



Universidade Federal do Amapá
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais



PEDRO HUGO OLIVEIRA MOREIRA

**ANÁLISE DE ELEMENTOS METEOROLÓGICOS COMO SUBSÍDIO AO ESTUDO
DA ILHA DE CALOR NA ZONA URBANA DE MACAPÁ-AP**

MACAPÁ - AP

2020

PEDRO HUGO OLIVEIRA MOREIRA

ANÁLISE DE ELEMENTOS METEOROLÓGICOS COMO SUBSÍDIO AO ESTUDO DA
ILHA DE CALOR NA ZONA URBANA DE MACAPÁ-AP

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Ciências Ambientais
(PPGCA) da Universidade Federal do
Amapá, como requisito parcial à
obtenção do título de Mestre em
Ciências Ambientais.

Orientador: Dr. Antonio Carlos Lôla da
Costa

Co-Orientador: Dr. Alan Cavalcanti da
Cunha

MACAPÁ - AP

2020

PEDRO HUGO OLIVEIRA MOREIRA**ANÁLISE DE ELEMENTOS METEOROLÓGICOS COMO SUBSÍDIO AO ESTUDO DA
ILHA DE CALOR NA ZONA URBANA DE MACAPÁ-AP**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) da Universidade Federal do Amapá, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Aprovada em ____ de _____ de ____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Antonio Carlos Lôla da Costa – Universidade Federal do Pará (UFPA) - Orientador

Prof. Dr. Alan Cavalcanti da Cunha – Universidade Federal do Amapá (UNIFAP) –
Coorientador

Prof. Dr. João de Athaydes Silva Junior – Universidade Federal do Pará (UFPA)

Profa. Dra. Ana Paula Nunes da Silva – Universidade Estadual do Amapá (UEAP)

Prof. Dr. Alaam Ubaiara Brito - Universidade Federal do Amapá (UNIFAP)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida e pela oportunidade de crescimento diário e a meus familiares, em Especial minha mãe Regilene e meu pai de criação Adriano, pelo carinho e apoio fundamental, inclusive nos trabalhos de campo, assim como meu pai Wander pela vida. A meus irmãos Eduardo Cortêz, Manoela Cortêz e Isabela Moreira.

Agradeço ao Prof. Alan Cunha pela dedicação e o empenho, além do aprendizado em ser um cientista melhor e ao Prof. Antonio Lola por me aceitar como seu orientando e oportunizar minha entrada no mundo da pesquisa, além de disponibilizar, por meio do Instituto de Geociências, os equipamentos necessários para a realização do trabalho de campo.

Agradeço aos meus amigos de caminhada espiritual, pelo apoio a força, a troca de experiências e afeto, pela oportunidade de crescimento como Espírito imortal que somos. Bem como aos meus colegas de trabalho profissional, em especial a Profa. Nilzana, que me liberou para a realização deste Mestrado.

Ao Prof. João Athaydes, do Instituto de Geociências da UFPA, pelo apoio, o aprendizado, a disponibilidade dos equipamentos para os experimentos de campo e sua solicitude na solução de dúvidas em relação ao método experimental. Ao NHMET pela disponibilidade de dados meteorológicos, em especial na pessoa de Gilvan Portela, pela sua solicitude e apoio na instalação do equipamento no Museu Sacaca e ao Dr. Yang por disponibilizar a versão atualizada do RCLimDex e suas instruções de uso.

Ao Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) pelos conhecimentos adquiridos nesta caminhada, bem como ao Laboratório de Química, Saneamento e Modelagem de Sistemas Ambientais (LQSMSA/UNIFAP), pelas bolsas produtividade do CNPq e Processo No. 309684/2018-8 e Processo No. 457914/2013 - 0.

Ao Prof. Maurício que permitiu a instalação do Micrologger e o suporte na segurança do equipamento no ponto da Lagoa dos Índios. A Sra. Maria Raimunda, ao Ivan, ao Márcio Costa e funcionárias que permitiram a instalação e também protegeram o sensor na APA do Curiaú. Ao senhor Gerson que disponibilizou o seu sítio para realização do experimento no Marabaixo. Aos colegas das turmas 2018 e 2017 que participaram do primeiro trabalho de campo, e, em especial aos colegas Raphael Arêde, Daniel Alves, Jorge Angelo, Liana Belúcio que participaram do segundo e do terceiro trabalho de campo.

