTO, 1994; STANDFAST; BARROW, 1968; WOLDA; GALINDO, 1981).

De âmbito global, os continentes elevaram sua temperatura em $0,25^{\circ}\text{C}$ e os oceanos em $0,13^{\circ}\text{C}$, por década desde 1979 (IPCC, 2007a). Entretanto, em 2017, a agência espacial americana (NASA, 2017) reportou em seu site que, só no ano de 2015 registrou-se $0,99^{\circ}\text{C}$ de anomalia e que unicamente, durante o mês de fevereiro de 2016, a temperatura do planeta ficou acima dos $1,5^{\circ}\text{C}$, só no hemisfério norte a temperatura ficou em $2,0^{\circ}\text{C}$ e o Ártico sozinho, $4,0^{\circ}\text{C}$ acima da média acarretando degelo de 13,3%, por década (1980-2016), totalizando um derretimento de $281\text{Gton}\cdot\text{ano}^{-1}$ do gelo global com elevação no nível do mar em $3,4\text{mm}\cdot\text{ano}^{-1}$, isso tudo devido a concentração do CO_2 atmosférico ter ultrapassado a casa dos 400ppm.

Para Marengo, Nobre e Tomasella (2008), os anos de 2005 e 2010 foram os mais quentes deste período (1978-2010) e a década de 80 foi a que indicou os menores índices de temperaturas médias no período e em 2005 foi registrada a temperatura mais alta da região, justificada pela forte estiagem que atingiu o leste da Amazônia, pois desde 2003 já havia uma tendência das temperaturas mais altas da superfície do mar no Atlântico tropical norte.

A ação contínua de desmatamento reduz o tamanho da floresta e que por conta disto menos árvores transpiram, levando-se em conta que na transpiração as plantas transferem para

a atmosfera 90% de toda a água evaporada nos continentes e os outros 10% como simples efeito sem envolver as plantas (NOBRE, 2014). Entretanto, a mudança do clima e as alterações e/ou fragmentação dos *habitat* possuem implicações mais amplas para a estrutura e a organização de comunidades ecológicas de alguns espécimes de insetos predadores por serem altamente sensíveis às mudanças globais ambientais (LEWIS; GRIPENBERG, 2008).

As pesquisas de Pinto (2007), sobre vetores de febre amarela, e de Pittendrigh (1950) relataram que o microclima assim como a estratificação dos hospedeiros e as fontes de alimentos, são os principais determinantes da ocupação do nicho ecológico de muitas espécies de *culicídeos* em florestas tropicais e devem ter atenção especial devido ao hábito hematofágico⁶, exercido pela maioria das espécies fêmeas e por conterem a maior quantidade de espécies envolvidas na transmissão de doenças, através da inserção de agentes patogênicos (vírus) ao ser humano.

A febre do dengue é considerada a principal doença reemergente nos países tropicais e subtropicais, a malária ainda é um dos grandes problemas de saúde pública na África, ao sul do deserto do Saara, no sudeste asiático e nos países amazônicos da América do sul, assim como as leishmanioses tegumentar e visceral, que vem aumentando sua ocorrência e distribuição geográfica, além de que os fatores de ordem biológica, geográfica, ecológica, social, cultural e econômica atuam com exclusividade, na produção, distribuição e controle das doenças vetoriais (TAUIL, 2002). Para algumas, existe tratamento, prevenção e curativos bem eficazes e efetivos (vacinas), para a maioria as medidas profiláticas tem suas complexidades.

De todos os casos registrados de dengue (transmitidos por vírus do tipo 2 e 3) Puccioni-Sohler et al. (2009) constataram que de 1% a 5% dos casos, evoluíram para problemas neurológicos (como a mielite e a encefalite) que acontecem, tanto pela atuação direta do vírus sobre o sistema nervoso, ocasionando inflamações, quanto pelo desenvolvimento de doenças neurológicas por reação imune e o aparecimento dos sintomas surgem, aproximadamente, um mês após a contaminação.

Estudos relacionando temperaturas elevadas e ciclos acelerados de vida dos insetos permitem que algumas espécies relacionadas a disseminação de pragas causem danos significativos nas árvores durante a estação de crescimento da vegetação (TRUMBORE et al., 2015). A situação do clima tende a favorecer a distribuição geográfica dos agentes etiológicos⁷ e vetores⁸, proporcionando a incidência de endemias e que com planejamento em

⁶ hábito hematofágico – ato de alimentar-se de sangue

⁷ agente etiológico – é o nome dado ao agente causador de uma doença

⁸ vetores – nomenclatura dada a insetos transmissores de doenças

políticas públicas, investimento em tecnologias limpas, fortalecimento dos serviços de saúde e de vigilância epidemiológica além de capacitação dos profissionais, pode-se evitar os efeitos nocivos à saúde, gerados pelo aquecimento global (ARAÚJO, 2007), além de que a variabilidade climática, fatores socioambientais e de transmissão de vírus, possuem uma relação complexa (TONG et al., 2008).

Em se tratando de políticas ambientais, Chazdon et al. (2016) realizaram estudos que indicam que estas políticas são baseadas em definições criadas com a finalidade de avaliar as reservas florestais que envolvem o globo, sem fazer distinção entre tipos de florestas e que monitorar e restaurar florestas e paisagens requer abordagens adicionais para definir e avaliar as que revelam as qualidades e trajetórias dos fragmentos florestais em uma paisagem tempo-espaço.

Para Andrade e Romero (2009), as atividades econômicas, a coesão das sociedades e o bem-estar humano são dependentes dos serviços ecossistêmicos e que estes são considerados os benefícios diretos e indiretos obtidos pelo ser humano a partir do correto funcionamento dos ecossistemas.

1.2 Objetivos

A ideia da elaboração deste trabalho está na investigação dos fatores que determinam a possibilidade de ocorrência de doenças tropicais através do estudo do clima e do ambiente. Esta investigação se reveste de especial importância, devido à problemática que envolve a existência de invasores em áreas de florestas protegidas pela sujeição destas comunidades a mudanças nas políticas federais.

a) Objetivo Geral

Investigar as relações entre a variabilidade do clima, a elevação na densidade de mosquitos e a disseminação de endemias em região de floresta na Amazônia oriental.

b) Objetivos Específicos

1. Caracterizar o clima da região de estudo associado à variabilidade dos Oceanos Atlântico e Pacífico equatorial, a precipitação, umidade e temperatura média do ar, buscando uma visão espaço-temporal da evolução climática regional dentro de um período de 40 anos;

2. Investigar as relações entre as variáveis climáticas e a elevação da densidade de mosquitos na região de floresta na Amazônia oriental;
3. Analisar os parâmetros ambientais que concorrem para a propagação de patogenias transmitidas por vetores e se estão correlacionadas com a variabilidade do clima, com a finalidade de investigar se as mudanças climáticas estão afetando a densidade de mosquitos.

1.3 Hipótese

A combinação das variabilidades natural e antrópica do ambiente tendem a provocar alterações no clima com consequente elevação na densidade de insetos hematófagos⁹. Haja vista que, existem relatos que o aquecimento global já está permitindo que mosquitos vetores (principalmente os da dengue) sobrevivam em áreas que anteriormente eram consideradas muito frias, concorrendo para o aumento na disseminação de doenças.

1.4 Estrutura da tese

A tese está escrita em 5 capítulos, dos quais três estão escritos na forma de artigos científicos. O 1º capítulo trata-se da contextualização, os objetivos e as hipóteses da pesquisa. O 2º aborda a variabilidade do clima, sua tendência em um período superior a 30 anos para a Amazônia oriental e sua influencia na densidade de mosquitos na região de floresta, o 3º capítulo dará ênfase à associação da variação na densidade de mosquitos vetores em florestas e sua evolução em relação à variabilidade do clima na região centro-norte do estado do Pará, o 4º capítulo trata da distribuição espacial das endemias em correlação com à variabilidade do clima na região centro-norte do estado do Pará e o 5º capítulo trata das considerações finais do trabalho.

⁹ Insetos hematófagos - Insetos que se alimentam de sangue

CAPÍTULO 2 A INFLUÊNCIA DA VARIABILIDADE CLIMÁTICA NA DENSIDADE DE MOSQUITOS VETORES NO LESTE DA AMAZÔNIA

(Publicado na Revista Brasileira de Climatologia, em Junho/2020);

2.1 Introdução

O bioma Amazônia tem a maior biodiversidade e floresta tropical úmida do globo terrestre do que as florestas úmidas da África e Ásia. Este bioma apresenta 10% das espécies conhecidas no mundo, o que constitui a maior coleção de plantas vivas e espécies animais (SANTOS et al., 2011; TURNER, 2001; WWF, 2017).

A variabilidade climática na região amazônica é principalmente modulada por fenômenos oceano-atmosfera que ocorrem sobre os oceanos Pacífico e Atlântico tropical, como o El Niño Oscilação Sul (ENOS) e o gradiente inter-hemisférico do Atlântico (FIGUEROA; NOBRE 1990; FISCH et al., 1998; MARENGO, 1992). A seca de 2005 apresentou anormalidade no gradiente inter-hemisférico do Atlântico e na oscilação sul no Pacífico, que ocasionou elevação na temperatura da superfície do mar e contribuiu para favorecer a redução das chuvas na Amazônia (MARENGO; NOBRE; TOMASELLA, 2008).

O regime das chuvas na Amazônia é marcado em toda sua extensão territorial, pelo ciclo anual do movimento migratório latitudinal da zona de convergência intertropical (ZCIT) sobre o atlântico equatorial (HASTENRATH; HELLER, 1977; NOBRE; SHUKLA, 1996 e RAO; CAVALCANTI; HADA, 1996), que é o principal sistema que define a qualidade da estação úmida desta região. Os sistemas convectivos de mesoescala contribuem com 40% da precipitação, durante todo o ano (COHEN et al., 1995; MOHR; ZIPSER, 1996). Além desses sistemas, os vórtices ciclônicos de altos níveis (VCAN) e os distúrbios ondulatórios de leste (DOL) são os sistemas que atuam na época úmida da região.

Nas últimas décadas, a elevação das temperaturas globais, assim como o aumento do conteúdo do vapor d'água, que fortalece o ciclo hidrológico favorece as regiões úmidas a ficarem mais úmida e as regiões secas, mais secas, isso devido às tendências regionais e globais nos extremos de chuvas anuais nas últimas três décadas mostrarem que de âmbito global, tem ocorrido alteração na faixa anual de precipitação (CHOU et al., 2013).

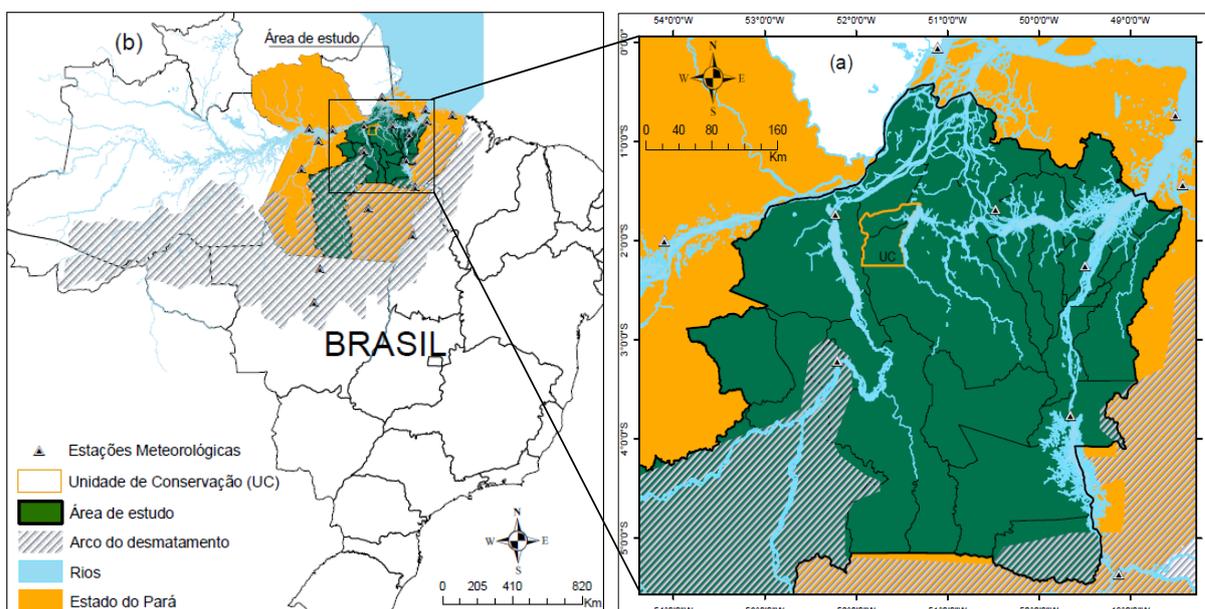
No cenário de mudança no clima, pesquisas mostram alterações no tamanho de populações de mosquitos de acordo com as estações do ano que são expressivamente controladas pelas condições climáticas e pelas disponibilidades de alimentos e recursos ambientais, pois variam no mesmo ritmo (FORATTINI, 2002). Neste sentido, a temperatura

do ar é a principal variável atmosférica responsável pela distribuição de doenças no Brasil, inclusive as negligenciadas, onde sua elevação faz com que mosquitos urbanos também sejam fortemente afetados por pequenos aumentos nesta variável para elevar o potencial da epidemia (HOPP; FOLEY, 2003; LORENZ et al., 2017; PATZ et al., 1998). Neste contexto, este trabalho visa analisar a influência das variabilidades climáticas em suas componentes natural e antrópica na elevação de densidade da população de mosquitos na região de floresta na Amazônia oriental.

2.2 Materiais e métodos

A área de estudo compreende grande parte da região centro norte do Estado do Pará, representado pelos limites do quadrado (figura 1b). Esta região possui diversidade de uso e cobertura do solo onde, também, está inserida uma Unidade de Conservação (UC), denominada Flona de Caxiuanã, áreas urbanas, estradas, vegetação e vasta hidrografia.

Figura 1- Mapa de localização da região indicando a área de estudo (a) com seus municípios, as estações meteorológicas (Δ) e a área de abrangência dentro do cenário nacional (b).



Inicialmente para a obtenção das características ambientais da superfície foram utilizados os dados do projeto TerraClass descritos nas órbitas-ponto do satélite Landsat 5 (sensor TM) e Landsat 8 (sensor OLI), disponível no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Estes dados foram usados com o intuito de obter um diagnóstico espacial qualitativo do uso e cobertura do solo para uma década, contida na série temporal dos dados

ambientais, visando identificar mudanças da superfície. Para isso, foi usado um total de 10 imagens para cada ano de 2004 e de 2014.

Para caracterização do ambiente atmosférico na escala de clima foram utilizados os dados mensais dos índices climáticos dos oceanos Pacífico que é o Índice da Oscilação Sul (IOS) e do Atlântico tropical que é o Índice do Modo Meridional do Atlântico (MMA), que representam a variabilidade dos fenômenos oceano-atmosfera do ENOS e do Dipolo do Atlântico, através das fases do IOS e do MMA para o período de 1978 a 2017. Estes dados estão disponíveis no site da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/>). Para análise desses dados foram aplicados a média móvel de 12 meses e foi considerado os eventos extremos com índices acima +2 e abaixo -2. Isto tem por finalidade identificar e caracterizar as condições climáticas a partir dos extremos das fases positiva (IOS e MMA) e negativa (MMA e IOS) dos índices que respondem pelo aumento e diminuição da precipitação na região de estudo, respectivamente.

Ainda no contexto climático foram usados os dados meteorológicos mensais, obtidos junto ao banco de dados meteorológicos (BDMET), disponível no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para a precipitação (PRP mm) ou chuva, temperatura média (Tar °C) e a umidade relativa (UR %) do ar, observadas nas 15 estações meteorológicas, durante 1987 a 2017, localizadas em geral nas áreas urbanas dos seguintes municípios: Altamira, Belém, Belterra, Breves, Cametá, Conceição do Araguaia, Itaituba, Marabá, Monte Alegre, Óbidos, Porto de Móz, São Félix do Xingú, Soure, Tracuateua e Tucuruí. Além desses, ainda foram utilizados os dados dos municípios de Gurupá, Curralinho, Limoeiro do Ajurú, S. S. B. Vista, Anapú, Bagre, Brasil Novo, Breu Branco, Igarapé Miri, Itupiranga, Medicilândia, Melgaço, Mocajuba, Mojú, Muaná, N. Repartimento, O. do Pará, Pacajá, Portel, Sen. J. Porfírio e Vitória do Xingú, todos no estado do Pará e que formam a grande área deste estudo (figura 1b).

Além da fonte do INMET foram usados os dados horários da torre micrometeorológica pertencente ao Programa LBA (*The Large Scale Biosphere-Atmosphere Program in Amazonia*) que está instalada na área da Estação Científica Ferreira Penna (ECFPn) dentro da Unidade de Conservação (UC), conhecida como FLONA de Caxiuanã, área de floresta primária. Esta torre de monitoramento atmosférico do Programa LBA tem 52 metros de altura, equipada por diversos aparelhos que medem e registram informações das componentes atmosféricas, onde foram utilizadas apenas a Tar, UR e a PRP, durante o período de 2000 a 2017.

Esses dados apresentaram algumas falhas, como a descontinuidade de medidas e de valores espúrios para o período de abril de 2014 a dezembro de 2015 e em março de 2015, com chuva acima de 1230mm. Para o preenchimento de falhas e a correção de valores na escala mensal sendo utilizadas informações das estações meteorológicas, da rede do INMET, mais próximo da torre, aplicando o método de Regressão Linear Múltipla, conforme descrito em Mello, Kohls e Oliveira (2017).

A aquisição das informações, referentes à densidade de mosquitos capturados na UC da Flona de Caxiuanã, foram obtidas a partir da cooperação entre as instituições de pesquisas, Museu Paraense Emilio Goeldi, FIOCRUZ, Instituto Evandro Chagas e Universidade Federal do Pará. A coleta e captura dos mosquitos ocorreram em cinco campanhas, com duração de 6 dias cada, durante os meses de julho, setembro e dezembro de 2005, e fevereiro e abril de 2006, totalizando 33.122 indivíduos capturados em todas as campanhas. Para a captura dos espécimes foi aplicada a metodologia do atrativo humano (AH) e armadilhas luminosas, conhecidas como CDC (*Control Disease Center*) e estão detalhadas nos estudos de Pinto (2007), Pinto, Confalonieri e Mascarenhas (2009) e Confalonieri e Costa Neto (2012).

Assim, a análise horária da densidade de mosquitos com as variáveis meteorológicas na região da UC no período de campanha visa entender a influência das mudanças climáticas, devido as variações ambientais naturais e antrópicas, combinadas com uma elevada densidade de mosquitos.

2.3 Resultado e discussão

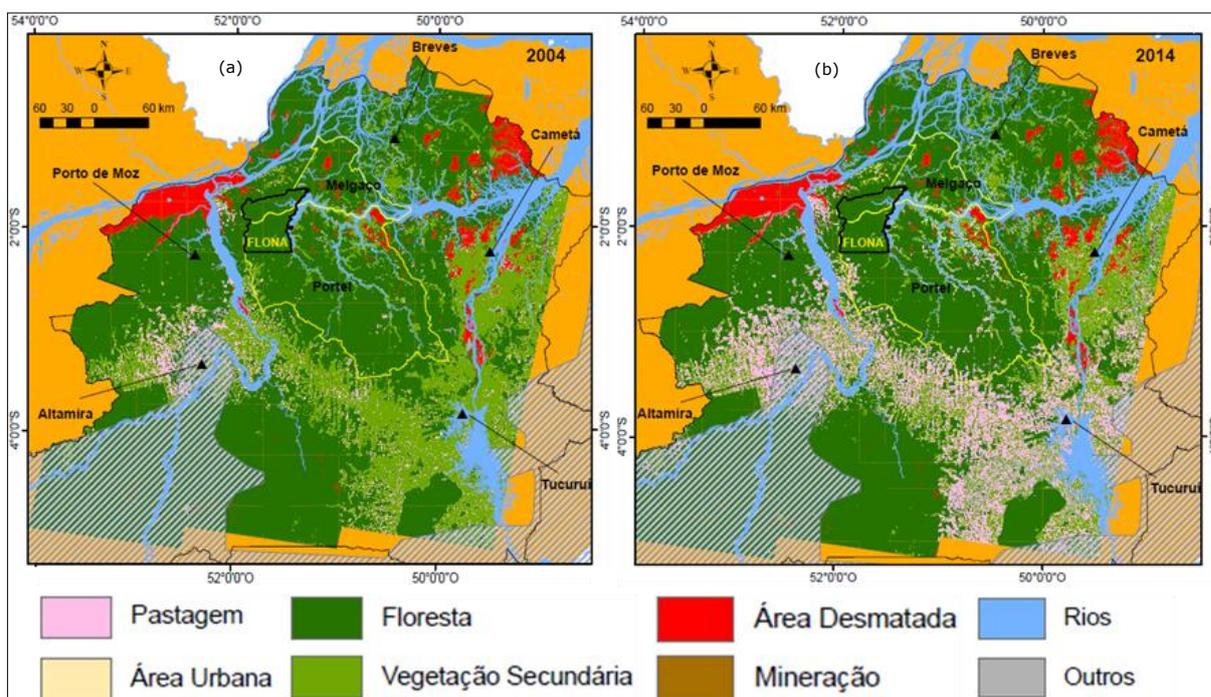
2.3.1 Análise da Mudança de Uso do Solo

Grandes mudanças no uso do solo na região de fronteira entre os municípios localizados no centro sul do mapa (figura 2), ou seja, a sul da área da UC. Esta mudança pode estar relacionada com a intensificação do desmatamento para exploração madeireira e a introdução da pecuária, com o aumento de áreas de pastagem e urbana. Ainda se observa mudanças no solo a noroeste da UC, com aumento na retirada da floresta. O desmatamento na região de estudo apresenta um cenário onde modificações no uso e cobertura da terra está se evidenciando, principalmente pelas ações humanas que adentram na floresta por todos os lados, principalmente pela parte sul da área de estudo.

Nestas análises, observa-se que o município de Portel teve uma intensificação expressiva de desmatamento na sua parte sul. O município de Altamira tem as margens de sua região metropolitana, um completo cenário de mudança do uso do solo, através do avanço de

atividades agrícolas, ações de garimpo e invasões, inserindo este município, conjuntamente com Tucuruí, dentro da área do arco do desmatamento (CARVALHO; MAGALHÃES e DOMINGUES, 2016).

Figura 2- Variação do uso e cobertura do solo na região de estudo, durante o período de a) 2004 e b) 2014.



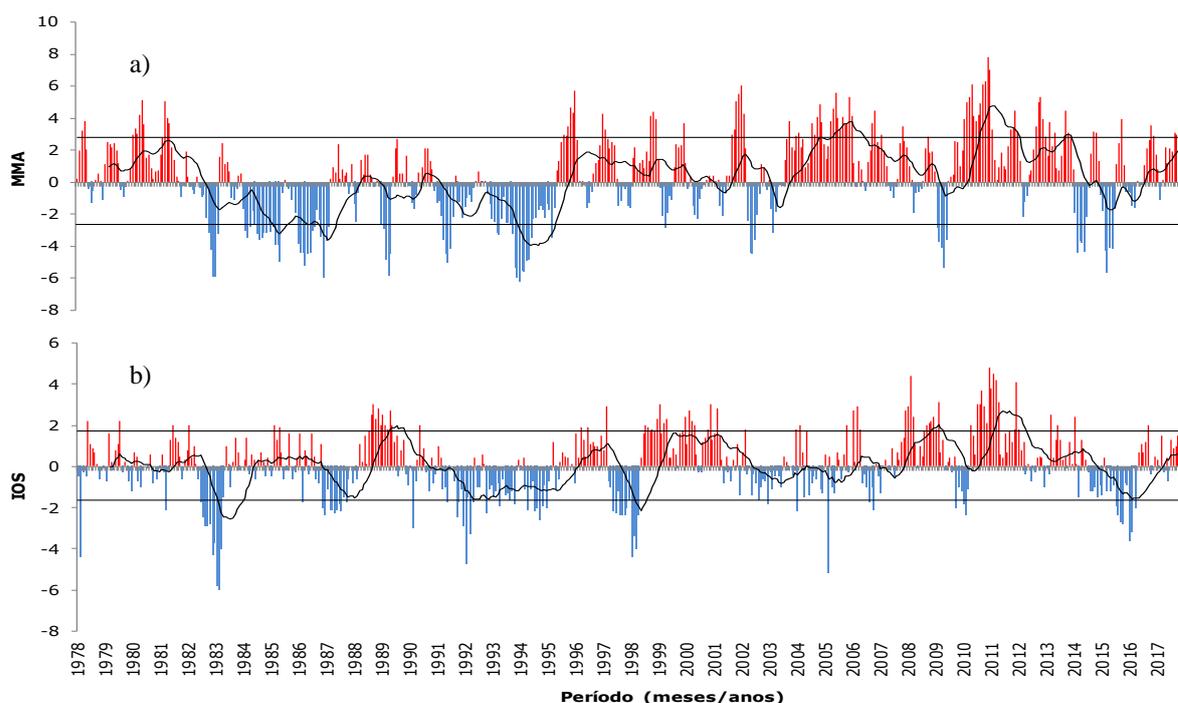
A retirada da floresta para a plantação de pastagens e lavouras faz com que estes novos cenários deixem de liberar água para a atmosfera, por absorver menos energia do que a vegetação original (florestas primárias), contribuindo significativamente para a redução das chuvas nesta área e acarretando elevação na temperatura do ar (NEPSTAD; MOREIRA; ALENCAR, 1999).

2.3.2 Análise Climática Tempo-Espaço

Inicialmente, visto de modo geral através da média móvel (figura 3) uma tendência de um padrão dos índices climáticos MMA e IOS, com variabilidades multidecadal e interanual mais negativo nas duas primeiras, e mais positivo nas duas últimas décadas. No período de 1978 a 1997 o IOS negativo (El Niño) apresenta os maiores índices observados, com relação toda a série. Por outro lado, o MMA negativo provoca o deslocamento da ZCIT mais ao sul do equador, causando mais chuvas na área de estudo.

O somatório dessas duas forçantes moduladoras do clima pode levar a consequência de uma resultante de anomalias negativas de chuvas na região, pois o IOS parece indicar mais energia do que o MMA. No período de 1988 a 2017, se percebe que a maior frequência positiva dos índices MMA e IOS. No entanto, com o MMA desfavorável, o IOS positivo é muito frequente favorável a La Niña, portanto contribuindo para o aumento de chuvas. Isto porque o sinal do IOS do pacífico é mais duradouro do que as variações do atlântico, desse modo ele influencia por mais tempo as circulações atmosférica.

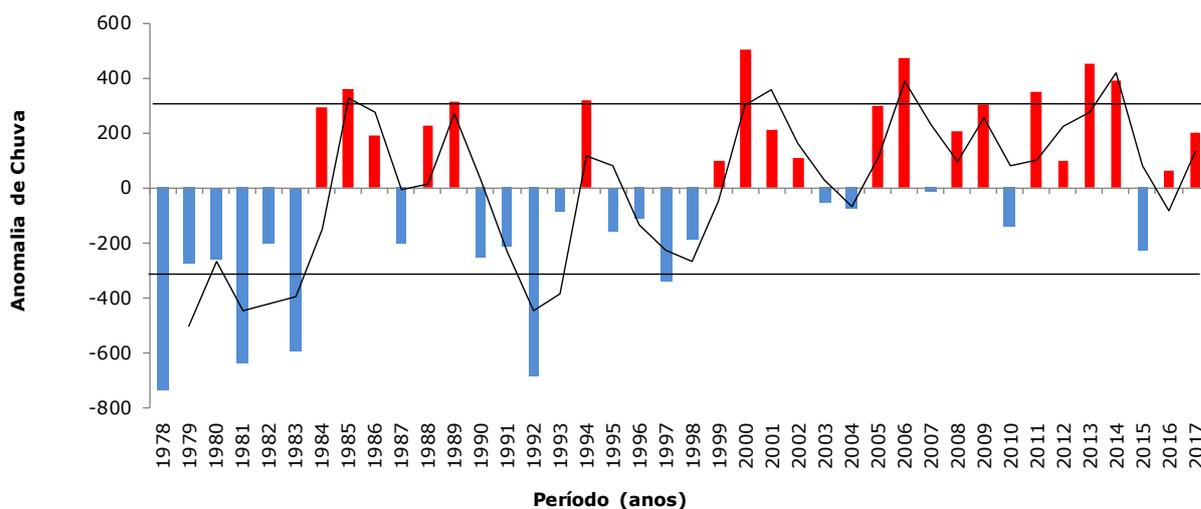
Figura 3- Distribuição mensal dos índices climáticos MMA (a) e IOS (b), durante o período de 1978 a 2017. As linhas pretas curvas representam a média móvel de 12 meses, as horizontais indicam os limiares dos extremos climáticos e as verticais a divisão decadal.



A relação entre as bacias do Pacífico e Atlântico equatorial, apresentam maior significância, quando o El Niño (IOS -/+) se associa ao atlântico (MMA -/+) promovendo a diminuição/aumento das chuvas no leste da Amazônia. Assim, este estudo apresenta concordância com os autores, nos períodos de duas décadas para a variação dos índices IOS e MMA (GONZALEZ et al., 2013).

Através das anomalias de precipitação anual (figura 4) os efeitos causados pelos fenômenos climáticos representados pelo IOS e pelo MMA onde o índice do pacífico, o IOS, parece governar a variabilidade das chuvas anuais na região de estudo. Pode ser notado que a precipitação indica uma tendência ao aumento de chuvas com dois períodos bem definido de 20 anos pelas anomalias negativas de chuvas de 1987 a 1997 e positivas 1998 a 2017.

Figura 4- Anomalia anual de chuva para a média da área de estudo, durante 1978 a 2017. As linhas pretas curva de chuva é a média móvel anual, as horizontais são as faixas do limiar das anomalias para extremos de chuvas (cores vermelhas chuvas acima da média e azul abaixo da média climática) e as verticais a divisão decadal.



A variabilidade interanual dos índices climáticos combinados com as anomalias de chuvas sugere dois períodos de 20 anos bem definidos, uma com dominância de extremos secos (1978-1997) e a outra de extremos úmidos (1997-2017). Os extremos climáticos proporcionam impactos significativos nas variáveis atmosféricas, tanto sobre as cidades quanto sobre as florestas, promovendo alteração nos níveis de temperatura do ar, umidade relativa e precipitação (chuva).

É importante comentar as características climáticas das duas maiores secas observadas na Amazônia nas últimas décadas, a de 2005 e a de 2010. Nestas secas 2005/2010, os indicadores climáticos se mostram positivo para o MMA e negativo para o IOS com magnitudes diferentes, e com anomalias positiva/negativa de chuvas, respectivamente. Na seca de 2005, o El Niño não interferiu nas chuvas, porém apesar do atlântico está desfavorável, observaram-se chuvas acima do normal. No entanto, na seca de 2010 o El Niño combinado com a fase desfavorável do Atlântico intensificou os efeitos da redução das chuvas na região (Figuras 3 e 4). Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Marengo, Nobre e Tomasella (2008) e Marengo et al. (2011).

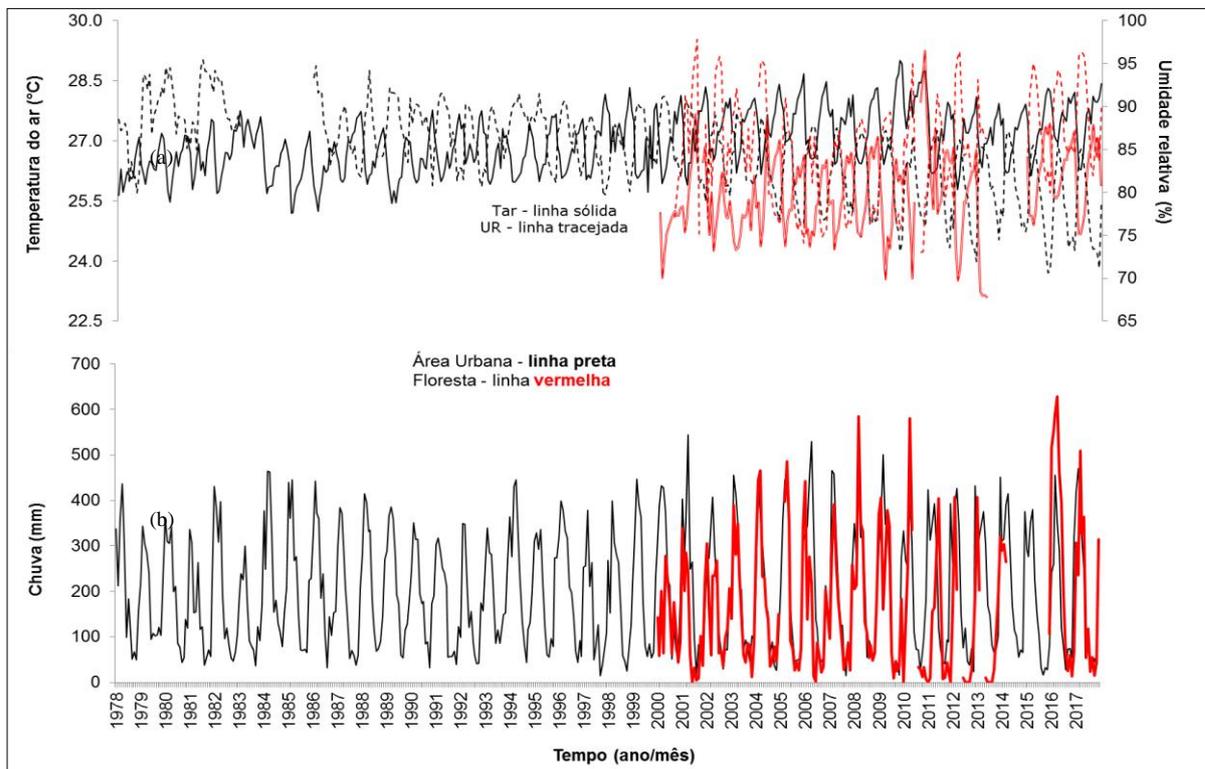
As variabilidades multidecadais da chuva (tabela 1), uma no período de 1978 a 1997 com 6 eventos de extremos climáticos secos e 5 úmidos em 1997 a 2014 na área de estudo. Para todos os extremos secos o IOS representa 83% e o MMA 27%, e para os úmidos, 80% de IOS e para 20% do MMA. Dessa maneira, pode ser notado que o IOS apresenta maior atuação nos extremos climáticos para a região.

Tabela 1- Relação dos extremos climáticos a partir das anomalias de chuva, associado ao valor médio anual dos índices IOS e MMA, durante 1978 a 2017.

	aChuva	MMA	IOS	Indicador
1978	-735.09	0.72	-0.12	MMA/IOS
1981	-640.79	1.84	0.41	MMA
1983	-593.97	-0.30	-1.26	IOS
1985	362.25	-1.91	0.48	MMA/IOS
1992	-685.94	-0.50	-1.37	IOS
1997	-342.56	1.08	-1.21	IOS
2000	504.47	-0.45	1.39	MMA/IOS
2006	474.45	1.73	0.02	IOS
2011	348.73	2.48	2.31	IOS
2013	449.45	2.51	0.75	IOS
2014	389.89	-0.86	-0.22	MMA

A variabilidade mensal das variáveis meteorológicas nas áreas urbana e de floresta (figura 5) que evidencia que os ambientes respondem de modo diferente na floresta com relação a urbana. A chuva e a umidade do ar em um ambiente de floresta, apresenta elevações expressivas, em relação as áreas urbanas, apenas a temperatura do ar apresenta decréscimo. Isto sugere que as temperaturas do ar mais acentuadas na área urbana estão relacionadas com a resposta do balanço de radiação e energia em superfície sem cobertura vegetal.

Figura 5- Distribuição mensal da chuva (b), da temperatura média e da umidade relativa do ar (a) para as áreas urbanas (linha preta) e de floresta (linha vermelha), durante os períodos de 1978 a 2017 e 2000 a 2017, respectivamente.

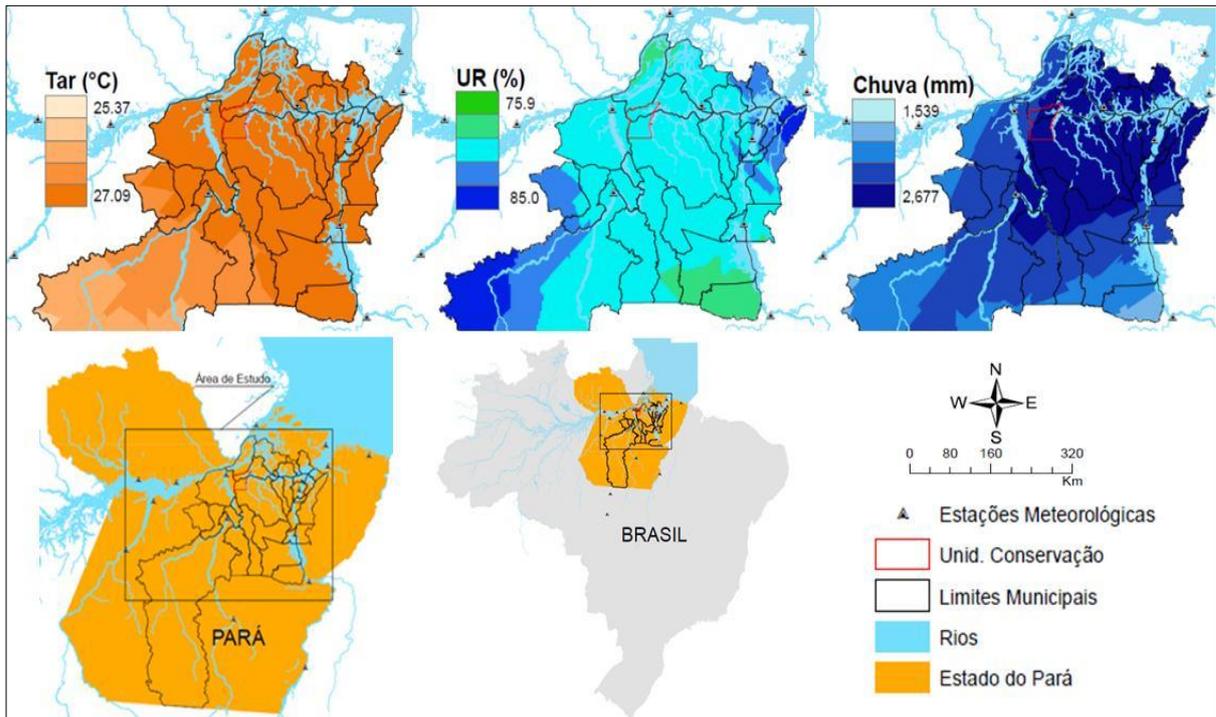


Vale ressaltar que o clima da região de estudo no período das campanhas de coleta dos dados biológicos (2005 e 2006) apresentam chuvas acima da normalidade na área urbana (figura 4), ou seja, no entorno da UC. Mas, quando se compara as chuvas nas áreas de floresta e urbana estas são similares, exceto em 2006 que a área urbana apresenta maior quantitativo. No entanto, as temperaturas foram mais elevadas, com menores índices de umidade do ar para área urbana, com o inverso para a floresta (figura 5). O estudo de Nepstad, Moreira e Alencar (1999) observa que as variáveis atmosféricas para regiões tanto de floresta quanto urbana respondem de modo similar ao presente estudo.

O padrão médio climatológico (figura 6), com os maiores valores de chuva e de temperatura do ar a nordeste e redução a sudoeste da região, onde se localizam os maiores corpos hídricos, juntamente com a proximidade do oceano. A umidade relativa apresenta pequena expressão, apenas com máximos (mínimos) valores nos extremos, nordeste e sudoeste (sudeste), onde se concentram as maiores (menores) fontes de umidade (arco desmatamento), a oceânica e a floresta, respectivamente.

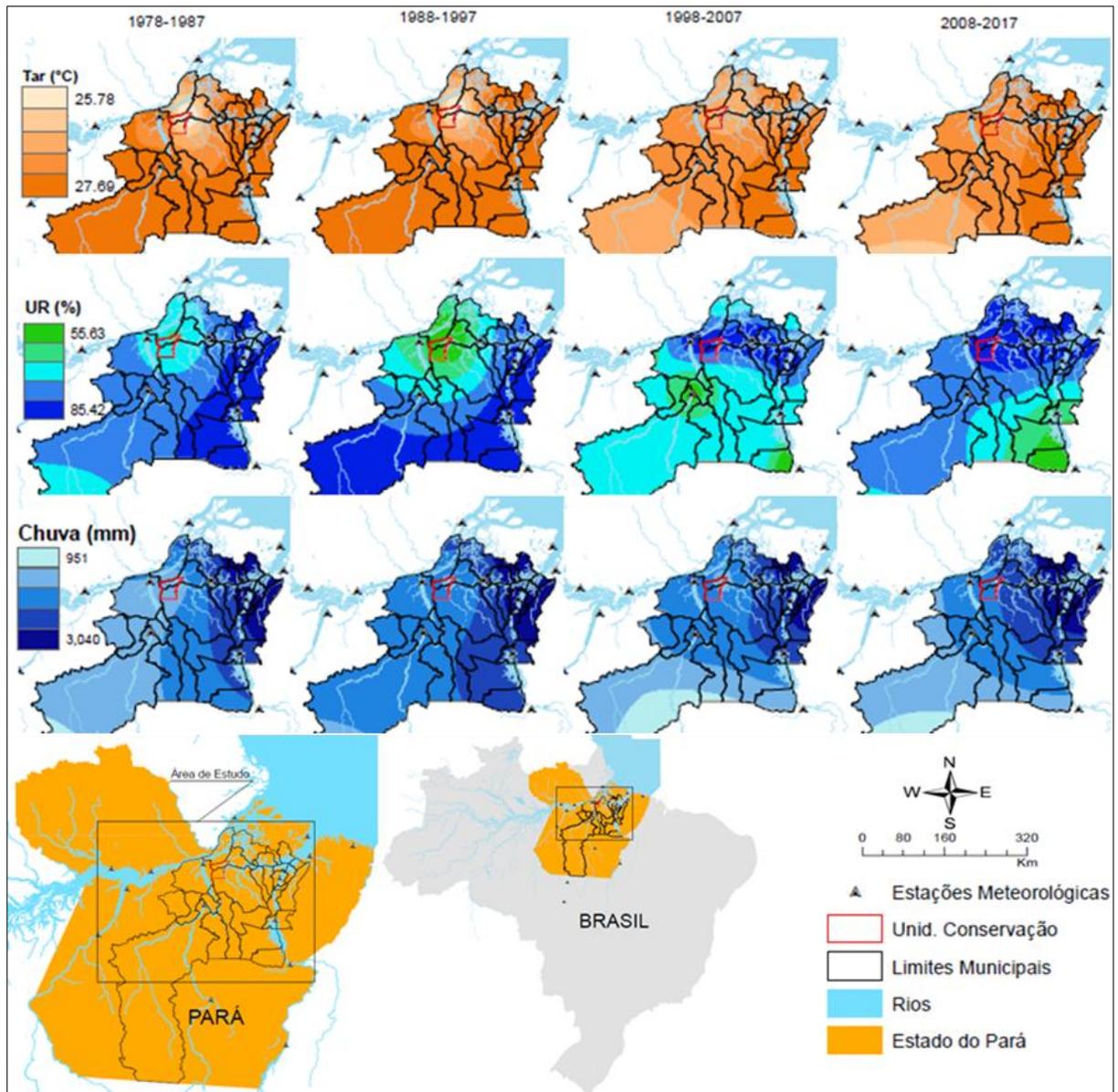
Ainda pode ser visto que a área da UC e em seu entorno (figura 6) sugere uma preservação natural, devido a própria dinâmica da floresta e a proximidade de transporte de vapor dos corpos hídricos a nordeste. Segundo Nobre (2014) a floresta produz a sua própria chuva que permite o equilíbrio dos níveis de temperatura, conforme a conservação de sua estrutura vegetal.

Figura 6- Climatologia espacial da temperatura do ar, da umidade relativa do ar e da chuva para a região de estudo, com efeito na unidade de conservação (UC), durante o período de 1978 a 2017.