RESUMO

MOREIRA, P. H. O. **Análise de elementos Meteorológicos como subsídio ao estudo da Ilha de calor urbana em Macapá-AP.** 82 f. Dissertação – Departamento de Meio Ambiente e Desenvolvimento, Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2020.

A ilha de calor urbana, fenômeno global é definida como uma região da cidade termicamente mais quente em relação ao seu entorno. Esta pesquisa tem como objetivo analisar espaço-temporalmente os elementos meteorológicos associados ao clima urbano na cidade de Macapá no período entre 1960 e 2018, utilizando-se índices de tendência climáticas a partir de aplicativos de análise climática de longa duração e técnicas de geoprocessamento para análise espacial de respostas dos elementos meteorológicos. A metodologia consiste nas seguintes etapas: a) análise temporal de longa duração em Macapá, usando índices de tendência climáticas recomendados pela Organização Meteorológica Internacional (WMO), por meio de dados obtidos da Estação Meteorológica da Fazendinha no período entre 1968-2018, e analisada numericamente através do software RClimDex®, b) análise espacial para classificar os atributos físicos de superfície utilizando-se técnicas de GIS: Máxima Verossimilhança (MAXVER), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) e Normalized Difference Build-up Index (NDBI). Além disso, há a coleta de dados de superfície de solo em campo, e medidas das variáveis físicas, por meio de sensores de temperatura do ar e umidade relativa do ar em nove localidades distribuídas na capital amapaense. A distribuição dos sítios amostrais ocorreu nos eixos Nordeste-Sudeste e Leste-Oeste. A coleta das variáveis meteorológicas ocorreram em três períodos distintos: chuvoso (abril), transição (junho) e seco (novembro), com o objetivo de testar estatisticamente os efeitos da sazonalidade sobre os elementos meteorológicos medidos. Os resultados indicam uma maior quantidade de dias e noites mais quentes e menor quantidade de dias e noites frias. A análise espacial integrada, obtida de monitoramento de campo, mostra diferenças estatisticamente significativas da umidade relativa do ar e da temperatura do ar. Conclui-se que houve variações sazonais significativa dos elementos meteorológicos e associadas com a distribuição espacial das diferentes estações meteorológicas monitoradas, sugerindo uma tendência de formação do fenômeno “Ilha de Calor em Macapá”, porém, aparentemente suavizada pelo provável efeito de brisas fluviais oriundas do rio Amazonas que tendem a reduzir o “aquecimento do solo”.

Palavras-chave: Ilha de calor urbana, análise espaço-temporal, Amapá, Macapá.

ABSTRACT

MOREIRA, P. H. O. **Meteorological elements analysis as subsidy to the study of the urban heat island in Macapá-AP.** 82 p. Master Thesis – Department of Environment and Development, Federal University of Amapá, Macapá, 2018.

The urban heat island, a global phenomenon, is defined as a region of the city that is thermally warmer in relation to its surroundings. This research aims to space-time analyze the meteorological elements associated with the urban climate in the city of Macapá between 1960 and 2018, using climate trend indices from long-term climate analysis software and geoprocessing techniques for analysis response of meteorological elements. The methodology consists of the following steps: a) long-term temporal analysis in Macapá, using climate trend indexes recommended by the International Meteorological Organization (WMO), using data obtained from the Fazendinha Meteorological Station between 1968-2018, and analyzed numerically using RClimDex® software, b) spatial analysis to classify the physical surface attributes using GIS techniques: Maximum Likelihood (MAXVER), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Normalized Difference Build-up Index (NDBI). In addition, there is the collection of soil surface data in the field, and measurements of physical variables, by means of air temperature and relative humidity sensors in nine locations distributed in the Amapá capital. The sampling sites were distributed along the Northeast-Southeast and East-West axes. The collection of meteorological variables occurred in three different periods: rainy (April), transition (June) and dry (November), with the aim of statistically testing the effects of seasonality on the measured meteorological elements. The results indicate a greater number of hotter days and nights and a smaller amount of cold days and nights. The integrated spatial analysis, obtained from field monitoring, shows statistically significant differences in air relative humidity and air temperature. It is concluded that there were significant seasonal variations of the meteorological elements and associated with the spatial distribution of the different monitored meteorological stations, suggesting a trend of formation of the phenomenon “Ilha de Calor em Macapá”, however, apparently smoothed by the probable effect of river breezes coming from the Amazon River that tend to reduce “soil warming”.