A análise decadal da temperatura e da umidade relativa do ar indicam os maiores valores no geral, exceto para a região da UC, durante as, primeira e segunda, décadas de 1978 a 1987 e 1988 a 1997. Para as duas últimas décadas, se observa que o setor centro norte revelam os maiores valores e com leve diminuição a sudoeste e sudeste da região. Os maiores acumulados de chuvas se localizam nas áreas de fontes hídricas, a nordeste da região. No entanto, nota-se que nas duas primeiras décadas as chuvas são melhores distribuídas, indicando alterações no setor centro sul da região, a partir das duas últimas décadas (figura 7).

Figura 7- Variabilidade espacial por década (1978-1987; 1988-1997; 1998-2007; 2008-2017) para a temperatura do ar (Tar), a umidade relativa do ar (UR) e a chuva para a região de estudo, com efeito na unidade de conservação (UC).



Torna interessante combinar os mapas da mudança e uso do solo (figura 2), com as fases multidecadais dos indicadores climáticos (figura 3) e as variáveis meteorológicas em escala decadal (figura 7) para uma visão acoplada dos efeitos naturais e antrópicos. Dessa forma, percebe-se o efeito antrópico da mudança do solo (Figura 2b) no centro sul, a partir da redução da umidade e do aumento da temperatura, durante a última década de 2008 a 2017, quando foi observada a mudança na cobertura vegetal. Além disso, fica notório a influência da variabilidade climática natural, durante a segunda década e nas duas últimas, mas, com interferência antrópica.

2.3.3 Densidade dos Mosquitos e o Clima

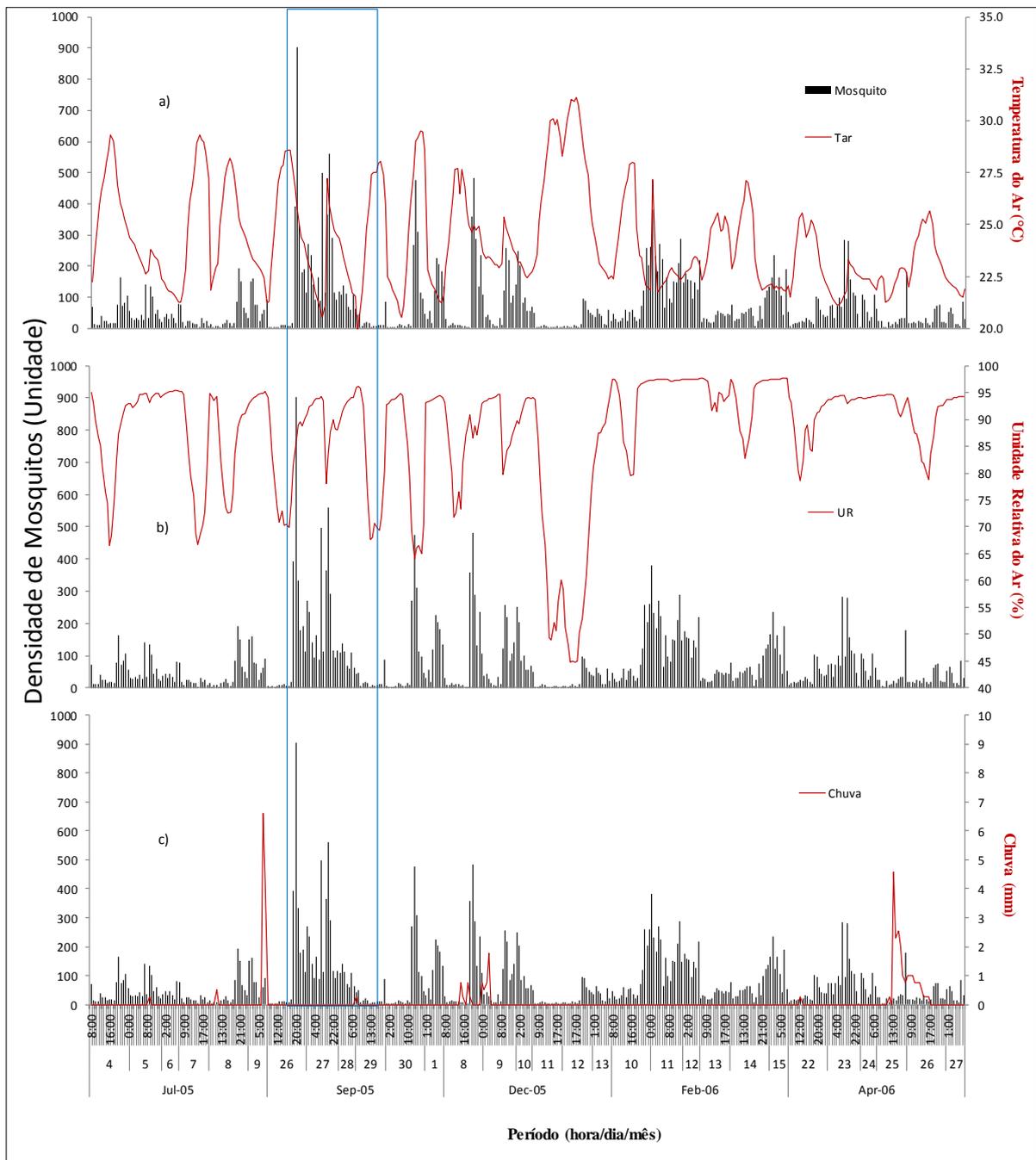
A distribuição geral dos mosquitos (Tabela 2), conforme o gênero e a quantidade dos espécimes capturados demonstra o quanto a densidade de cada gênero (mosquito) se comporta em relação ao período do ano. Pode ser observado que os espécimes dos gêneros *Culex* (transmissores da mielite, encefalite e zika), *Haemagogus* e *Sabethes* (transmissores da febre amarela), *Coquillettidia*, *Ochlerotatus*, *Limatus*, *Wyeomyia*, *Phoniomyia* (transmissores de arboviroses), *Anopheles* (transmissores da malária) e *Lutzomyia* (transmissores da Leishmaniose) foram capturados em todas as cinco campanhas, os demais foram ausentes em, no mínimo, uma campanha. Além disso, se observa que o mês de setembro de 2005 apresenta a maior densidade de mosquito, seguido por fevereiro de 2006.

Tabela 2- Quantidade total de espécimes capturados classificados por gênero, período do ano e totalidade.

Gênero	Período					Total
	Jul-05	Set-05	Dez-05	Fev-06	Abr-06	
<i>Culex</i>	3592	10346	3886	6799	3674	28297
<i>Lutzomyia</i>	186	525	239	219	180	1349
<i>Coquillettidia</i>	340	339	10	519	12	1220
<i>Haemagogus</i>	168	61	23	631	115	998
<i>Sabethes</i>	129	41	51	151	125	497
<i>Wyeomyia</i>	54	29	87	104	71	345
<i>Ochlerotatus</i>	47	8	2	56	99	212
<i>Limatus</i>	9	12	9	45	26	101
<i>Anopheles</i>	16	1	1	15	6	39
<i>Uranotaenia</i>	6	15	2		1	24
<i>Phoniomyia</i>	3	2	2	6	1	14
<i>Mansonia</i>	7	5	2			14
<i>Psorophora</i>				1	2	3
<i>Chagasia</i>	2			1		3
<i>Orthopodomyia</i>		2	1			3
<i>Thricoproson</i>		1			2	3
Total	4559	11387	4315	8547	4314	33122

As condições de tempo e clima no período de campanha sugere causar influência na quantidade de mosquitos (figura 8). A maior densidade de mosquitos parece oscilar conforme a variação da temperatura do ar, apresentando elevação em sua densidade, logo após um aumento significativo, seguido de redução na temperatura do ar (figura 8a). A variação da umidade relativa do ar (figura 8b) é inversa da temperatura, embora não houve registro de eventos de chuva (figura 8c), sugere que este seja uma das causas da elevação expressiva no número de indivíduos capturados nesta campanha.

Figura 8- Distribuição horária da densidade de mosquitos (preto) e das variáveis meteorológicas (linha vermelha) da temperatura do ar (a), umidade relativa do ar (b) e da Chuva (c) na região da Unidade de Conservação (UC), com destaque no período de maior quantidade de espécimes (quadrícula azul), durante as campanhas de 2005 e 2006.



A oscilação da densidade dos mosquitos pode estar sendo fortemente influenciada pelos níveis de temperatura do ar e de chuva. Os mosquitos que possuem gigantescas modificações em sua densidade (mosquitos explosivos) se desenvolvem em coleções líquidas de caráter transitório ou temporário. A espécie *Culex portesi* se desenvolvem em habitat terrestres de caráter permanente ou semipermanente, o que exclui esta espécie do contexto explosivo

(FORATTINI, 2002), fortalecendo a ideia de que esta espécie respondeu significativamente à variabilidade climática do ambiente.

A elevação no quantitativo de indivíduos capturados nos dá a ideia de que a espécie que mais se destacou (*O Culex portesi*) apresentou expressiva reação evolutiva a variabilidade do clima no ambiente talvez devido à presença de evento extremo do clima e que se manifestou na região tropical do oceano atlântico, mostrando a reação da biodiversidade (elevação no número de espécimes) as condicionantes atmosféricas sugerindo que o comportamento da vegetação e dos insetos demonstra serem os principais indicadores de oscilação na variabilidade climática da região.

2.4 Conclusão

A abordagem deste estudo contempla a influência dos efeitos das mudanças climáticas na elevação de densidade da população de mosquitos na região de floresta na Amazônia oriental. Para isso foram obtidas as seguintes conclusões:

- As mudanças no uso e cobertura do solo indicam alterações nas variáveis climáticas, principalmente na década de 2008 a 2017;
- A variabilidade climática da precipitação sofre influência combinadas do indicador do Oceano Pacífico (o IOS) e do Atlântico tropical (o MMA), indicando dois períodos multidecadais, com redução e aumento de precipitação anual;
- As mudanças climáticas foram observadas com alteração da direção do gradiente espacial de precipitação e umidade relativa, devido aos efeitos da área desmatada;
- A elevação na densidade de mosquitos coletados na Flona de Caxiuanã pode estar relacionada com as variações atmosféricas locais na escala de tempo do que com a escala de clima.

As contribuições deste estudo são de grande importância para o entendimento dos efeitos das mudanças climáticas e a sua influência na biodiversidade, no monitoramento ambiental e no planejamento de políticas públicas.

REFERÊNCIAS

CARVALHO, T., MAGALHAES, A. S.; DOMINGUES, E. D. Desmatamento e a contribuição econômica da floresta na Amazônia. *Estud. Econ.* São Paulo, v.46, n.2, p. 499-531, abr-jun, 2016.

COHEN, J. C. P.; DIAS, M. A. F. S.; NOBRE, C. A. Environmental Conditions Associated with Amazonian Squall Lines: a case study. *Monthly Weather Review, JCR*, v. 123, p. 3163-3174, 1995.

CONFALONIERI, U. E. C.; COSTA NETO, C. Diversity of mosquito vectors (Diptera: Culicidae) in Caxiuanã, Pará, Brazil. *Interdisciplinary Perspectives on Infectious Diseases*, v. 2012, ID 741273, 8 p. 2012. Doi:10.1155/2012/741273.

CHOU, C.; CHIANG, J. C. H.; LAN, C.; CHUNG, C.; LIAO, Y.; LEE, C. Increase in the range between wet and dry season precipitation. *Nature Geoscience*, v. 6, 2013. Doi:10.1038/NNGEO1744.

FIGUEROA, S. N.; NOBRE, C. A. Precipitations distribution over central and western tropical South America. *Climanálise – Boletim de Monitoramento e Análise Climática*, v.5, n.6, p. 36-45, 1990.

FISH, G. *et al.* Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. *Acta Amazonica*, v. 28, n.2, p. p.101-126, 1998.

FORATTINI, O. P. *Culicidologia médica: identificação, biologia, epidemiologia*. São Paulo: Edusp, 2002. v.2, 860p.

GONZALEZ, R. A.; ANDREOLI, R. V.; CANDIDO, L. A.; KAYANO, M. T.; SOUZA, R. A. F. A influência do evento El Niño – Oscilação Sul e Atlântico Equatorial na precipitação sobre as regiões norte e nordeste da América do Sul. *Acta Amazônica*, v. 43, n.4, p. 469 – 480, 2013.

HASTENRATH, S.; HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v. 103, n. 435, p.77-92, Jan. 1977.

HOPP, M. J.; FOLEY, J. A. Worldwide fluctuations in dengue fever cases related to climate variability. *Clim Res.*, v.25, n.1, p.85–94, 2003.

LORENZ, C.; AZEVEDO, T. S.; VIRGINIO, F.; AGUIAR, B. S.; CHIARAVALLOTI-NETO, F.; SUESDEK, L. Impact of environmental factors on neglected emerging arboviral diseases. *PLoS, Neglected Tropical Disease*, v. 11, n. 9, e0005959 2017. doi.org/10.1371/journal.pntd.0005959.

MARENGO, J. Interannual variability of surface climate in the Amazon basin. *International Journal of Climatology*, v.12, n.8, p. 853-863, 1992.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; TOMASELLA, J. The Drought of Amazonia in 2005. *American Meteorological Society*, v. 21, p. 495-516, 2008. Doi: 10.1175/2007JCLI1600.1.

MARENGO J. A.; TOMSASELLA, J.; ALVES, L. M.; SOARES, W.; RODRIGUEZ, D. A. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. *Geophysical Research Letters. JCR*, v. 38, p. 1-5, 2011.

MELLO, Y. R.; KOHLS, W.; OLIVEIRA, T. M. N. Uso de diferentes métodos para o preenchimento de falhas em estações pluviométricas. *Boletim de Geografia, Maringá*, v. 35, n. 1, p. 112-121, 2017.

MOHR, K. I.; ZIPSER, E. J. Mesoscale convective systems defined by their 85-GHz ice scattering signature: size and intensity comparison over tropical oceans and continents. *Monthly Weather Review*, v. 124, p. 2416-2437, 1996. Doi: 10.1175/1520-0493(1996)124<2417:MCSDBT>2.0.CO;-2.

NEPSTAD, D. C.; MOREIRA, A. G.; ALENCAR, A. A. *A floresta em chamas: origens, impactos e prevenção do fogo na Amazônia*. Programa piloto para a proteção das florestas tropicais do Brasil. Brasília, DF, 1999. 202.p. ISBN: 85-87827-07-3.

NOBRE, P.; SHUKLA, J. Variations of sea surface temperature, wind stress and rainfall over the tropical Atlantic and South America. *Journal of Climate*, v. 9, p.2464-2479, 1996. Doi: 10.1175/1520-0442(1996)009<2464:VOSSTW>2.0.CO;2.

PATZ, J. A.; MARTENS, W.J.M.; FOCKS, D. A.; JETTEN, T. H. Dengue fever epidemic potential as projected by general circulation models of global climate change. *Environ Health Perspect*, v. 106, n.3, p.147–53, 1998.

PINTO, C. S. *Ecologia de culicídeos vetores de febre amarela silvestre em relação ao microclima na floresta nacional de Caxiuanã-Melgaço-PA*. 2007. 85f. Dissertação (Mestrado em Zoologia) - MPEG, Belém-PA, 2007.

PINTO, C. S.; CONFALONIERI, U. E. C.; MASCARENHAS, B. M. “Ecology of *Haemagogus* sp. and *Sabethes* sp. (Diptera: Culicidae) in relation to the microclimates of the Caxiuanã National Forest, Pará, Brazil,” *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz*, v. 104, n. 4, p. 592–598, 2009.

RAO, V. B.; CAVALCANTI, I. F. A.; HADA, K. Annual variation of rainfall over Brazil and water vapor characteristics over South America. *Journal of Geophysical Research*, v. 101, n. D21, p. 26539-26551, 1996.

SANTOS, S. R. Q.; SILVA, R. B. C.; BARRETO, P. N.; NUNES, H. G. G. C.; RODRIGUES, R. S.; CAMPOS, T. L. O. B. Regime térmico e hídrico do solo para área de floresta tropical em anos de El Niño e La Niña, Caxiuanã-PA: estudo de caso. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.26, n.3, 367 – 374, 2011.

TURNER, I. M. *The ecology of trees in the tropical rain forest*. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.

WWF. *Amazon Rainforest, Amazon Plants, Amazon River Animals*. Consultado em 10 de outubro de 2017.

CAPÍTULO 3 AS MÚLTIPLAS ESCALAS DO CLIMA E DO TEMPO NA DENSIDADE DE MOSQUITOS NA AMAZÔNIA ORIENTAL.

3.1 Introdução

Estudos científicos socioambientais têm buscado o entendimento da relação entre a saúde humana e as condições atmosféricas de longo prazo e as de curto prazo que representam as dimensões das escalas do clima e do tempo meteorológico sobre determinado ambiente. Para Forattini (2004), o clima tem grande potencial de influência sobre a ocorrência de surtos epidêmicos, pois afeta o ciclo de vida do patógeno, bem como sua capacidade migratória e a sazonalidade de migração.

Na Amazônia, o processo de crescimento populacional e a derrubada da floresta, seguida das queimadas representam as duas maiores questões socioambientais da atualidade, e quando isto está combinado com as condições de extremos climáticos, pode agravar a saúde humana local, principalmente em áreas com infraestrutura hospitalar inadequada, como é o caso das cidades no interior do estado do Pará. Assim, a variabilidade do clima representado pelas variáveis da temperatura média do ar e da precipitação são as mais relevantes quando associadas a cobertura da superfície terrestre. Estas por sua vez podem influenciar a distribuição do vetor e do hospedeiro, que são necessários para a manutenção do vírus, afetando a dinâmica de transmissão de doenças disseminadas por vetores (GLUBER, 2001).

Segundo Bonita, Beaglehole e Kjellström (2010), grande parte das doenças são causadas ou influenciadas por fatores ambientais, dentre eles as condições climáticas que vêm ganhando espaço em estudos epidemiológicos. Mas, quando se leva em conta as interações entre as dimensões físicas do clima, do desmatamento e da saúde humana, fica evidente que ainda são escassos os estudos voltados para essa questão na Amazônia.

As mudanças climáticas influenciam de várias maneiras o ambiente, logo as previsões dessas alterações no clima sobre as doenças de veiculação vetorial levam em conta a distribuição da doença, o raio de ação dos artrópodes e os mamíferos envolvidos, a temperatura do ambiente e suas interações adaptativas (parasita x hospedeiro). Estudos realizado por Patz et al. (2008), indicam que além das mudanças no clima, a mudança no uso do solo também, tendem a afetar múltiplas doenças infecciosas nos seres humanos.

De acordo com Fei et al. (2017) as mudanças climáticas podem ter profundos impactos na biodiversidade e na sustentabilidade de muitos ecossistemas afetando a dinâmica de muitas espécies, através da interação entre temperatura do ar e a densidade da população

(GAMELON et al., 2017), podendo influenciar na elevação do tamanho da população (GE et al., 2018) e na determinação do sexo da espécie (GEORGES; HOLLELEY, 2018).

Neste sentido, este estudo visa investigar as contribuições do clima na elevação da densidade de mosquitos na FLONA de Caxiuanã, durante as campanhas de 2005 e 2006. Desta forma, espera-se compreender as relações e interações entre o ambiente e as condições climáticas, podendo assim colaborar com as intervenções e planejamentos das políticas públicas, diante dos prognósticos das mudanças climáticas para a Amazônia, mitigando os efeitos na saúde humana.

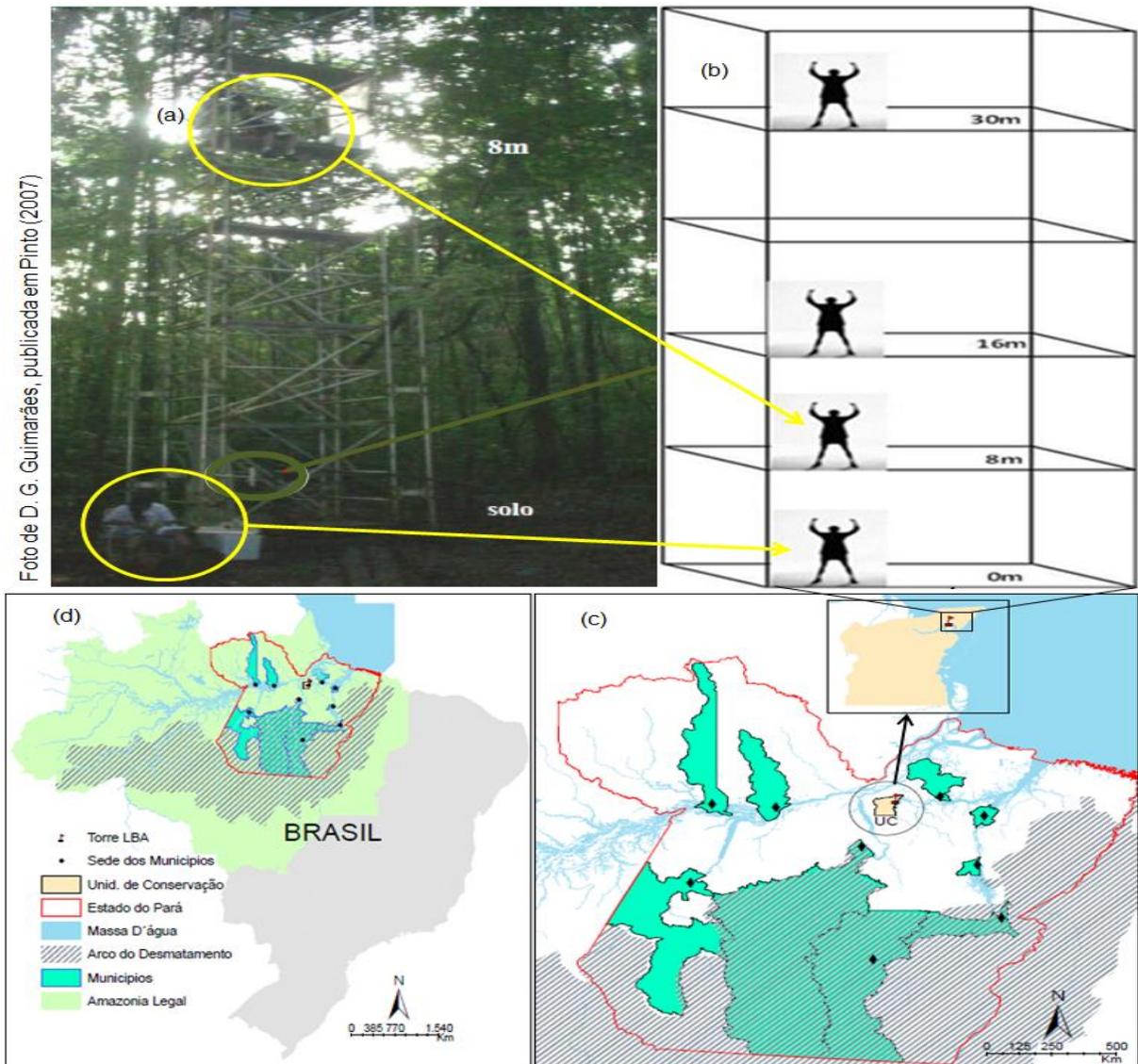
3.2 Materiais e métodos

Foram utilizados dois grandes conjuntos de dados: um climático e meteorológico, composto por indicadores e variáveis climáticas, e um outro sobre a população dos mosquitos. Os dados climáticos usados foram os índices climáticos mensais do Modo Meridional do Atlântico (MMA) e o Índice de Oscilação Sul (IOS) para o período de janeiro de 2004 a dezembro de 2006. Esses dados estão disponíveis no site da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/>). Além dessas, foram usadas as variáveis meteorológicas mensais da Temperatura média do ar (Tar), Umidade relativa do ar (UR) e Chuva, obtidos do banco de dados meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (BDMet/INMET) em escalas horárias dos municípios adjacentes e dados da torre micrometeorológica, durante o período de 2000 a 2017.