Keywords: Urban heat island, space-time analysis, Amapá, Macapá.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	1
2 OBJETIVOS	6
2.1 Geral	6
2.2 Específicos	6
3 REFERENCIAL TEÓRICO	7
3.1 Ilha de calor urbana e índices climáticos em um contexto global	7
3.2 Ilha de calor urbana e índices climáticos em escala nacional e local	9
4 MATERIAL E MÉTODOS	11
4.1 Fluxograma com as principais etapas metodológicas da presente pesquisa	11
4.2 Coleta de dados	12
4.2.1 Trabalho de campo	12
4.2.2 Caracterização da área de estudo	13
4.2.3 Análise dos dados	20
5 ÍNDICES DE TENDÊNCIAS CLIMÁTICAS DE LONGO PRAZO ASSOCIADOS À ILHA DE CALOR EM ZONA URBANA NA AMAZÔNIA ORIENTAL	22
5.1 Materiais e métodos	26
5.1.1 Caracterização climática e área de estudo	26
5.1.2 Dados utilizados e variação de tendência climática	27
5.1.3 Parametrização e aplicação do modelo RCLimDex/IPCC	29
5.2 Resultados Encontrados	31
5.3 Considerações sobre os índices climáticos em Macapá (1968-2018)	40
6 VARIABILIDADE DA TEMPERATURA DO AR E DA UMIDADE RELATIVA DO AR EM SÍTIOS COM DIFERENTES COBERTURAS VEGETAIS EM ZONA TROPICAL URBANA: ANÁLISE ESPACIAL E FORMAÇÃO DA ILHA DE CALOR URBANA	42
6.1 Análise do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)	44
6.2 Análise do Índice de Construção por Diferença Normalizada (NDBI)	46
6.3 Análise por meio da classificação supervisionada de Máxima Verossimilhança (MAXVER) nos pontos de coleta	49
6.4 Sazonalidade da temperatura do ar e da umidade relativa do ar nos locais arborizados e pouco arborizados para os pontos com 10 dias de coleta	51
6.5 Diferenças entre os pontos extremos com 10 dias de coleta com relação a cobertura vegetal	57

6.6 Sazonalidade horária média para a ilha de calor urbana durante o período seco	61
6.7 Análise da sazonalidade considerando 12 horas de coleta em todos os nove pontos	63
6.7.1 Análise geral da cobertura vegetal e da urbanização na temperatura do ar em Macapá no período seco	73
7 CONCLUSÕES	75
8 REFERÊNCIAS	77

1 INTRODUÇÃO GERAL

A ilha de calor (ICU) é definida como o aumento da temperatura da superfície e do ar sobre uma área urbana em relação as áreas rurais ou suburbanas vizinhas (ARYA, 2001). É um fenômeno bem estudado, por ser resultante de um efeito negativo de processos de expansão urbana. Outros fatores térmicos estão associados, como a retenção de calor, a alteração do albedo de superfície, causando variabilidade na física de dispersão de poluentes e aerossóis (LEAL FILHO, 2017).

O fenômeno da ICU apresenta variações de efeitos de aquecimento local, com intensidades maiores durante a estação seca e menores durante a estação úmida. Isto ocorre em virtude da energia recebida ser modulada pela disponibilidade de água (umidade relativa) e uma maior porcentagem de cobertura promovida pela presença da vegetação presente no clima úmido (ROTH, 2007).

Historicamente, este fenômeno foi observado pela primeira vez na literatura por Luke Howard em 1833, em Londres, sendo confirmada posteriormente por Émillien Renou, em Paris (LEAL FILHO et al., 2017).

A energia incidente na superfície terrestre (naturais e antropizadas) é devolvida para a atmosfera na forma de fluxo de calor sensível (aquecimento) e latente (evapotranspiração). Quando o solo é virtualmente modificado, a compartimentação urbana provoca diferenciações microclimáticas que são importantes para a investigação, por exemplo, do nível de conforto térmico das cidades (COSTA et. al., 2013a).

Portanto, a cidade deve ser vista como um sistema aberto e adaptativo de energia em trânsito, sofrendo interferências das variáveis atmosféricas do vento, relevo, brisas fluviais, marítimas. Deste modo, os fenômenos climáticos urbanos são de fato resultantes deste processo de troca de energia entre o ar atmosférico e o solo, haja vista que as superfícies refletem energia de diferentes formas e intensidades (MONTEIRO, 1976; MENDONÇA, 1994).

As causas deste processo são a modificação da superfície antes natural por edificações e pavimentação, que causam a impermeabilização da superfície so solo. Estes materiais artificiais aumentam o nível de escoamento superficial da água, reduz a capacidade de infiltração do solo, elevam a condutividade térmica e a capacidade da região de armazenar calor, quando comparadas com o ambiente rural (SILVA JUNIOR, 2012). Tais materiais, utilizados nas zonas urbanas, são mais escuros do que os das áreas rurais, portanto, absorvem e armazenam mais energia e, pela impermeabilidade, a água não consegue infiltrar e dissipar a

energia armazenada por meio do processo de evaporação ou de evapotranspiração, quando existem vegetais (SILVA, 2016).

Outros fatores que contribuem são a aglomeração populacional, o trânsito local em determinadas regiões da cidade, haja vista que tal localização modifica a temperatura local, intensificada pelo efeito de calor pela posição e deslocamento das fontes térmicas, e consequentemente contribuindo com o fenômeno da ICU (ZHU et al., 2017).

Inclusive, esta súbita diferença ou desequilíbrio de calor entre regiões próximas é o que favorece a formação do fenômeno da ICU, que ocorre na Camada Limite Urbana (porção atmosférica de até 1km de altura). Desta forma, pelos fatores citados anteriormente, as áreas urbanas são mais vulneráveis ao aquecimento térmico do que as áreas rurais (ZHANG et al., 2019).

Como consequência disso, tais alterações microclimáticas em aglomerações urbanas podem acarretar problemas de saúde na população destes locais, além de gerar microrregiões termicamente desconfortáveis (ROTH, 2007; SILVA JUNIOR et al., 2012b). Nos estudos sobre o conforto térmico são utilizadas variáveis meteorológicas como a temperatura do ar, umidade relativa do ar e a velocidade do vento (FANGER, 1972).

Uma das consequências do calor intenso nas cidades estão na redução do conforto térmico, alteração da capacidade de dispersão de poluentes no ar, a influência negativa no deslocamento diário dos moradores, a redução da produtividade no trabalho e a piora do desempenho das atividades humanas ao ar livre. Desta forma, uma estimativa mais precisa sobre os locais em que o fenômeno da ICU ocorre, melhoram a capacidade na execução de políticas vinculadas ao planejamento urbano de uma cidade, além de aumentar qualidade de vida e segurança de seus moradores (ZHANG et al., 2019).

A intensidade da ICU amplia-se com o tamanho da cidade, a escala regional de convecção do ar e, depende da forma geométrica da área alterada ser mais compacta em comparação com tecidos urbanos mais dispersos (ZHOU; RYBSKI; KROPP, 2017).

Este fenômeno que afeta as cidades de todas as regiões do mundo, em diferentes épocas do ano, com sítios de todos os tamanhos, tanto no período diurno como no noturno, deve ser compreendido nas cidades localizadas na Amazônia tropical, pela escassez de estudos na área, além de ser oportuno como subsídio ao planejamento urbano local e ao conhecimento científico.

A região Amazônica representa 66% da área geográfica do país, influenciando na regulação climática e no balanço de energia no Brasil. Nesta região, 84,72% da população reside em centros urbanos, acarretando em uma alteração expressiva do uso e cobertura do

solo urbano (SILVA, 2016). Dentro dos trópicos próximos ao equador o clima é dominado por temperaturas uniformemente elevadas durante todo o ano (MOLION, 1987).