A área de estudo compreende a Unidade de Conservação (UC) Estação Científica Ferreira Pena na Floresta Nacional (FLONA) de Caxiuanã, município de Melgaço-PA, onde foram coletados os dados climáticos e de captura dos mosquitos.

A Figura abaixo mostra a torre micrometeorológica (figura 1a) pertencente ao Programa LBA (*The Large Scale Biosphere-Atmosphere Program in Amazonia*) e está instalada na área da Estação Científica Ferreira Penna (ECFPn) dentro da Unidade de Conservação (UC), conhecida como FLONA de Caxiuanã que é uma área de floresta primária e sua localização regional (figura 1c) e nacional (figura 1d). Esta torre de monitoramento atmosférico do Programa LBA (figura 1a) tem 52 metros de altura, equipada por diversos aparelhos que medem e registram informações das variáveis atmosféricas.

Figura 1- A torre micrometeorológica do LBA (1a), uma esquematização (1b) de como foram distribuídos os atrativos humanos no ponto de realização das campanhas de coleta de mosquitos dentro da unidade de conservação (1c) e sua localização no cenário nacional (1d).



Fonte: O Croqui e os mapas da região de estudo foram gerados pelo autor e a foto da torre é de autoria de D. G. Guimarães, publicado em Pinto (2007).

Para a coleta de mosquitos foi aplicada a metodologia relatada por Pinto (2007); Pinto Confalonieri e Mascarenhas (2009) e Confalonieri e Costa Neto (2012), onde foi exposto que, a cada coleta (no intervalo de hora em hora) foram realizados três períodos (dias) de capturas, durante a manhã e três durante a noite, totalizando um intervalo de 6 dias consecutivos em cada uma das 5 campanhas mensais (julho, setembro e dezembro de 2005; fevereiro e abril de 2006). As coletas diárias tinham 12 horas de duração, sendo nos níveis do solo (0m) e na torre micrometeorológica, nas alturas de 8m, 16m e 30m.

Com coletas diárias iniciando as 06h00min e finalizando as 18h00min, durante o dia e das 18h00min até às 06h00min, durante a noite Confalonieri e Costa Neto (2012). Foram

utilizados para a captura, armadilhas luminosas, conhecidas como CDC (*Control Disease Center*), durante a noite e o atrativo humano (AH) tanto de dia quanto em algumas noites, com a utilização de rede entomológica para coleta do espécime que posteriormente foram transportados para outros recipientes, através da utilização de aspiradores de sucção oral. A metodologia para identificação dos espécimes foi realizada com a utilização das chaves de Consoli e Lourenço-de-Oliveira (1994) e Forattini (2002).

Foram analisadas mensalmente as variáveis climáticas para a FLONA de Caxiuanã, chamada de floresta e dos municípios ao entorno, chamada de área urbana, a fim de observar as tendências estatísticas e a variabilidade do clima nesta escala, visando detectar a influência do ambiente urbano para o ambiente natural. A obtenção dos autovetores e autovalores, nas correlações entre as variabilidades do clima e a densidade de mosquitos, foram obtidos utilizando o software *SPSS* normalizado que é um programa de análise de dados complexos com visualização dos resultados de forma simples.

Para estabelecer as correlações entre as variáveis climáticas e a densidade de mosquitos (DENS) foi aplicado o método da análise de componentes principais (ACP), técnica estatística multivariada muito utilizada em pesquisas com diferentes variáveis físicas. Para o cálculo das componentes principais, é necessário calcular a matriz de covariância/correlação para encontrar os autovalores (padrões temporais) e autovetores (padrões espaciais) e, por fim, escrever as combinações lineares, que serão chamadas de componentes principais (CP) (WILKS, 1995). Cada componente principal é uma combinação linear de todas as variáveis originais, independentes entre si, com o propósito de reter o máximo de informações contidas nos dados originais (JOLLIFFE, 2002; MOURA, 2014; RODRIGUEZ et al., 2019).

A matriz de dados multivariados foi elaborada pela série temporal de 369 tempos na escala de horas vezes o número de quatro variáveis: a densidade de mosquitos, a chuva, a temperatura média e a umidade relativa do ar para cada hora. Esta análise compreende apenas a dimensão temporal, modo T, representada pelos coeficientes dos autovalores para maior de 70% da variância explicada pelo conjunto total de dados originais. Para análise dos resultados foram contabilizados o valor médio da sazonalidade das relações entre o clima e os mosquitos, durante 2005 a 2006, com teste *t-Student* de 95% de significância estatística (SANTOS et al., 2016).

Foi realizado o cálculo da correlação de *Spearman* (ρ) (eq. 1) para avaliar a relação monotônica entre variáveis contínuas ou ordinais, como é o caso da densidade de mosquitos (DENS) e as variáveis climáticas da temperatura média do ar (Tar), da umidade relativa (UR)

e da chuva para as escalas sazonais e horárias, com significância de p-valor $\leq 0,01$, conforme a equação abaixo.

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d^2}{n(n^2 - 1)} \quad (\text{eq. 1})$$

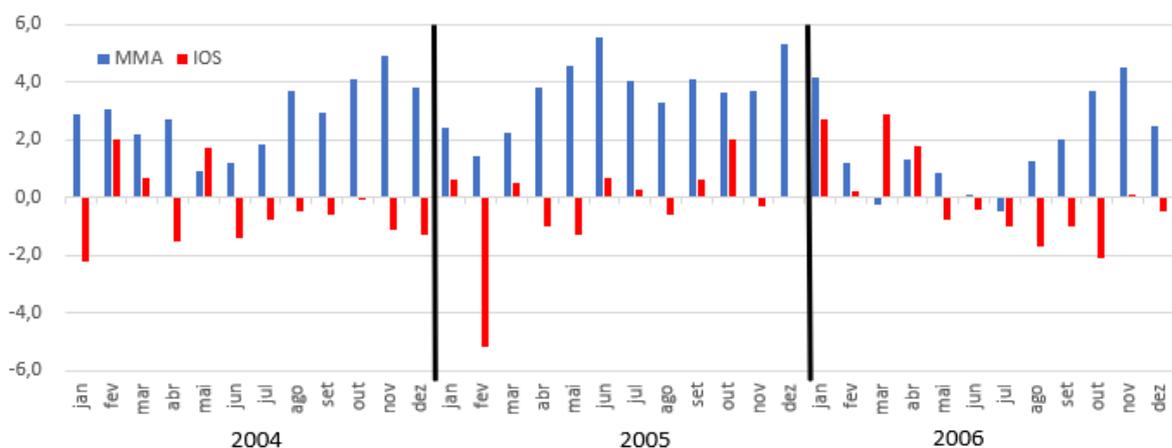
Os valores da correlação de *Spearman* (ρ) de -1 significa que o maior valor para a variável DENS está associado ao menor valor para a variável Tar ou chuva, e o segundo maior valor para a variável DENS está associado com o segundo menor valor para a variável Tar ou chuva, e assim por diante. O sinal de cada coeficiente indica a direção da relação. Além disso, a correlação de *Spearman* (ρ) é uma medida não paramétrica da correlação, com dependência estatística do ranking entre duas variáveis, usado principalmente para análise de dados em geral.

3.3 Resultado e discussão

3.3.1 Grande Escala

Os índices climáticos MMA e IOS apresentam magnitudes distintas e fases dominantes, com o MMA positivo e o IOS negativo (Figura 2) no período de cobertura das campanhas de coletas dos mosquitos na floresta de Caxiuana.

Figura 2- Distribuição temporal dos índices climáticos MMA (Atlântico) e IOS (Pacífico), durante o período de coleta dos mosquitos na floresta de Caxiuana, 2005 a 2006.



Em geral, observa-se que o MMA em 2004 e 2006 mostram menores (maiores) valores no primeiro (segundo) semestre, período de maiores (menores) acumulados de chuva, exceto para 2005 que se destaca entre os demais. Esta condição de elevados valores de MMA

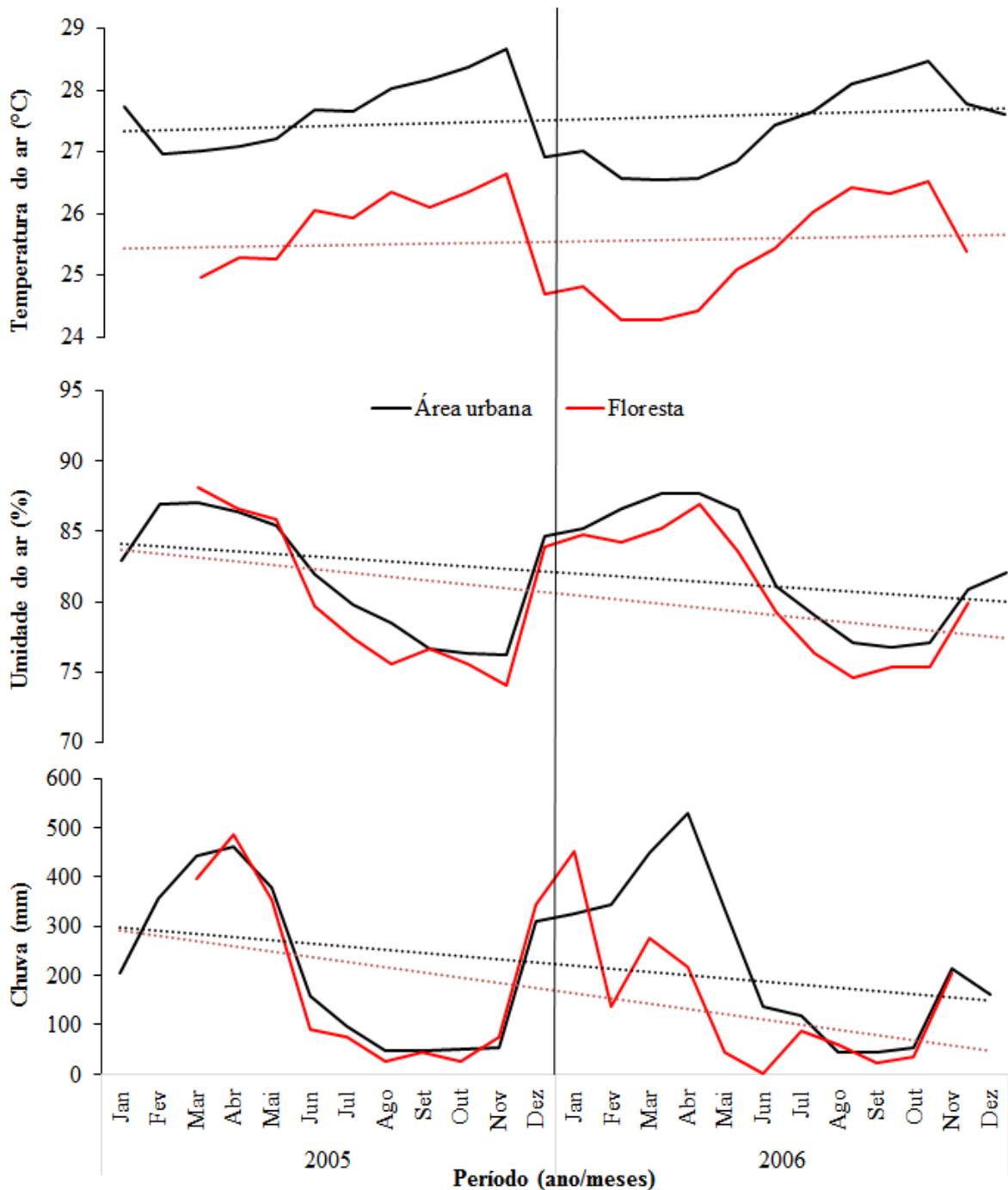
positivo revela a configuração da condição térmica do Atlântico equatorial norte, com temperaturas da superfície do mar mais quentes do que o normal, desde o segundo semestre de 2004 a 2005. Assim, esta condição oceano-atmosfera do Atlântico favorece a redução das chuvas e da umidade relativa e aumento da temperatura média do ar, corroborando com os trabalhos de Marengo, Nobre e Tomasella (2008) e Marengo et al. (2011).

Por outro lado, o Pacífico se manifesta dentro da normalidade, deixando que as condições do Atlântico (MMA) conduzam a qualidade da estação chuvosa (março, abril e maio de 2005 e 2006), através da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). A ZCIT é o principal sistema meteorológico precipitante que ocorre durante os meses de janeiro a maio no setor norte do Brasil. Porém, este sistema depende das condições atmosféricas e oceânicas locais e remotas, como o MMA e o IOS, respectivamente (AMANAJÁS; BRAGA, 2012).

As variáveis climáticas em concordância com a tendência estatística temporal entre os ambientes de floresta e urbano no entorno, e entre as variáveis climáticas, com aumento da temperatura média do ar e a diminuição da umidade relativa e da chuva, durante 2005 a 2006 (Figura 3). Observa-se que a floresta apresenta menores valores com relação à cidade.

Vale ressaltar, que as estações chuvosas de 2005 e 2006 são bem distintas em extensão temporal, com menores acumulados de chuvas em menos meses em 2005 do que em 2006, devido as condições mais acentuadas da fase positiva do MMA do Atlântico que provocou inibição de chuvas sobre o continente e a intensificação da convecção relacionada a ZCIT sobre o Atlântico equatorial.

Figura 3- Variação média e acumulada mensal da Temperatura média do ar (a), da Umidade relativa do ar (b) e da chuva (c), durante 2005 e 2006 para a floresta de Caxiuanã (linhas contínuas vermelhas) e média da área urbana (linhas contínuas pretas). As linhas tracejadas inclinada representam as tendências estatísticas das variáveis e a linha vertical indica a separação dos anos.



Na escala sazonal, as correlações de *Spearman* entre a DENS e o clima mostram (tabela 1) que a temperatura média do ar e a chuva respondem pela máxima relação positiva nas estações que de fato são de maiores magnitudes, ou seja, períodos menos chuvoso, com julho e setembro, e chuvoso, com fevereiro e abril, respectivamente. No entanto, a participação de

dezembro, como mês de transição entre as estações menos chuvosa e chuvosa induz a redução das correlações, devido as suas características climáticas serem bastante variáveis. Estas análises são concordantes com as mencionadas por Confalonieri (2003) e Marengo e Alves (2012), exceto para a relação com a umidade relativa, que neste estudo, mostra baixa influência na densidade de mosquitos.

Tabela 1- Correlação (*Sperman*) na escala sazonal entre a densidade de mosquitos e as variáveis climáticas, durante o período de 2005 a 2006.

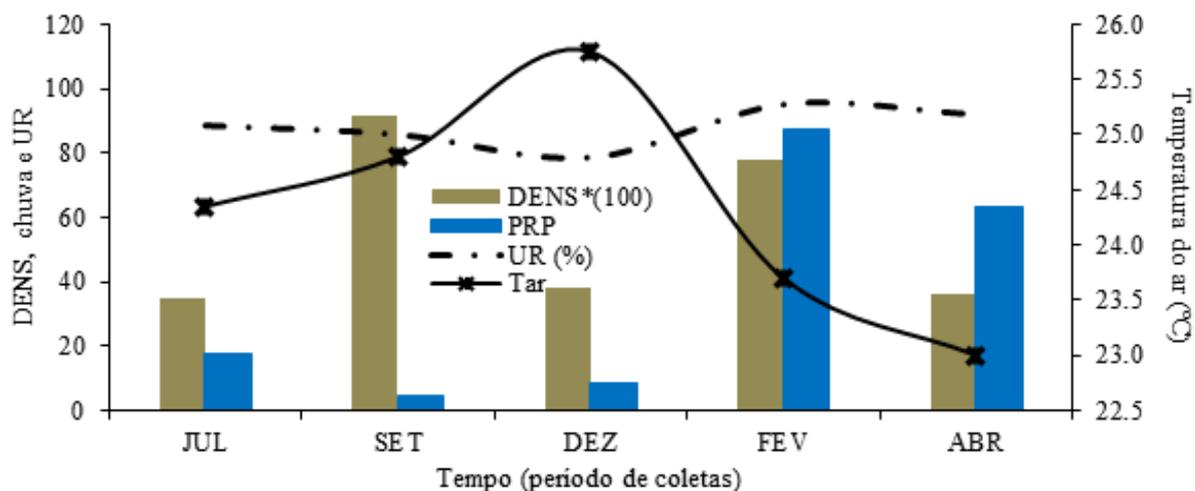
ESCALA SAZONAL

Clima	jul- set-dez	dez-fev-Abr	jul-set	fev-abr	todos
Temperatura	0,5*	0,2	1*	1*	0,3*
Umidade	0,2	0,1	0,1	0,1	-0,1
Chuva	-0,1	0,3*	1*	1*	0,3*

(*p-valor $\leq 0,01$).

A Figura 4 mostra que na distribuição temporal das variáveis climáticas e a população de mosquitos, o máximo principal da densidade ocorre em setembro de 2005, associado a elevadas, temperaturas médias e umidade relativa do ar e ao menor índice de chuvas. No entanto, o pico secundário da densidade acontece em fevereiro de 2006, porém com baixos volumes de chuva e índices de temperatura média do ar. Para Lorenz et al. (2017) a temperatura média do ar afeta diretamente insetos vetores e doenças arbovírus. Canfaloniere et al. (2013), relatam que a umidade oriunda dos corpos hídricos ou da chuva pode influenciar de modo direto ou indireto as relações entre biodiversidade e clima.

Figura 4- Distribuição temporal das variáveis climáticas e da densidade de mosquitos na FLONA de Caxiuanã, durante o período das campanhas 2005 e 2006.



Neste sentido, a interferência da sazonalidade do clima na população de mosquitos na floresta parece sugerir a interferência de condições ambientais de diferentes escalas de tempo e espaço, ou seja, de resoluções espaciais e temporais compatíveis com as dimensões mais próximas ao ambiente da escala de ocorrências dos vetores endêmicos, como as escalas de meso a micrometeorológica (menor ou igual a escala horária).

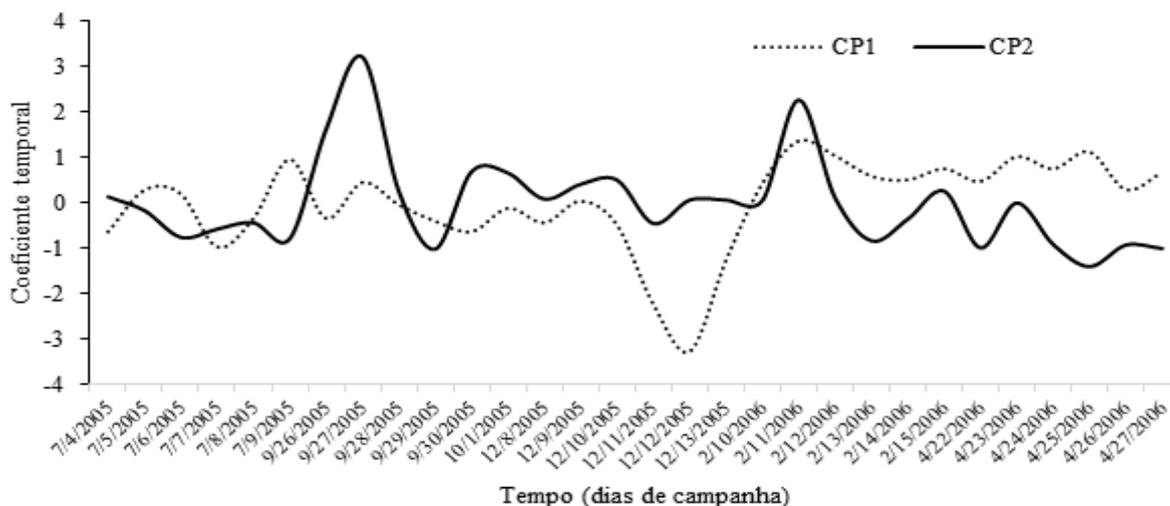
A CP1 com 55% da variância total explicada (figura 5) indicam coeficientes com flutuações diárias e tendência positiva ao longo do período. Significando que os dias do período menos chuvoso (julho e setembro) os coeficientes negativos passam para positivos a partir de dezembro, com o início do período chuvoso da região. A maior amplitude observada desta CP ocorre em 12 de dezembro de 2005, com coeficiente negativo indicando elevada correlação negativa entre as variáveis.

Isto pode estar relacionado com os maiores valores de Tar, menores valores UR e densidade de mosquitos, durante o período de 2005 a 2006. Estudos realizados por Zolho (2010) mostra uma projeção de $\approx 20\%$ a 30% de que as espécies de plantas e animais estarão em crescente risco de extinção se este aumento na temperatura média exceder de 2°C a 3°C acima do nível pré-industrial.

Para a CP2, que explica 34% da variância total, apresenta tendência negativa ao longo do período. Desta maneira, isto pode revelar que os eventos extremos de densidade de mosquitos tendem a diminuir com a estação chuvosa. Ainda pode ser observado na CP2 dois picos de maiores coeficientes positivos em 27 de setembro de 2005 e em 11 de fevereiro de 2006, com correlações crescentes entre as variáveis. Isto significa que os dois máximos da densidade de mosquitos estão correlacionados com as condições meteorológicas de elevadas Tar e UR.

Estes resultados são parcialmente concordantes com a literatura que menciona que a sazonalidade da radiação solar e seus efeitos na vegetação (SOUZA et al., 2008) e na biodiversidade (SILVA et al., 2010) em meses com baixos volumes de chuva e altas temperaturas médias do ar concorrem para redução na biodiversidade (RODRIGUES et al., 2011) que provavelmente induz a migração de espécies para regiões climaticamente mais agradáveis (NUNES et al., 2010)

Figura 5- Coeficiente temporal dos autovalores diários das CP1 com 55% e CP2 com 34% da variância total explicada entre o clima (Tar e UR) e a densidade de mosquitos, com 95% de significância de teste *t-Student*.



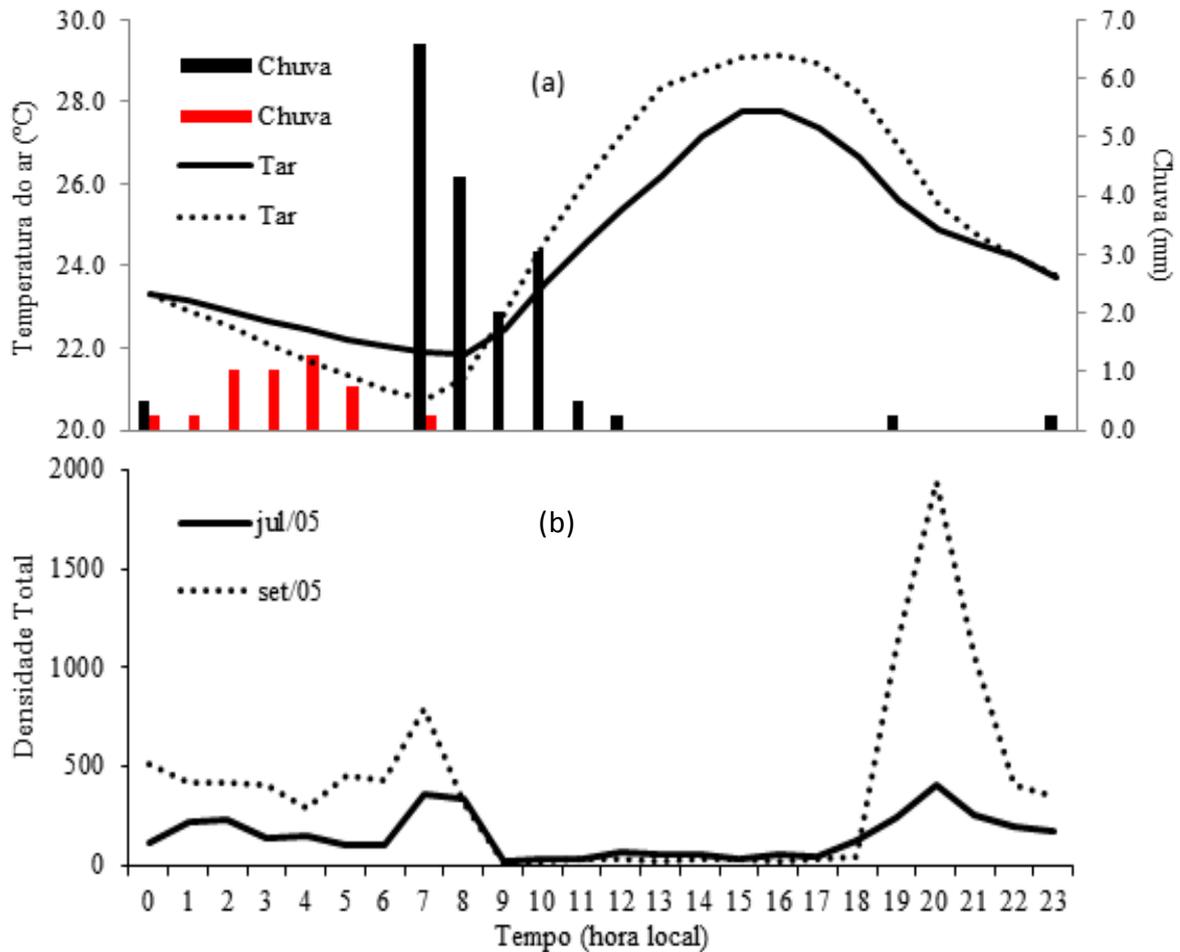
3.3.2 Escala Local

A variabilidade horária média das variáveis meteorológicas e da densidade de mosquitos para o período menos chuvoso (julho e setembro) revelam que o ciclo diurno da temperatura do ar e da chuva estão bem representados com níveis elevados de temperatura do ar no período da tarde, com máximos entre 14h e 15h sendo os maiores níveis em setembro com menos chuvas do que em julho com mais chuvas (Figura 6a).

A Figura 6b mostra o ciclo médio diário da densidade de mosquitos com observação de ocorrência dos maiores índices de capturas durante a noite entre as 19 e 20hs, e pela manhã entre as 7 e 8hs, com maior amplitude para setembro de 2005. Combinando as condições meteorológicas com as maiores densidades de mosquitos, pode ser visto que esta densidade está relacionada com condições máximas de temperatura média do ar pela parte da tarde com pouca chuva durante o início da noite e menores níveis de temperatura média do ar com maior nível de chuva pela madrugada entrando pela manhã.

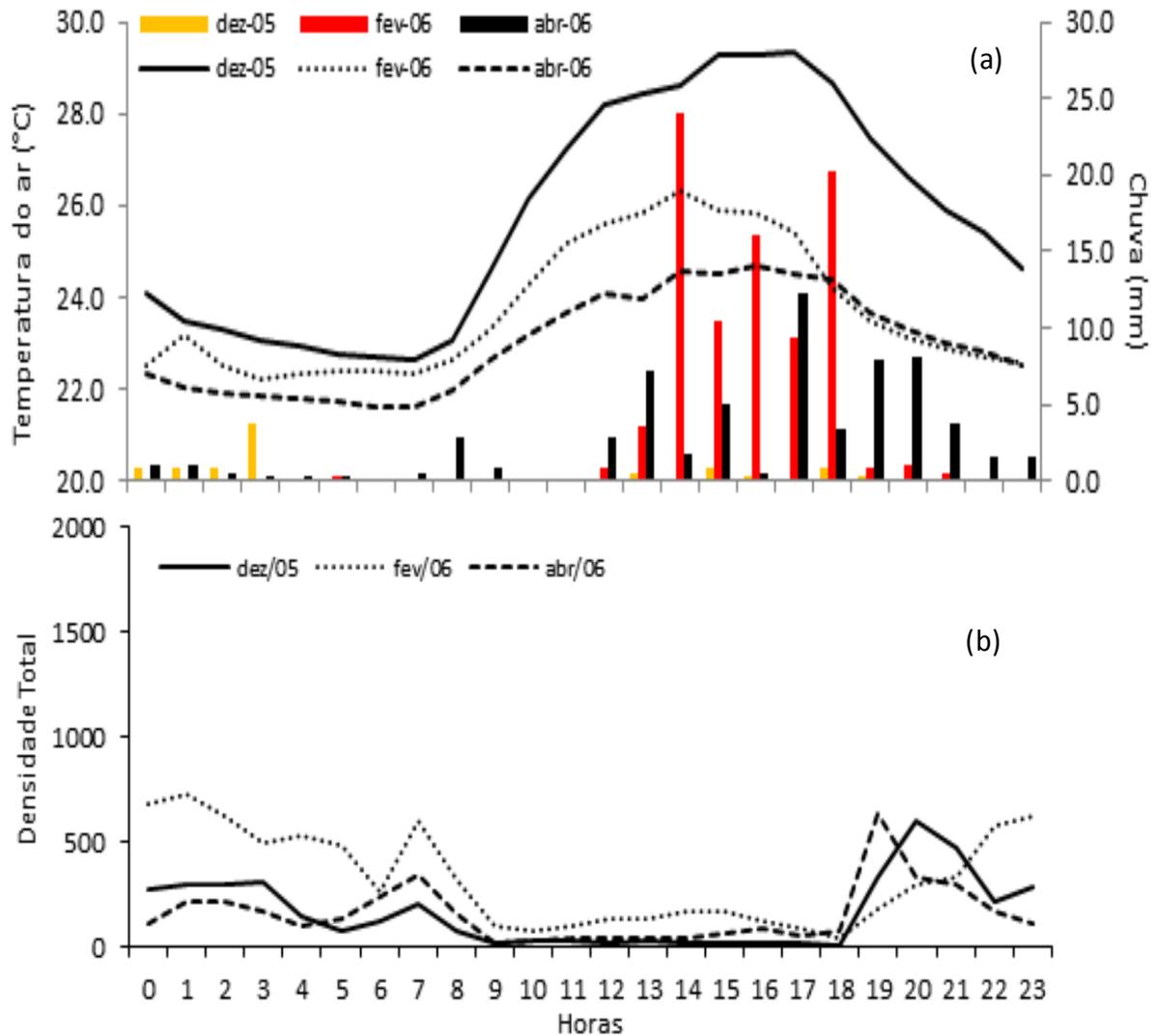
Para Mordecai et al. (2013), mudanças na ecologia de mosquitos vetores afetam a incidência, a transmissão sazonal e a distribuição geográfica da malária. Estudos realizados por Shaman e Day (2007), sugerem que a ocorrência de altas temperaturas e mudanças no ciclo das chuvas pode afetar a dinâmica da população de mosquitos tendo como consequência alterações na taxa de transmissão das doenças.

Figura 6- Distribuição média horária das variáveis meteorológicas (a) e da densidade de mosquitos (b), durante o período menos chuvoso, julho e setembro de 2005.



No caso do ciclo diurno médio para os meses chuvosos (dezembro, fevereiro e abril de 2006) (Figura 7a) se percebe que as chuvas são mais regulares e volumosas a tarde, porém as temperaturas médias do ar são mais amenas do que o período menos chuvoso (Figura 6a). Com relação a densidade de mosquitos (figura 7b) estas aumentam ao longo da noite entrando pela madrugada, com destaque para fevereiro de 2006, inclusive para o dia todo. Os picos na densidade devem estar relacionados a resposta da vegetação ao comportamento do microclima da floresta.

Figura 7- Distribuição média horária das variáveis meteorológicas (a) e da densidade de mosquitos (b), durante o período chuvoso de dezembro, fevereiro e abril de 2006.



As relações do clima com a densidade de mosquitos são bastante complexas, principalmente quando a região estudada se localiza em latitudes tropicais, onde as chuvas, umidade e temperaturas médias do ar são abundantes, durante todo o ano. Estudos realizados por Gamelon et al. (2017), mostram que uma interação entre temperaturas médias do período chuvoso e uma densidade populacional podem influenciar a sobrevivência de uma população sob aquecimento global.

As correlações de *Sperman* (Tabela 2) indicam que as chuvas em setembro e as temperaturas média do ar em dezembro e fevereiro apresentam as maiores correlações com a densidade de mosquitos, com significância de $p\text{-valor} \leq 0,01$. As temperaturas do ar na estação de transição (dezembro) são as maiores observadas mostrando que este período é um divisor de condições atmosféricas diferentes, entre o menos chuvoso e o chuvoso. Isto pode

revelar que as poucas chuvas de setembro e a diminuição da temperatura média do ar em fevereiro foram o disparo para a condição favorável de aumento na densidade de mosquitos.

Tabela 2- Correlação (*Sperman*) na escala horária entre a densidade de mosquitos e as variáveis climáticas, durante o período de julho, setembro e dezembro de 2005 a fevereiro e abril de 2006.

ESCALA HORÁRIA

Clima	jul	set	dez	fev	abr	todos
Temperatura	-0,1	-0,3	-0,5*	-0,5*	-0,1	-0,4*
Umidade	0,1	0,2	0,1	-0,1	0,2	0,2
Chuva	0,2	0,7*	-0,4*	-0,3*	0,3*	-0,04

(*p-valor $\leq 0,01$)

Pode ser considerado que as diferentes escalas usadas para os dados tenham revelado as contribuições para o entendimento da variabilidade das variáveis, ou seja, que as múltiplas escalas (desde a escala horária) mostram as oscilações das variáveis com comportamentos de modo bastante diferente das escalas de dias, meses e anos. É sugestivo que as combinações das diferentes escalas das variáveis do clima respondem pela a densidade de mosquitos de modo irregular para ambas as estações.

Este estudo mostra a importância da análise de múltiplas escalas atmosféricas para explicar a manifestação multicausal da população de mosquitos na floresta de Caxiuanã. Isto pode auxiliar no conhecimento do uso de ferramentas de análise de dados, bem como uso de dados de alta resolução temporal, a depender da escala dos dados representativos dos processos ambientais e endêmicos de interesse.

No entanto, se acredita em uma avaliação integrada com uma abordagem interdisciplinar das diferentes áreas científicas podendo alcançar maiores entendimentos com relação a proliferação de vetores endêmicos.

3.4 Conclusão

Os índices climáticos sobre os oceanos apontam que o Pacífico neutro e a intensa fase positiva do Atlântico foram determinantes para que as condições anômalas no Atlântico equatorial provocassem a redução da chuva e da umidade relativa com elevação da temperatura média do ar em 2005. No entanto, o período chuvoso de 2006 foi mais abundante em chuvas e umidades, com menores níveis de temperatura média do ar do que em 2005. Para as condições oceano-atmosfera do Pacífico e Atlântico foi definido que as variáveis meteorológicas indicaram as maiores amplitudes para a área urbana do que para a floresta. Os picos na densidade de mosquitos em setembro e fevereiro são dependentes da variabilidade

sazonal, com maiores (menores) contribuições da temperatura média do ar (umidade e chuvas). O ciclo diurno médio da variabilidade climática indica irregularidade nos valores extremos na densidade de mosquitos com as forçantes meteorológicas. No entanto, a chuva é a variável meteorológica com maior correlação para setembro, seguida da temperatura média do ar para dezembro e fevereiro. Eventos climáticos extremos são sugestivos de um mecanismo de elevação na densidade de insetos vetores, indicando ser um fator preponderante na disseminação de doenças de veiculação vetorial.

REFERÊNCIAS .

AMANAJÁS, J. C.; BRAGA, C. C. Padrões espaço-temporal pluviométricos na Amazônia Oriental utilizando análise multivariada. *Rev. Bras. Meteorol.*, São Paulo, v.27, n.4, dec. 2012. Doi:10.1590/S0102-77862012000400006. ISSN 0102-7786.

BONITA, R.; BEAGLEHOLE, R.; KJELLSTRÖM, T. *Epidemiologia básica*. 2. ed. São Paulo: Santos, 2010. ISBN: 9788572888394.

CONFALONIERI, U. E. C. Variabilidade climática, vulnerabilidade social e saúde no Brasil. *Terra Livre*, São Paulo, v. 19-1, n.20, p. 193-204, 2003.

CONFALONIERI, U. E. C.; COSTA NETO, C. Diversity of mosquito vectors (*Diptera: Culicidae*) in Caxiuanã, Pará, Brazil. *Interdisciplinary Perspectives on Infectious Diseases*. v. 2012, Article ID 741273, 8 p. 2012. Doi:10.1155/2012/741273.

CONFALONIERI, U. E. C.; MARGONARI, C.; QUINTÃO, A. F. Environmental change and the dynamics of parasitic diseases in the Amazon. *Acta Tropica*, v. 129, p. 33-41, 2013.

CONSOLI, R. A. G. B.; LORENÇO-DE-OLIVEIRA, R. *Principais mosquitos de importância epidemiológica no Brasil*. [S.l.]: Ed. Fiocruz, 1994. 228p.

FEI, S.; DESPREZ, J. M.; POTTER, K. M.; JO, I.; KNOTT, J. A.; OSWALT, C. M. Divergence of species responses to climate change. *Sci. Adv.*, v.3, 2017. Doi: 10.1126/sciadv.1603055.

FORATTINI, O. P. *Culicidologia médica: identificação, biologia, epidemiologia*. São Paulo: Edusp, 2002. v.2, 860p.

FORATTINI, O. P. *Ecologia, epidemiologia e sociedade*. 2. ed. [S.l.]: Artes Médicas, 2004. ISBN: 978-8574040851.

GAMELON, M.; GROGAN, V.; NILSSON, A. L. K.; ENGEN, S.; HURRELL, J. W.; JERSTAD, K.; PHILLIPS, A. S.; ROSTAD, O. W.; SLAGSVOLD, T.; WALSENG, B.; STENSETH, N. C.; SAETHER, B. E. Interactions between demography and environmental effects are important determinants of population dynamics. *Science Advances*, v.3, e1602298, 2017.

GE, C.; YE, J.; WEBER, C.; SUN, W.; ZHANG, H.; ZHOU, Y.; CAI, C.; QIAN, G.; CAPEL, B. The histone demethylase KDM6B regulates temperature-dependent sex determination in a turtle species. *Science*, v. 360, Issue, 6389, p. 645-648, 2018. Doi: 10.1126/science.aap8328.

GEORGES, A.; HOLLELEY, C. E. How does temperature determine sex? *Science*, v. 360, Issue 6389, p. 601-602, 2018. Doi: 10.1126/science.aat5993.

GUBLER, D. J. Human arbovirus infections world wide. *Ann New York Academy Science*; v.951, n.1, p. 13-24, 2001.

JOLLIFFE, I. T. *Principal component analysis*. 2. ed. [S.l.]: Springer, 2002.

LORENZ, C.; AZEVEDO, T. S.; VIRGINIO, F.; AGUIAR, B. S.; CHIARAVALLOTI-NETO, F.; SUESDEK, L. Impact of environmental factors on neglected emerging arboviral diseases. *PLoS, Neglected Tropical Disease*, v.11, n.9, p.e0005959, 2017. Doi.org/10.1371/journal.pntd.0005959.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; TOMASELLA, J.; OYAMA, M. D.; DE OLIVEIRA, G. S.; OLIVEIRA, R.; CAMARGO, H.; ALVES, L. M. and BROWN, F. The Drought of Amazonia in 2005. *American Meteorological Society*, v. 21, p. 495-516, 2008. Doi: 10.1175/2007JCLI1600.1.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M. The 2011 intense rainfall and floods in Rio de Janeiro. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **JCR**, v. 93, p. S176, 2012.

MARENGO J. A.; TOMSASELLA, J. ; ALVES, L. M ; SOARES, W. ; RODRIGUEZ, D. A. . The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. *Geophysical Research Letters*, **JCR**, v. 38, p. 1-5, 2011.

MORDECAI, E. A.; PAAIJMANS, K. P.; JOHNSON, L. R.; BALZER, C.; BEN-HORIN, T.; MOOR, E.; McNALLY, A.; PAWAR, S.; RYAN, S. J.; SMITH, T. C.; LAFFERTY, K. D. Optimal temperature for malaria transmission is dramatically lower than previously predicted. *Ecology Letters*, v. 16, p. 22–30, 2013. Doi: 10.1111/ele.12015.

MOURA, M. N. *Padrões climáticos de precipitação e a produção de soja na Amazônia*. Dissertação (Mestrado) - PPGCA-IG/UFPA/EMBRAPA/MPEG, Universidade Federal do Pará, Belém-Pará, 2014.

NUNES, H. J. G. C.; BARRETO, P. N.; SOUSA, A. M. L.; SANTOS, S. R. Q.; RODRIGUES, R. S.; SILVA, R. B. C. Análise da variabilidade média mensal de variáveis meteorológicas na floresta nacional de Caxiuanã/Pa de 2000-2004 *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, XVI CBMET, ANAIS, 2010, Belém-PA. A Amazônia e o clima global*, Belém-Pa: CBMet, 2010.

PATZ, J. A.; OLSON, S. H.; UEJIO, C. K.; GIBBS, H. K. Disease emergence from global climate and land use. *Med Clin N Am*. n. 92, p.1473–1491, 2008. Doi:10.1016/j.mcna.2008.07.007.0025-7125/08/\$.

PINTO, C. S.; CONFALONIERI, U. E. C.; MASCARENHAS, B. M. “Ecology of *Haemagogus* sp. and *Sabethes* sp. (Diptera: *Culicidae*) in relation to the microclimates of the Caxiuanã National Forest, Pará, Brazil,” *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz*. v. 104, n. 4, p. 592–598, 2009.

PINTO, C. S. *Ecologia de culicídeos vetores de febre amarela silvestre em relação ao microclima na floresta nacional de Caxiuanã-Melgaço-PA*. 2007. 85f. Dissertação (Mestrado em Zoologia) - MPEG, Belém-PA, 2007.

RODRIGUEZ, N. C.; VITORINO, M. I.; BERREDO, J. F.; JARDIM, M. A. G.; SOUSA, A. M. L.; SILVA, P. V. C. Evaluation of Mangrove and its role in the economy and strategy to Climate change: case study of Cuiarana, Pará, in the Brazilian Amazon. *Revista Árvore*, Viçosa, Epub. v. 43, n. 5, e430503, 2019. Mar. ISSN: 1806-9088.

RODRIGUES, H. J. B.; SÁ, L. D. A.; RUIVO, M. L. P.; DA COSTA, A. C. L.; SILVA, R. B. C.; MOURA, Q. L.; MELLO, I. F. Variabilidade quantitativa de população microbiana associada às condições microclimáticas observadas em solo de floresta tropical úmida. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.26, n.4, p.629-638, 2011

SANTOS, M. R. S.; VITORINO, M. I.; BRAGA, C. C.; SOUTO, J. I. O.; MOURA, M. N.; FERREIRA JUNIOR, P. P. Padrões de precipitação mensal na mesorregião metropolitana de Belém: Uso do CMORPH e componentes principais. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.9, n. 7, p. 2301-2311, 2016. ISSN:1984-2295.

SHAMAN, J.; DAY, J. F. Reproductive Phase Locking of Mosquito Populations in Response to Rainfall Frequency. *PLoS ONE*, v.2, n.3, p e331, 2007. Doi:10.1371/journal.pone.0000331.

SILVA, R. B. C.; MOURA, Q. L.; RODRIGUES, H. J. B.; BARRETO, P. N.; RODRIGUES, R. S.; SANTOS, S. R. Q.; RUIVO, M. L. P. Estudo das colônias de fungos e bactérias em solos de floresta tropical associada à variação das chuvas na região. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, XVI CBMet, ANAIS, 2010, Belém-PA. A Amazônia e o clima global*, Belém-Pa: CBMet, 2010.

SOUZA, W. J. S.; SILVA, R. B. C.; BARRETO, P. N.; SA, L. D. A. Estudo da radiação solar e da precipitação pluviométrica na floresta nacional de Caxiuanã *In: INTERNATIONAL SCIENTIF CONFERENCE LBA-GEOMA-PPBio*, Manaus-AM, 2008 Disponível em: Amazônia em Perspectiva (inpa.gov.br); Acesso em: agosto/2019.

ZOLHO, R. *Mudanças climáticas e as florestas em Moçambique*. [S.l.]: CIEDIMA. 6362/RINLD, 2010. p.48, 2010. (Amigos da floresta. Centro de integridade pública).

WILKS, D. S. *Statistical methods in the atmospheric sciences*. Amsterdam: Elsevier, 1995. 661p. (International Geophysics Series, 100).

CAPÍTULO 4 ANÁLISE DAS ENDEMIAS COMBINADAS COM AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO ESTADO DO PARÁ.

4.1 Introdução

A região amazônica por esta inserida na faixa de latitude tropical apresenta características atmosféricas diferenciadas com relação as demais latitudes. Ricamente abundante em incidência de radiação solar, nebulosidade, calor, elevados níveis de chuva e de temperaturas médias do ar.

Estas condições atmosféricas são ideais para proliferação de inúmeros hospedeiros e seus arbovírus, como: a Dengue (DNG), a Leishmaniose tegumentar americana (LTA) e a Malária (MAL). Segundo Nunes e Mendes. (2012), estes geram endemias de veiculação vetorial, ou seja, que precisam do agente vetor (mosquito) para sua propagação que sem controle podem causar epidemias, com grandes chances de óbitos, principalmente por Dengue e Malária.

Para Lorenz et al. (2017), a temperatura do ar é a principal variável climática que determina a distribuição de doenças transmitidas por vírus em áreas de alto risco, concorrendo como ameaça latente à saúde pública. Para Confalonieri (2003), as mudanças ambientais, como as variabilidades de chuvas e temperaturas, associadas as sócio-demográficas exercem influência direta nas doenças tropicais atuantes na região amazônica. Ainda neste sentido Snow et al. (2017), relatam que as sazonalidades do clima e das paisagens, a longo prazo, são importantes para a epidemiologia da Malária.

No período de 2000 a 2017, foram confirmados mais de 16 milhões de casos de dengue no Brasil, com uma média de 77.000 casos por mês, sendo confirmados só no estado do Pará, mais de 303 mil casos, com uma média de 890 caso por mês (LIMA; LAPORTA, 2020).

Estudos realizados por Pinheiro et al. (2008), mostram que as variações existentes entre as taxas de infecção natural de flebotomíneos transmissores de Leishmaniose sugerem que, onde foi observada uma maior e/ou menor alteração antrópica, possa estar diretamente relacionada a disponibilidade de alimento e fonte de infecção para as fêmeas destes mosquitos. Para Silva, Pimentel e Jardim (2019) a febre do Chikungunya apresenta fraca correlação, positiva com a temperatura média do ar e negativa com a chuva.

As mudanças climáticas têm mostrado alterações na ocorrência dos extremos de tempo e de clima e que pode afetar diretamente ou indiretamente a proliferação de vetores, e o agravamento de doenças por vírus como ameaça crucial para saúde pública. Assim, este

estudo buscou analisar a influência das condições climáticas correlacionadas com as endemias na disseminação das patologias de DNG, MAL e LTA de modo espaço-temporal.

A DNG, a MAL e a LTA são provenientes de infecção por vírus transmitidos aos seres humanos por mosquitos vectores, devido sua abundância na região Amazônica e por possuírem alto potencial de disseminação (TAUIL, 2002). As doenças transmitidas por estes vetores compõem importante causa de enfermidade no Brasil e no Mundo, a DNG é a principal enfermidade emergente nos países tropicais e subtropicais, a malária é um dos maiores problemas de saúde na África, ao sul do Saara, no sudeste asiático e nos países amazônicos no Sul das Américas, as Leishmanioses (tegumentar e visceral) vêm aumentando sua incidência e distribuição geográfica (PUCCIONI-SOHLER et al., 2009), principalmente em florestas intactas, além de sugerir que os eventos extremos (BRAZIL; BRAZIL-ROCHA; BRAZIL, 2011) são fatores que contribuem para sua dispersão.

A Dengue doença tropical febril aguda e infecciosa causada por um arbovirus do gênero *Flavivirus*, apresentando amplo espectro clínico e que inclui quatro tipos imunológicos: DEN-1, DEN-2, DEN-3 e DEN-4 (ROSS, 2010). É a mais importante arbovirose que afeta o ser humano, ocorrendo e sendo disseminada nos países tropicais e subtropicais pelas condições que o meio ambiente favorece ao desenvolvimento e proliferação dos vetores. Os sintomas incluem febre, dores de cabeça, musculares e articulares e uma erupção cutânea semelhante à causada pelo sarampo. Em poucos registros, a DNG pode evoluir para o caso mais grave da doença, a hemorrágica (GVS, 2016).

Dos casos registrados de infecção por DNG, de 4% a 5% evoluem para problemas neurológicos (PUCCIONE-SOLLER et al., 2009) e que a possibilidade de negligenciamento desta doença vai permitir a propagação deste vetor que também é responsável pela transmissão do vírus Zika e do Chikungunya além de um grande número de infectados por estes vírus, contribuindo para a manifestação (evolução) de problemas neurológicos mais graves (PUCCIONI-SOHLER et al., 2017).

A LTA, também conhecida como úlcera de bauru é uma doença infecciosa, não contagiosa, causada por protozoário, acometendo pele e mucosas, de transmissão ao ser humano através da picada da fêmea de mosquitos do gênero *Lutzomyia* (GVS, 2016).

A Malária conhecida como paludismo, tremedeira, febre terçã, etc, é uma doença infecciosa febril aguda causada por protozoários transmitidos pela picada da fêmea do mosquito do gênero *Anopheles* quando infectada pelo *Plasmodium spp.* tendo no *P. falciparum* o protozoário responsável pela maioria das formas mais graves da doença (GVS,

2016) causando expressivas perdas sociais e econômicas na população sob risco considerável onde o número de óbitos é bem significativo.

Em geral, as morbidades são analisadas a partir de um determinado número de casos de determinada endemia. Segundo Pereira (2012), se o número de casos que ocorrem no ano superar o valor da incidência máxima esperada (IME), tem-se um indicativo de caso de surto epidêmico e/ou epidemia no município.

Sugere-se que uma determinada doença está em situação de epidemia quando o número de registros supera a Incidência máxima esperada (IME) cuja equação (1) baseia-se na Média da Incidência somado a duas vezes o desvio padrão. Assim, o cálculo do valor da IME foi aplicado a amostra do número de casos para as 3 endemias DNG, LTA e MAL observadas nos 10 municípios. Os registros de casos acima da IME (linha) são considerados surto epidêmico e/ou epidemia no município.

$$IME = \overline{Inc} + SD (x 2) \quad \text{eq. (1)}$$

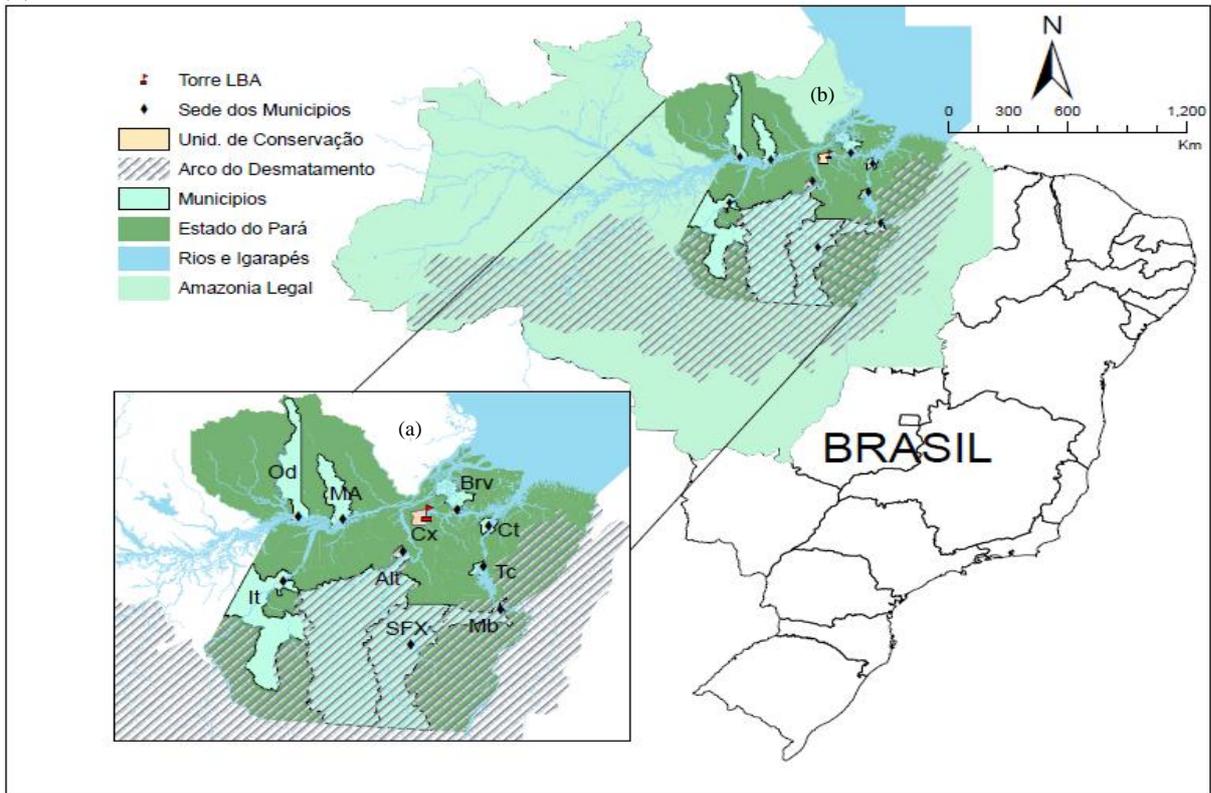
4.2 Material e método

4.2.1 Caracterização da área de estudo

As informações do clima utilizadas na elaboração temporal das análises englobam os municípios que contenham instrumentação meteorológica que se situam dentro da área de estudo (Figura 1a) e que são responsáveis por mensurar a variabilidade do clima além de informações disponíveis das morbidades adquiridas por municípios de residência do paciente e que se manifestaram em todos os anos do período (2001 a 2017). Os 10 municípios de abrangência deste estudo são: Altamira (Alt), Breves (Brv), Cametá (Ct), Tucuruí (Tc), Itaituba (It), Marabá (Mb), Monte Alegre (MA), Óbidos (Od), São Felix do Xingú (SFX), além da FLONA de Caxiuanã (Cx), dentro do estado do Pará no qual fazem parte da região de estudo (figura 1) e que possuem dados, tanto meteorológicos quanto das endemias em níveis significativos durante todo o período.

Os dados climáticos coletados foram obtidos das estações meteorológicas convencionais do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e automática da torre do LBA na FLONA de Caxiuanã, para as variáveis da Temperatura média do ar (Tar), chuva e umidade relativa do ar (UR), durante o período de 2001 a 2017.

Figura 1- Área de estudo, com os 10 municípios e sua localização no âmbito estadual (a) e nacional (b), destacando o arco do desmatamento.



4.2.2 Dados Climáticos e Epidemiológicos

Os dados da torre do LBA na Flona de Caxiuanã são medidos por instrumentação automática, tais como: a temperatura média (Tar) e a umidade relativa do ar (UR) através da sonda HMP45C da *Campbell Scientific* e a Chuva adquirido pelo *CSI MODEL TB4-L RAIN GAGE da Campbell Scientific*, que são instrumentos de registros digitais.

Os dados anuais epidemiológicos são das três principais endemias, a Dengue (DNG), a Leishmaniose Tegumentar Americana (LTA) e a Malária (MAL) que são as mais frequentes nos 10 municípios do estado do Pará, durante o período de 2001 a 2017. Estes dados estão disponíveis no site do Ministério da Saúde dentro do sistema de vigilância em saúde (SVS), inserido no sistema nacional de agravos e notificações (SINAN) e na sala de apoio a gestão estratégica (SAGE) que abrangem toda a área (MS/SVS/SINAN-SAGE).

Para a análise da integração dos dados climáticos e epidemiológicos espaço-temporal, aplicou-se a análise estatística multivariada, denominada de Análise de Componentes principais (ACP) (FERREIRA, 2008; WILKS, 1995). A ACP foi utilizada para a caracterização das áreas homogêneas com significância t-Student de 95%, através de suas correlações com a utilização dos dados anuais de clima e número de casos de endemias. para o período de 2001 a 2017 para as três endemias.

A matriz de dados climáticos e de endemias normalizada foi construída para a aplicação da ACP, sendo composta por 102 linhas por (17 anos vezes 6 variáveis) 10 colunas (10 municípios). A partir dos resultados da ACP foram considerados somente os primeiros modos (autovetores e autovalores) que somados representem valor maior igual que 70% da variância total explicada.

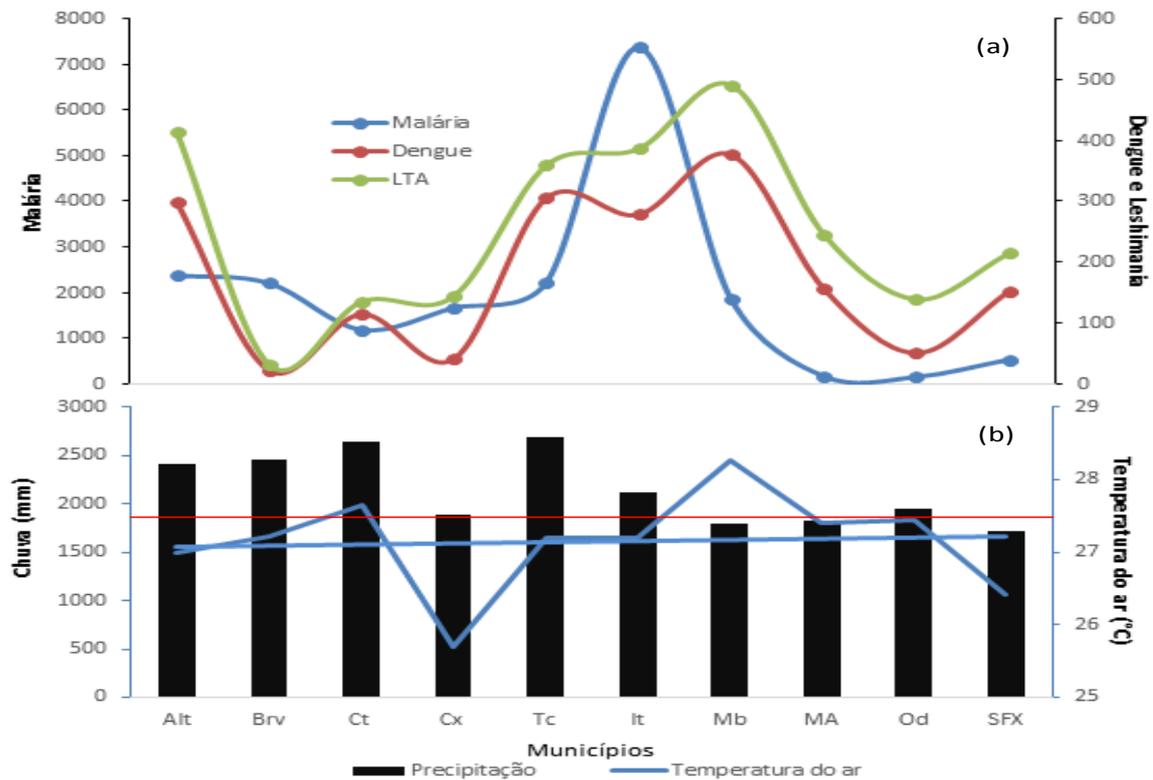
4.3 Resultados e discussões

4.3.1 Análise Temporal Média

Os maiores picos da malária (MAL) ocorrem em Itaituba e Altamira, com menores ocorrências em Monte Alegre e Óbidos. No caso da Dengue (DNG), os maiores valores estão mais presentes em Marabá, Tucuruí e Altamira, com menores valores em Breves (Figura 2a). A Leishmaniose Tegumentar Americana (LTA) destaca-se em Marabá, Altamira, Itaituba e Tucuruí, com menor ocorrência em Breves. É notório que os municípios de Marabá, Itaituba, Tucuruí e Altamira apresentam as maiores ocorrências dessas endemias pelo conhecimento de que, nas duas últimas décadas, a influência de proximidade de áreas de floresta densa, desenvolvimento socioeconômico e as mudanças ambientais do uso e cobertura da terra, com elevado desmatamento tenham se destacado nesses locais.

Com relação às variáveis climáticas anuais (Figura 2b) a temperatura média do ar é de 27°C e a chuva apresenta média de 2150mm. A maior temperatura do ar ocorre em Marabá e a menor em Caxiuanã. O município de Marabá é localizado na área do arco do desmatamento que devido a retirada da vegetação favorece a elevação das temperaturas e Caxiuanã está inserida na área de floresta primária na região de Melgaço. Para Nobre et al. (2005), quando se pratica mudanças de uso do solo e do clima, proporciona-se alterações nos ecossistemas terrestres mudando a globalização dos padrões da vegetação, forçando uma rápida adaptação em um intervalo de tempo menor.

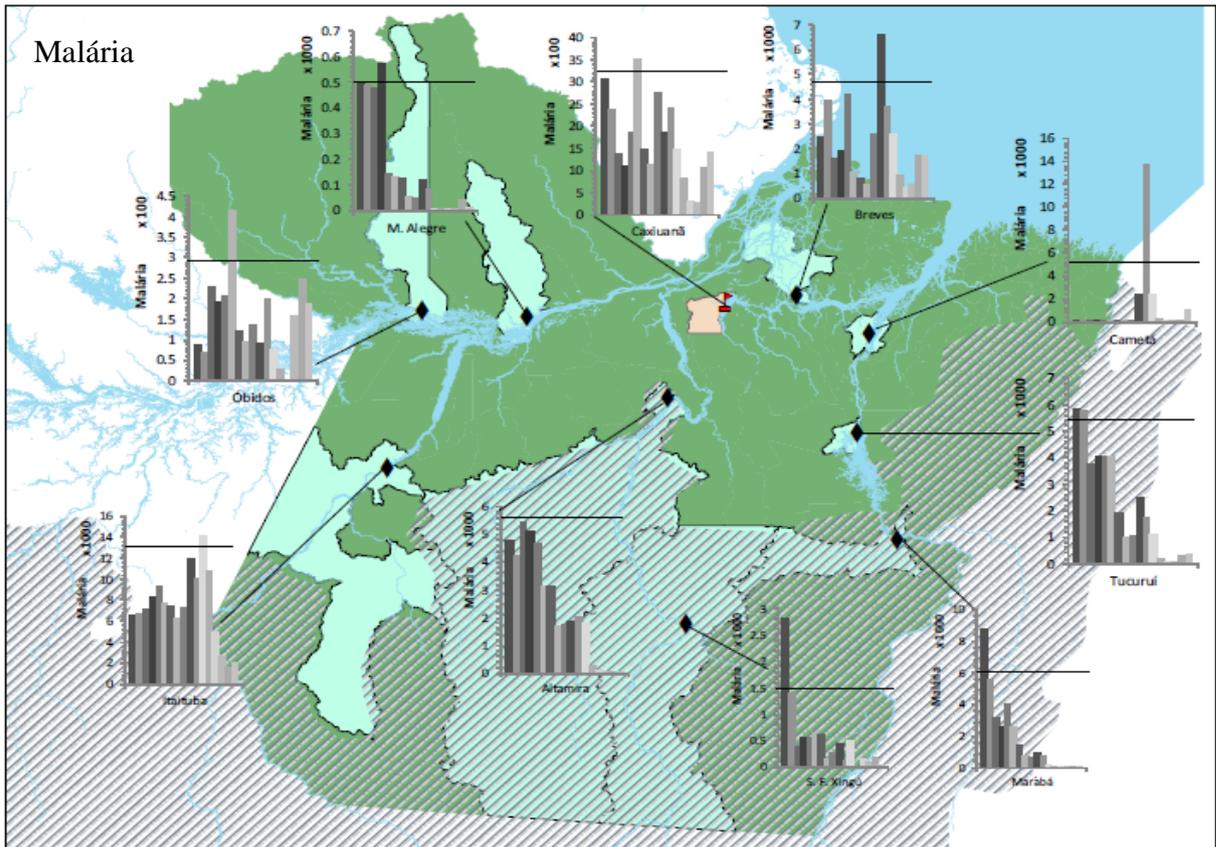
Figura 2- Distribuição média das endemias (Malária, Dengue e Leishmaniose) (a) e das variáveis climáticas (Chuva e temperatura do ar) (b) para os 10 municípios no estado do Pará, durante o período de 2001 a 2017. A linha vermelha indica o máximo de chuva esperado para a região.



A MAL se mantém anualmente como uma doença parasitária endêmica na Amazônia (CONFALONIERE et al., 2014), dependendo das variações e alterações no ambiente e sobre a migração humana, tanto infectados e suscetíveis quanto na dificuldade dos serviços prestados em saúde para as comunidades da região (SNOW et al., 2017), este mesmo autor indica que a importância dos menores ciclos sazonais da MAL e um longo período de clima anormal altera a possibilidade de contato entre vetores e humanos assim como, também, as mudanças nas paisagens tendem a contribuir para alterar a permanência do vírus no hospedeiro, para Mourão et al. (2010), o aumento das chuvas, assim como a manutenção da umidade do ar acima dos 60%, indicam correlação direta com a elevação nos casos de MAL na região da Amazônia legal.

A incidência máxima esperada (IME) das endemias para os municípios de Itaituba e Marabá, com alta frequência de números de casos da MAL (figura 3) e expressivo surto epidêmico em Cametá em 2011. Altamira, mesmo com altos números de casos, foi o único município que não registrou surto epidêmico de MAL, neste período.

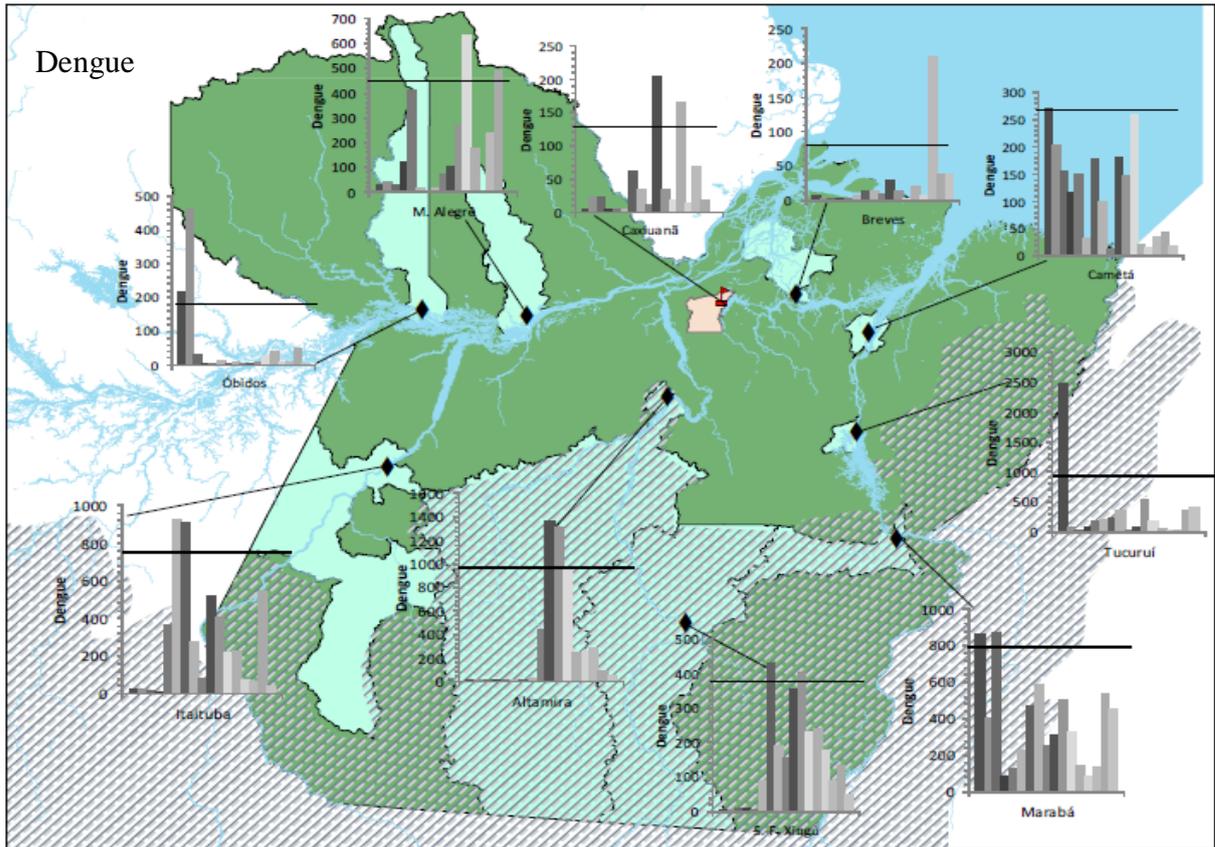
Figura 3- Número de casos de Malária na área de estudo, durante o período de 2001 a 2017. As linhas horizontais indicam a incidência máxima esperada (IME) em cada município. Os anos com número de casos acima da IME (linha preta) são considerados com surto epidêmico e/ou epidemia.



Para os casos de DNG (figura 4), a frequência anual é irregular com menor número de casos em comparação com a MAL, com apenas dois anos de surtos epidêmicos nos municípios de Altamira, Itaituba, Marabá, Monte Alegre, Óbidos e S. F. do Xingú e surto epidêmico bem expressivo em Tucuruí em 2001, no começo do período. Altamira, Marabá e S. F. do Xingú são municípios que estão dentro de uma área com forte alteração no solo denominada arco do desmatamento.

No município de Tucuruí, cuja área está na fronteira da região do arco do desmatamento e é detentor de um grande lago onde está situado uma barragem de geração de energia, a epidemia de DNG ultrapassou os 5.100 casos sendo o segundo município mais afetado pela doença neste período perdendo apenas para Marabá que ultrapassou os 6.300 casos. Além de que todas as endemias analisadas estão presentes nos municípios envolvidos, com registros de anos com surtos epidêmicos no período.

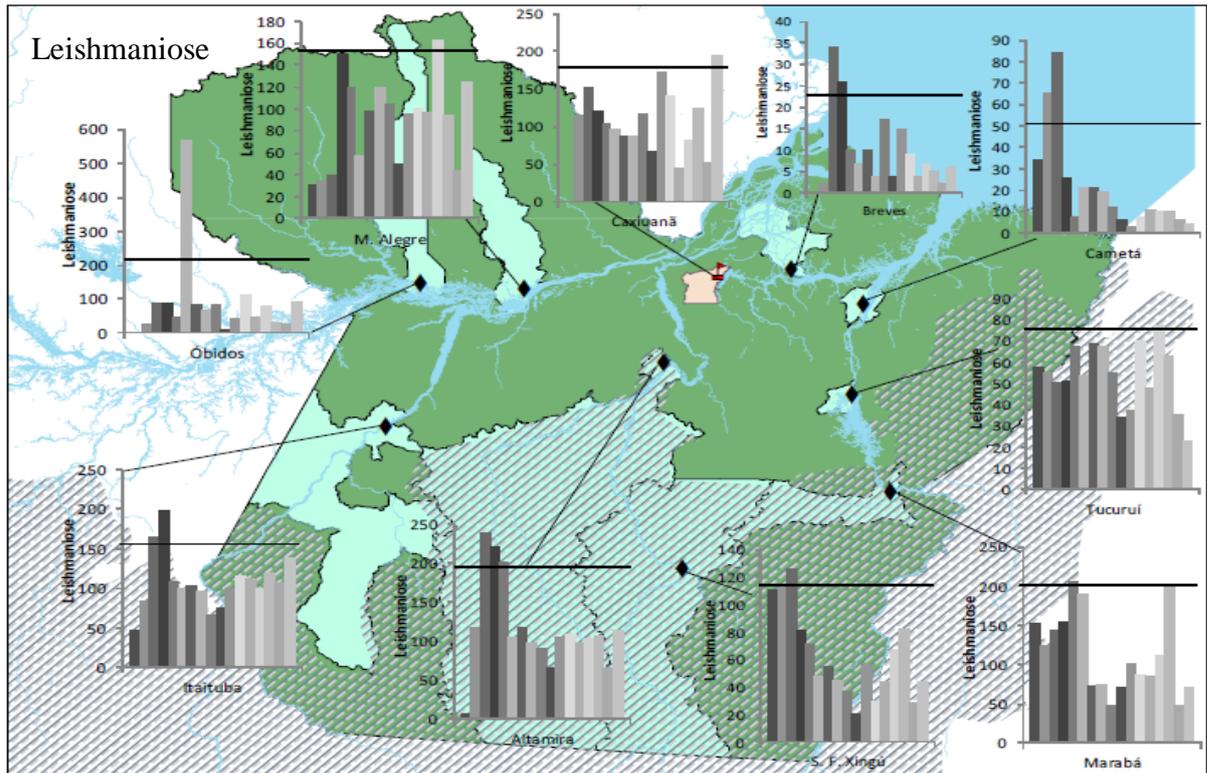
Figura 4- Número de casos de Dengue na área de estudo, durante o período de 2001 a 2017. As linhas horizontais indicam a incidência máxima esperada (IME) em cada município. Os anos com número de casos acima da IME (linha preta) são considerados com surto epidêmico e/ou epidemia.



A LTA é frequente em todos os municípios, com expressivo surto epidêmico em Óbidos no ano de 2006. Breves, Cametá e Tucuruí foram os municípios que apresentaram números abaixo dos 80 casos no período, enquanto que os municípios de Altamira, Marabá, Itaituba e S. F. do Xingú, dentro da região do arco do desmatamento, são municípios que apresentam números expressivos de casos (> 150 casos).

Marabá, Tucuruí, Altamira e São Felix do Xingu tem apresentado um crescimento populacional acentuado nos últimos 20 anos, estes municípios estão localizados na região do arco do desmatamento. Estudo realizado por Cruz (2008), mostra que a LTA apresenta surtos associados ao desmatamento para implantação de setores urbanos com agricultura familiar. Para Gomes (1992) o problema está nos processos migratórios, ocupação de encostas, aglomerados de centros urbanos com deficiência de saneamento e fragilidade sócioeconômica, além do convívio com cães e gatos.

Figura 5- Número de casos de LTA na área de estudo, durante o período de 2001 a 2017. As linhas horizontais indicam a incidência máxima esperada (IME) em cada município. Os anos com número de casos acima da IME (linha preta) são considerados com surto epidêmico e/ou epidemia.



4.3.2 Análise de Componentes Principais

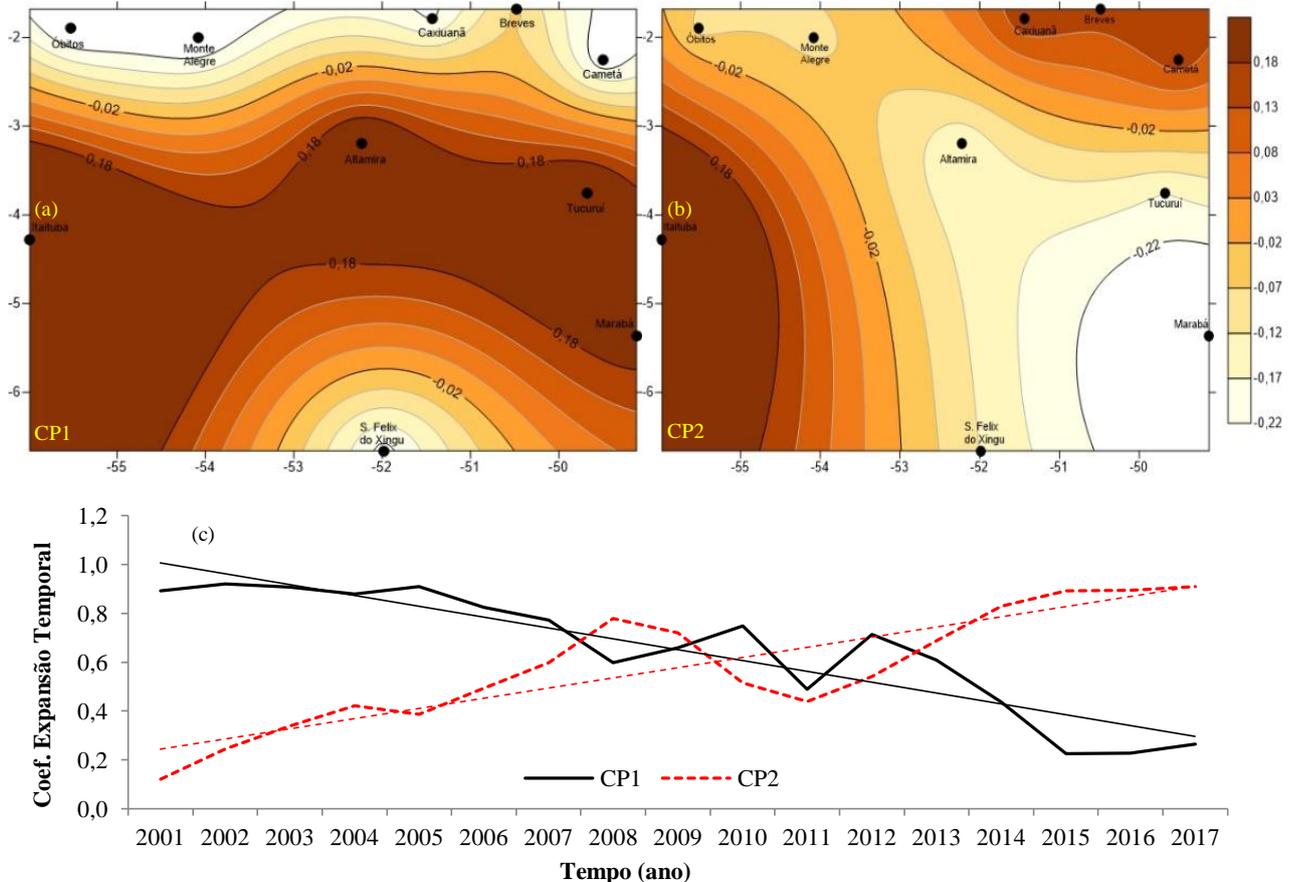
Uma característica zonal das áreas homogêneas para a CP1 dos dados de endemias e clima (Figuras 6a e 6c), com 77% da variância total explicada apresenta as maiores correlações positiva respondendo pelos quatro municípios mais centrais da região, como Itaituba, Altamira, Tucuruí e Marabá. Isto significa que as endemias e o clima se correlacionam de modo positivo, mas com tendência temporal diminuindo ao longo do período (de 2001 a 2017). Isto pode estar representando mudanças de intensidade das relações entre as endemias e o clima, principalmente a partir de 2010.

Os demais municípios São Félix do Xingú, Óbidos, Monte Alegre, Caxiuanã, Breves e Cameté se correlacionam de modo negativo na CP1, ou seja, com variações de sinais entre as variáveis. Neste caso, exceto São Félix do Xingú os demais locais apresentam poucas alterações na superfície e na densidade, além de uma distribuição diferenciada no volume de chuvas por estarem localizados na fronteira da região do arco do desmatamento.

A CP2 com 10% da variância total explicada apresentam as áreas homogêneas de modo diagonal, com correlações negativas nos municípios de Marabá, São Félix do Xingú, Tucuruí, Altamira, Monte Alegre e Óbidos e com as correlações positivas a nordeste e sudoeste da

região (Figura 6b e 6c). Estes padrões espaciais das correlações estão combinados com uma tendência temporal positiva ao longo do período.

Figura 6- Coeficientes dos autovetores (a,b) e autovalores (c) para CP1 (a) com 77% e CP2 (b) com 10% das correlações entre as endemias e o clima na área de estudo, durante o período de 2001 a 2017, com significância de 95% do teste t-Student com suas linhas de tendências.



É importante ressaltar que 87% dos dados são explicados com apenas duas CP que mostram o padrão médio na CP1 e o padrão de condições extremas na CP2. Estudos realizados por Esbensen, (1984), feitos com ACP objetivando investigar padrões espaciais e temporais em diversas escalas, indicam a Oscilação do Atlântico Norte com 37% da variância total explicada no CP1, e 19% no CP2

Obregon e Nobre (1990) usando uma série de 35 anos, também utilizaram duas ACP com dados mensais de chuva em 28 pontos na Amazônia com o ciclo anual inalterado e removido, onde detectaram que a CP1 está associada tanto ao deslocamento da ZCIT quanto ao dipolo do Atlântico e a CP2 sugere estar relacionada a eventos de ENOS.

Para Moura (2014) os meses com valores positivos (negativos) na região sul da Amazônia apresenta maiores volumes de chuva (mais seca) e a região norte mais seca (maiores volume de chuva). Segundo Uvo, (1998), além da influência dos oceanos sobre as

chuvas na Amazônia, é sugestivo que elas (as chuvas) estejam associadas ao padrão da ACP, por estar relacionada com a atuação e o deslocamento da ZCIT. Para Matsuyama et al. (2002), a redução das chuvas reflete o efeito da variabilidade da TSM do Atlântico (dipolo positivo), estando relacionado à fase negativa da Oscilação do Atlântico Norte.

4.4 Conclusões

Este estudo procurou analisar as influências das mudanças climáticas na ocorrência do número de casos de endemias de Dengue, Malária e Leishmaniose em municípios com características geográficas distintas, a partir de uma visão tempo-espço. As endemias de Malária e Leishmaniose são frequentes e estão associadas com as condições climáticas de elevadas chuvas e temperaturas para os municípios de Itaituba, Altamira, Tucuruí e Marabá, além de que são mais frequentes em localidades com características diversas da superfície, como desmatamento, florestas e recursos hídricos abundantes. Uma ACP, com duas componentes principais, representa 87% dos dados originais, com áreas homogêneas zonal na CP1 com a participação dos municípios presentes no arco do desmatamento e na CP2 em áreas diagonais. Surtos epidêmicos são frequentes em quase todas as localidades do estado, durante este período de estudo, ficando na dependência das políticas públicas aplicadas no combate às endemias.

Uma invasão significativa do ambiente selvagem expondo o ser humano a patógenos existentes nos animais silvestres pode desencadear novos tipos e/ou ressurgimento de doenças já erradicadas. A frequente destruição das florestas aproxima do ser humano, animais silvestres que naturalmente possuem vírus em seu organismo, podendo desencadear epidemias a níveis alarmantes.

REFERÊNCIAS

BRAZIL, R. P.; BRAZIL-ROCHA, U.; BRAZIL, B. G. Impact of climatic changes and habitat degradation on *Phlebotominae* (Diptera: *Psychodidae*) distribution and leishmaniasis dispersion in Brazil. In: ISOPS, 7., Brazil, 2011. *Proceedings*[...], p. 25–30.

CONFALONIERI, U. E. C. *Ecossistemas, desmatamento e saúde humana*. Belém: Museu Paraense Emilio Goeldi. Coordenação de Pesquisa e Pós-Graduação, 2003. 33p. (Ideias e Debates, 4).

CONFALONIERI, U. E. C.; MARGONARI, C.; QUINTÃO, A. F. Environmental change and the dynamics of parasitic disease in the Amazon. *Acta Tropica*, n. 129, p.33-41, 2014. DOI:10.1016/j.actatropica.2013.09.013.

CRUZ, M. F. R. *Estudo epidemiológico da Leishmaniose Tegumentar Americana (LTA), no município de Itambaracá, região norte do estado do Paraná, Brasil, em áreas do complexo hidrelétrico da bacia do Rio Paranapanema, 2004 a 2006*. 2008. 168f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

ESBENSEN, S.K. A comparison of intermonthly and interannual teleconnections in the 700 mb geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. *Monthly Weather Review*, 112, p. 2016–2032, 1984.

FERREIRA, D. F. *Estatística multivariada*. 1. ed. Lavras: UFLA, 2008.

GOMES, A. C. Perfil epidemiológico da leishmaniose tegumentar no Brasil. *An. Bras. Dermatol.*; v. 67,(suppl. 2), p. 55-60, 1992.

GUIA de vigilância em saúde. 1. ed. atual. Brasília,DF: Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação de Desenvolvimento da Epidemiologia em Serviços. ISBN 978-85-334-2179-0. 2016. [recursos eletrônico].

LIMA, M. V. M.; LAPORTA, G. Z. Evaluation of the models for forecasting dengue in Brazil from 2000 to 2017: an ecological time-series study. *INSECTS*, v. 11, n.11, p. 794, 2020. Doi:10.3390/insects11110794.

LORENZ, C.; AZEVEDO, T. S.; VIRGINIO, F.; AGUIAR, B. S.; CHIARAVALLOTTI-NETO, F.; SUESDEK, L. Impact of environmental factors on neglected emerging arboviral diseases. *PLoS, Neglected Tropical Disease*, v.11, n.9, p.e0005959, 2017. Doi.org/10.1371/journal.pntd.0005959.

MOURA, M. N. *Padrões climáticos de precipitação e a produção de soja na Amazônia*. 2014. 94 f. Dissertação (Mestrado) - PPGCA-IG/UFGA/EMBRAPA/MPEG, Universidade Federal do Pará, Belém-Pará, 2014.

MATSUYAMA, H.; MARENGO, J. A.; OBREGON, G. O.; NOBRE, C. A. Spatial and temporal variabilities of rainfall in tropical south America as derived from climate prediction center merged analysis of precipitation. *International Journal of Climatology*, 22, p. 175–195, 2002.

MOURÃO, C. E. F.; ANGELO, J.; PILOTTO, I.; NORA, E. D.; BARBOSA, A. Análise espaço-temporal dos fatores ambientais associados à incidência de malária na região da Amazônia legal brasileira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16., 2010, Belém-Pa. *A Amazônia e o Clima Global*. Belém-Pa: CBMet, 2010.

NOBRE, C. A.; ASSAD, E. D.; OYAMA, M. D. Mudança ambiental no Brasil: o impacto do aquecimento global nos ecossistemas da Amazônia e na agricultura. *Scientific American Brasil*, Em Terra na Estufa, ed. especial, n° 12, v.80, p. 70-75, 2005.

NUNES, B. B. S.; MENDES, P. C. Clima, ambiente e saúde: um resgate histórico. *Caminhos de Geografia*, v. 13, n. 42, p. 258-269, 2012. ISSN 1678-6343.

OBREGON, G. O.; NOBRE, C.A. Principal component analysis of precipitation fields over the Amazon river basin. *Climanálise*, v. 5, n.7, p. 35–46, 1990.

PINHEIRO, F. G.; LUZ, S. L. B.; FRANCO, A. M. R. Infecção natural por tripanosomatídeos (Kinetoplastida: Trypanosomatidae) em *Lutzomyia umbratilis* (Diptera: Psychodidae) em áreas de leishmaniose tegumentar americana no Amazonas, Brasil. *Acta Amaz.*, Manaus, v.38, n.1, 2008. Doi: 10.1590/S0044-59672008000100019. ISSN 1809-4392.

PEREIRA, M. G. *Epidemiologia: teoria e prática*. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Koogan, 2012. 258p.

PUCCIONI-SOEHLER, M. *et al.* Neurologic dengue manifestations associated with intrathecal specific immune response. *Neurology*, v.73, p. 1413-1417, 2009.

PUCCIONI-SOEHLER, M.; ROVERONI, N.; ROSADAS, C.; FERRY, F.; PERALTA, J. M.; TANURI, A. Dengue infection in the nervous system: lessons learned for Zika and Chikungunya. *Arquivos de Neuropsiquiatria*; v. 75, n° 2, p:123-126, 2017. Doi: 10.1590/0004-282X20160189.

ROSS, T. M. *Dengue vírus*. [S.l.]: Clin. Lab. Med. 2010. p.149-160. Doi: 10.1016/j.cll.2009.20.007 0272-2712/10/\$.

SILVA, J. P.; PIMENTEL, M. A. S.; JARDIM, M. A. G. Associações entre as condições sanitárias e a incidência da febre do Chikungunya no município de Belém, Pará, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 12, p. 2177, 2019.

SNOW, R. W.; SARTORIUS, B.; KYALO, D.; MAINA, J.; AMRATIA, P.; MUNDIA, C. W.; BEJON, PHILIP.; NOOR, A. M. The prevalence of plasmodium falciparum in Sub-Saharan Africa since 1900. *Nature*. Letter, 2017. Doi: 10.1038/nature24059.

TAUIL, P. L. Controle de doenças transmitidas por vetores no sistema único de saúde. *IESUS*. Editorial, v. 11, n. 2, p. 59-60, 2002.

UVO, C. B. The Relationships between Tropical Pacific and Atlantic SST and Northeast Brazil Monthly Precipitation. *Journal of Climate*, v. 11, p. 551-562. 1998.

WILKS, D. S. *Statistical methods in the atmospheric sciences*. Amsterdam: Elsevier, 1995. 661p. (International Geophysics Series, 100).

CAPÍTULO 5 DISCUSSÕES GERAIS

As mudanças climáticas afetam a saúde humana principalmente por meio de modificações nos padrões das doenças (Malária, Dengue, Leishmaniose tegumentar americana e arboviroses) transmitidas por mosquitos vetores. Isto se deve as alterações nas condições ambientais mais propensas à reprodução, evolução e a sobrevivência de patógenos e vetores, tendendo a acelerar os ciclos de transmissão bem como ampliar suas áreas de distribuição geográfica, tanto para altitudes quanto para latitudes maiores.

A elevação continuada nos níveis da concentração de CO₂ atmosférico que concorrem para manter a atmosfera aquecida pelo acúmulo das temperaturas elevadas e os acentuados impactos ambientais, estão ocasionando estas altas temperaturas assim como as várias consequências de um clima mais quentes, (MARENCO, 2006). A preocupação está em uma provável expansão da região de ocorrência de doenças transmitidas por insetos vetores, para países característicos de clima temperado.

A Floresta Amazônica e as zonas úmidas registram em sua região a maioria dos casos de malária (≈98%) e de hanseníase (≈35%) além da segunda maior taxa de tuberculose das regiões do país (CONFALONIERI, 2005) e na sua parte ocidental, uma área hiperendêmica para hepatites virais fulminantes (BENSABATH; SOARES, 2004).

As alterações antrópicas no ambiente natural continuam facilitando a formação de *habitat* favoráveis à disseminação de mosquitos vetores, sendo o desflorestamento (NORRIS, 2004), crescimento urbano desordenado (CONFALONIERI, 2005) e a prática do desmatamento (GITHEKO et al., 2000; PARENTE; SOUZA; RIBEIRO, 2012; SILVA; PIMENTEL; JARDIM, 2019; SILVA-NUNES et al., 2008) fatores associados a dinâmica das doenças infecciosas, especialmente às relacionadas aos mosquitos, tais como Malária, Leishmaniose, Dengue, Chikungunya, Zika e arboviroses. Por isso, preservando ecossistemas intactos e sua biodiversidade predominante, geralmente se diminui a dominância de doenças infecciosas (KEESING et al., 2010), pois uma redução nos níveis da biodiversidade local tende a afetar a transmissão de endemias.

Processos infecciosos (os virais) locais da região dependem de insetos hematófagos para a sua transmissão, pois quanto maior a biodiversidade da região, maiores os riscos de evolução desses processos (WOLFE et al., 2000). Num total de 504 arbovírus catalogados, 26,9% foram isolados na América do Sul (134), sendo 84 na Amazônia onde 29 são transmitidos para o ser humano ou animais domésticos (DÉGALLIER et al., 1987). Além de que já foi identificada uma proteína nas pernas dos mosquitos portadores do vírus da malária,

que confere ao inseto resistência aos inseticidas que frequentemente são usados em mosquiteiros (CATTERUCCIA, 2019).

5.1 Resultados chaves

Evidenciam-se modificações no clima da região de estudo devido a elevação sistemática da temperatura média do ar e das chuvas nas últimas 4 décadas, mostrando que florestas primárias ainda respondem significativamente a modificações em sua estrutura, principalmente devido a mudança no uso do solo. Com estas modificações no clima, a distribuição das endemias se caracteriza de acordo com sua evolução dentro do cenário geográfico regional, a Dengue e Malária apresentam associação direta e (dependendo da intensidade destas alterações) sugerem promover epidemias. Durante o período analisado, a distribuição e evolução da Leishmaniose no estado do Pará mostraram-se não ter associação direta as alterações no clima, porém a elevação acima do normal na temperatura média do ar fez com que a densidade de mosquitos do gênero *Lutzomyia* apresentasse aumento expressivo em sua densidade.

5.2 Prioridades para pesquisas futuras

Como sugestões para pesquisas futuras, onde se associa endemias vs clima, sugerem-se a abordagem das pesquisas na alteração do clima e seus efeitos em endemias que mais acometem o ser humano na Amazônia inclusive as negligenciadas. Um monitoramento da evolução destas endemias se faz necessário, pois a cada adversidade do clima ou grandes migrações, registra-se elevação no número de doenças existentes e/ou de baixa frequência. Entretanto, não se pode deixar de estudar fatores ambientais que concorrem para uma alteração na climatologia local, tais como a poluição do ar que tem como uma das causas à queima de combustíveis fósseis, como os incêndios que ocorrem todos os anos na Amazônia e que contribuem para lançar para a atmosfera materiais particulados.

Com a produção de materiais particulados (MP) em seus diversos tamanhos (MP₁₀, MP_{2,5} e etc.), estes poluentes microscópicos contaminam a atmosfera e quando respirados e/ou inalados, penetram no organismo humano concorrendo para causar danos respiratórios, cardíaco e nervoso promovendo óbito do indivíduo (por câncer, AVC, cardiopatias e problemas respiratórios). Os maiores números destes casos ocorrem em países pobres e subdesenvolvidos por deterem os maiores índices de emissões de poluentes e um cenário de

alta fragilidade e vulnerabilidade social, principalmente nas políticas desenvolvidas para solucionar o problema.

5.3 Considerações finais

Apesar das mudanças climáticas e ambientais ocorridas no estado estarem concorrendo para modificar a geografia e a climatologia local influenciando nos índices das endemias, sugere-se que os padrões devem ser setorizados para cada localidade, pois cada município tem seu padrão climático característico devido sua geografia e o manejo do solo, tendendo a contribuir para a manutenção do quadro de morbidades. Não é aconselhável generalizar o quadro das endemias (principalmente os casos de malária) devido às realidades da região.

A cada dia, o Planeta esquenta mais e as temperaturas tendem a subir vertiginosamente, causando influencia na disponibilidade de comida, na reprodução das espécies, nas rotas de migrações e nos *habitats*. Parar com as agressões a natureza passou a ser essencial, não só para a preservação das espécies mas, principalmente para o bem estar do ser humano. Pelo atual cenário epidemiológico global, caso não ocorra um controle sobre o comportamento do ser humano, em relação ao meio ambiente, A pandemia de hoje será somente uma diante de outras novas que poderão surgir, isso tudo devido as nocivas ações humanas sobre o meio ambiente que influencia diretamente na biodiversidade.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, D. C.; ROMERO, A. R. *Serviços ecossistêmicos e sua importância para o sistema econômico e o bem-estar humano*. Texto para discussão. Campinas: IE/UNICAMP, v. 155, p. 1-43, 2009. N.155.ISSN 0103-9466.
- ARAÚJO, R. A. de S. *Aquecimento global e as consequências sobre as endemias transmitidas por vetores no Brasil*. 2007. 105f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) - Fundação Escola de Sociologia e Política de São Paulo- FESP-São Paulo, 2007.
- BALE, J.; MASTERS, G. J.; HODKINSON, I. D.; AWMACK, C.; BEZEMER, T. M.; BROWN, V.; BUTTERFIELD, J.; BUSE, A.; COULSON, J. C.; FARRAR, J.; GOOD, J. G.; HARRINGTON, R.; HARTLEY, S.; JONES, T. R.; LINDROTH, R. L.; PRESS, M.; SYMRNIODIS, I.; WATT, A.; WHITTAKER, J. Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global Change Biology*, v.8, p. 1–16, 2002.
- BERBERT, C. O. In: CARDOSO, A. L. R. *Caxiuanã, história natural e ecologia de uma floresta nacional da Amazônia*. Belém-PA: MPEG, 2013. ISBN: 978-85-61377-59-5.
- BENSABATH, G.; SOARES, M. C. P. “A evolução do conhecimento sobre hepatites virais na região Amazônica: da epidemiologia e etiologia à prevenção”. *Rev. Soc. Bras.Med. Trop.* v. 37(supl. II), p.14-36. 2004.
- BLANCHE, K. R. Diversity of insect-induced galls along a temperature-rainfall gradient in the tropical savannah region of the Northern Territory, Australia. *Austral Ecology*, n. 25, p 311-318, 2000.
- CHAZDON, R. L.; BRANCALION, P. H. S.; LAESTADIUM, L.; BENNETT-CURRY, A.; BUCKINGHAM, K.; KUMAR, C.; MOLL-ROCEK, J.; VIEIRA, I. C. G.; WILSON, S. J. When is a forest a forest? Forest concepts and definitions in the era of forest and landscape restoration. *The Royal Swedish Academy of Science*, 2016. Doi: 10.1007/s13280-016-0772-y. *Ambio*.
- CATTERUCCIA, F. Mosquitoes get a leg up on insecticides. *Nature, News e Views*, <https://doi.org/10.1038/d41586-019-03728-5>, 2019.
- CONFALONIERI, U. E. C. Saúde na Amazônia: um modelo conceitual para a análise de paisagens e doenças. *Estudos Avançados*, v. 19, n. 53, p. 221-236, 2005.
- CONFALONIERI, U. E. C.; MARGONARI, C.; QUINTÃO, A. F. Environmental change and the dynamics of parasitic disease in the Amazon. *Acta Tropica*, n. 129, p.33-41, 2014. Doi:10.1016/j.actatropica.2013.09.013.
- DARWIN, C. *A origem das espécies por meio da seleção natural, ou, a preservação das raças favorecidas na luta pela vida*: tomos I, II e III. Tradução de André Campos Mesquita. São Paulo: Editora Escala, 2009. ISBN 978-85-7556-987-0, 1859.
- DRAGHI, J. A. *et al.* Mutational robustness can facilitate adaptation. *Nature, Letter*, v.463, p.353-355, Jan. 2010. Doi:10.1038/nature08694, 2010.

DÉGALLIER, N.; HERVEÉ, J. P.; ROSA, A. P. A. T.; VASCONCELOS, P. F. C.; ROSA, J. F. S. T.; SÁ FILHO, G. C. A ecologia dos arbovírus na Amazônia – pesquisas atuais e perspectivas. *Hiléia Médica*, Belém-PA, v. 8, n.1, p. 47-50, 1987.

ESQUIVEL-MUELBERT, A. *et al.* Compositional response of Amazon forest to climate change. Primary research article. *Global change Biology*, Doi: 10.1111/gcb.14413, 2018.

FIGUEROA, S. N.; NOBRE, C. A. Precipitations distribution over central and western tropical south america. *Climanálise – Boletim de Monitoramento e Análise Climática*, v.5, n.6, p. 36-45, 1990.

FISH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. *Acta Amazonica*, v.28, n.2, p.101-126, 1998.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE - FUNASA. *Controle de vetores da febre amarela e dengue*. Instruções para pessoal de operação. 1. ed. Brasília,DF: Ministério da Saúde, 1994. (Normas Técnicas).

GALINDO, P. *et al.* The abundance cycles of arboreal mosquitoes during six years at a sylvan yellow fever locality in Panama. *Ann. Entomol. Soc. Am.* v.49, p.543:547, 1956.

GASH, J. H. C.; NOBRE, C. A. "Climatic effects of Amazonian deforestation: some results from abraços". *Bulletin of the American Meteorological Society*, v.78, n.5, p.823-830, 1997.

GITHEKO, A. K.; LINDSAY, S. W.; CONFALONIERI, U. E.; PATZ, J. A. Climate change and vector-borne diseases: a regional analysis. *Bulletin of the World Health Organization*, v. 78, n.9, p.1136-1147, 2000.

HANSEN, M. C.; POTAPOV, P. V.; MOORE, R.; HANCHER, M.; TURUBANOVA, S. A.; TYUKAVINA, A.; THAU, D.; STEHMAN, S. V.; GOETZ, S. J.; LOVELAND, T. R.; KOMMAREDDY, A.; EGOROV, A.; CHINI, L.; JUSTICE, C. O.; TOWNSHEND, J. R. G. High-resolution global maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science*, v. 342, 2013; 10.1126/science.1244693.

HERZOG, A. L.; VIEIRA, R. A Amazônia em risco. *Revista EXAME*. Ed. 1141, Ano 51, n. 13, p. 26-39, 2017.

HOCH, A. L. *et al.* No Outbreak of Mayaro virus disease in Belterra, Brazil. III-Entomological and Ecological Studies. *Am. J. Trop. Méd. Hyg.*, v. 30, n. 3, p. 689, 1981.

HOFFMANN A. A.; SGRÒ, C. M. Climate change and evolutionary adaptation. *Nature, Review*, v. 470, n. 7335, p. 479-485, 2011. Doi:10.1038/nature09670.

HUETE, A. Vegetation's responses to climate variability. *Nature, News e Views (Research)*, v. 531, n. 7593, p. 181-182, 2016.

JONES, J. W. *et al.* Seasonal distribution, biology and human attraction patterns of Culicinae Mosquitoes (Diptera: Culicidae) in a forest near Puerto Almendras, Iquitos, Peru. *J.med. Entomol.*, v. 41, n.3, p.349-360, 2004.

KEESING, F.; BELDEN, L. K.; DASZAK, P.; DOBSON, A.; HARVELL, C. D.; HOLT, R. D.; HUDSON, P.; JOLLES, A.; JONES, K. E.; MITCHELL, C. E.; MYERS, S. S.; BOGICH, T.; OSTFELD, R. O. Impacts of biodiversity on the emergence and transmission of infectious diseases. *Nature, Review*. v 468, n. 647, 2010. Doi:10.1038/nature09575.

LAPORTA, G. Z.; SALLUM, M. A. M. Effect of CO₂ and 1-octen-3-ol attractants for estimating species richness and the abundance of diurnal mosquitoes in the southeastern Atlantic forest, Brazil. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz*, Rio de Janeiro, v. 106, n.3, p. 279-284, 2011.

LEWIS, O. T.; GRIPENBERG, S. Insect seed predators and environmental change. *Journal of Applied Ecology*, v.45, p.1593-1599, 2008. Doi: 10.1111/j.1365-2664.2008.01575.x, (British Ecological Society).

LINES, J. The effects of climatic and land-use changes on insect vectors of human disease. In: SYMPOSIUM OF THE ROYAL ENTOMOLOGICAL SOCIETY OF LONDON, 17 th 1993, London, San Diego. *Proceedings*[...] London, San Diego : Academic Press, (insects in a changing environment).

LINDSAY, S. W.; BAYOH, M. N. Mapping members of the *Anopheles gambiae* complex using climate data. *Physiological Entomology*, v.29, n.3, p.204-209, 2004. (The Royal Entomological Society).

MARENGO, J. Interannual variability of surface climate in the Amazon basin. *International Journal of Climatology*, v.12, n.8, p. 853-863, 1992.

MARENGO, J. A. *Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI*. Brasília,DF: MMA; IBAMA, 2006.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; TOMASELLA, J. The drought of Amazonia in 2005. *American Meteorological Society*, v. 21, p. 495-516, 2008. Doi: 10.1175/2007JCLI1600.1.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE- MMA. *Biodiversidade brasileira: avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros*. Secretária de biodiversidades e florestas; Brasília-DF, 2002. 404p.

MUSOLIN, D. L. Insects in a warmer world: ecological, physiological and life-history response of true bugs (heteroptera) to climatic change. *Global Change Biology*, v.13, n. 8, p. 1565-1585, 2007. Doi: 10.1111/j.1365-2486.2007.01395.x.

NEWBOLD, T. *et al.* Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. *Nature*, v.520, 2015. Doi:10.1038/nature14324.

NOBRE, C. A.; ASSAD, E. D.; OYAMA, M. D. Mudança ambiental no Brasil. Em Terra na Estufa, ed. especial Scientific American Brasil. n. 12, p. 70-75, 2005.

NOBRE, A. D. *O futuro climático da Amazônia: relatório de avaliação científica*. São José dos Campos: ARA – Articulação Regional Amazônica, 2014.

NORRIS, D. E. Mosquito-borne diseases as a consequence of land use change. *Ecohealth*. v. 1, n.1, p. 19-24, 2004.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA PNUMA - IPCC. *Mudança do clima: impactos, adaptação e vulnerabilidade - contribuição do grupo de trabalho II ao quarto relatório de avaliação do painel intergovernamental sobre mudança do clima - sumário para os formuladores de políticas*. [S.l.], 2007a.

PARENTE, A. T.; SOUZA, E. B.; RIBEIRO, J. B. M. A ocorrência de Malária em quatro municípios do estado do Pará, de 1988 a 2005, e sua relação com desmatamento. *Acta Amazonica* (Impresso) JCR, v.42, n.1, p.41-48, 2012.

PAGE, W. A. Observations on man-biting mosquitos in Jamaica. *Proceedings of the Royal Entomological Society of London A*, v.42, p. 180-186, 1967.

PINTO, C. S. *Ecologia de culicídeos vetores de febre amarela silvestre em relação ao microclima na floresta nacional de Caxiuanã-Melgaço-PA*. 2007. 85f. Dissertação (Mestrado em Zoologia) - MPEG, Belém-PA, 2007.

PITTENDRIGH, C. S. The ecoclimatic divergence of *Anopheles bellator* and *A.homunculus*. *Evolution*, v.4, n.1, p.43-63, 1950.

POHLKER, C. *et al.* Biogenic potassium salt particles as seeds for secondary organic aerosol in the Amazon. *Science*, v.337, p.1075-1078, 2012.

PUCCIONI-SOEHLER, M. *et al.* Neurologic dengue manifestations associated with intrathecal specific immune response. *Neurology*, v.73, p. 1413-1417, 2009.

ROSENZWEIG, C. *et al.* Attributing physical and biological impacts to anthropogenic climate change. *Nature*, v. 453. p.353-357, 2008. Doi: 10.1038/nature06937.

SILVA, J. P.; PIMENTEL, M. A. S.; JARDIM, M. A. G. Associações entre as condições sanitárias e a incidência da febre do Chikungunya no município de Belém, Pará, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 12, p. 2177, 2019.

SILVA-NUNES, M.; CODECO, C. T.; MALAFRONTA, R.S.; SILVA, N. S.da; JUNCANSEN, C.; MUNIZ, P. T.; FERREIRA, M. U. Malaria on the Amazonian frontier: transmission dynamics, risk factors, spatial distribution, and prospects for control. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, v.79, n.4, p. 624–635, 2008.

SHAH, ANUP. "Loss of Biodiversity and Extinctions". *Global Issues*. 2013.

SOUTO, R. N. P. *Sazonalidade de Culicídeos (Diptera: Culicidae) e tentativa de isolamento de arbovírus em floresta e savana no estado do Amapá*. 1994. [90f.]. Dissertação (Mestrado) – MPEG, UFPA, Belém, 1994.

SOUZA, W. J. S.; SILVA, R. B. C.; BARRETO, P. N. Estudo da radiação solar e precipitação na floresta nacional de Caxiuanã. In: LISBOA, Pedro L. B. (org.). *Caxiuanã, desafios para a conservação de uma floresta nacional na Amazônia*. Belém: MPEG, 2009. p. 99-106.

STANDFAST, H. A.; BARROW, G. J. Studies on the epidemiology of arthropod borne virus infections at Mitchell River Mission, Cape York Peninsula, North Queensland. 1. mosquito collections, 1963-1966. *Transactions of the Royal Society for Tropical Medicine and Hygiene*. v. 62, p.418-429, 1968.

TAUIL, P. L. Controle de doenças transmitidas por vetores no sistema único de saúde. *IESUS*. Editorial, v. 11, n. 2, p. 59-60, 2002.

TURNER, I. M. *The ecology of trees in the tropical rain forest*. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.

TONG, S. *et al.* Climate variability, social and environmental factors and Ross River virus transmission – overview of research development and future research needs. *Environmental Health Perspectives*, v.116, n. 12, p.1591-1597, 2008.

TRUMBORE, S. *et al.* Forest health and global change. *Science*, Doi: 10.1126/science.aac6759. 2015.

WILSON, R. J.; MACLEAN, I. M. D. Recent evidence for the climate change threat to Lepidoptera and other insects. *Journal Insect Conservation*, v.15, n.1, p.259–268, 2011. Doi: 10.1007/s10841-010-9342-y.

WOLDA, H.; GALINDO, P. Population fluctuations of mosquitoes in the nonseasonal tropics. *Ecol. Entomol.*, v.6, n.1, p. 99-106, 1981.

WOLFE, N. D.; EITEL, M. N.; GOCKOWSKI, J.; MUCHAAL, P. K.; NOLTE, C.; PROSSER, A. T.; TORIMIRO, J. N.; WEISE, S. F.; BURKE, D. S. “Deforestation, Hunting and the Ecology of Microbial Emergence”. *Global Change & Hum. Health*, v.1, n.1, p.10-25, 2000.

WWF. Living Planet Report 2016. *Risk and resilience in a new era*. 2016. <https://climate.nasa.gov>, Acessado em 12/08/2017

WWF. Relatório Planeta Vivo. *Sumário Executivo*. 2014.