A Zona de convergência Intertropical, o Sistema de Circulação Geral da Alta da Bolívia, o Fenômeno *El Niño* e *La Niña* e a friagem são as principais influências macroclimáticas na região (FISCH et. al., 1998). Esta região é também caracterizada por apresentar valores médios anuais elevados de temperatura e umidade relativa do ar, além de elevado total pluviométrico anual com médias de 2.300 mm/ano, podendo chegar a 3.500 mm/ano em zonas costeiras (SILVA JUNIOR et. al., 2012a, CUNHA et al., 2018). Entender a precipitação é importante para analisar a variabilidade da temperatura do ar e da umidade relativa do ar.

O sistema de classificação climática de Koppen considera mais adequadamente a sazonalidade das regiões subtropicais e tropicais. No Amapá, pela classificação do clima de Koppen, ocorrem chuvas de verão (Aw) e equatorial quente com uma estação seca (Am). Raramente a precipitação mensal é inferior a 50 mm, exceto nos meses secos, como setembro e outubro (SILVA, 2016).

Quanto a temperatura, o clima predominante na cidade é o quente e úmido, com temperaturas médias anuais de 26,6 °C, sendo o período mais chuvoso compreendido entre os meses de janeiro a junho. Macapá pode ser classificada climaticamente, segundo Koppen, com clima do tipo Ami, tropical chuvoso, com pequena amplitude térmica anual e precipitação média mensal superior a 60 mm (COSTA et al., 2013a).

O crescimento urbano brasileiro, ocorrido principalmente entre as décadas de 1940 e 1990, e, na Amazônia especialmente a partir da década de 1960, com a intensificação do uso do solo pelas atividades humanas e o aumento da população, favoreceu a ocorrência do fenômeno da ilha de calor nesses locais (BARBOSA et. al., 2015).

As cidades amazônicas, embora façam parte de uma mesma macrorregião, possuem características físicas e ambientais distintas. Há cidades pequenas, muito presentes na região, sem ligações por estradas e associadas com o rio, importante elemento de resfriamento térmico, como a cidade de Coari-AM e Tefé-AM. Outros pequenos núcleos urbanos já possuem uma dinâmica socioeconômica maior, devido, em parte, apresentar conexão direta com uma estrada, como Lábrea-AM, pela BR-230.

Cidades mais próximas dos corpos d'água tendem a apresentar menores evidências e impactos sobre os índices de calor (formação de ilhas de calor), independentemente de suas dimensões, relacionado aos efeitos de brisas predominantes (SILVA JUNIOR et al., 2012a).

As grandes e médias cidades da região, como Santarém-PA, Macapá-AP, Manaus-AM e Belém-PA vem aparentemente sofrendo mais com o fenômeno da ilha de calor, quando as temperaturas tendem a ser maiores nas zonas mais urbanizadas, geralmente central. Apresentam menores níveis de albedo, quando comparadas com áreas vegetadas, o que implica em um maior aquecimento (SILVA JUNIOR et al., 2013a). Portanto, a urbanização tende a gerar efeitos no microclima local e consequentemente na qualidade de vida da população, o que pode ser aferido principalmente pelos índices de conforto térmico e eficiência energética (COSTA et al., 2013a).

Por exemplo, a cidade de Macapá está localizada na região Sudeste do Estado do Amapá (zona costeiro-estuarina), na coordenada geográfica 0°2'4" N e 51°3'60" W, com área de 6.503, 458 km², índice de arborização de vias públicas de 66%, inserida em uma bacia hidrográfica composta por corpos d'água que interligam áreas de ressacas (IBGE, 2010; KUHN et al., 2010).

Segundo Carvalho (2013), houve um aumento na área urbana de Macapá na ordem de 187% quando comparado com o período entre 1985 a 2006, passando de 18,30 km² para 54,03 km². Por sua vez, no mesmo período, houve uma redução de 23,23% na densidade de vegetação, passando de 80,30 km² em 1985 para 61,7 km² em 2010.

Somente esses dados são indicadores de elevada probabilidade do aumento espacial e na frequência de surgimento de fenômenos da ICU na capital amapaense. Isso é consequência do adensamento populacional urbano. Sua população está estimada, no ano de 2018, em 493.634 habitantes, havendo portanto um crescimento populacional expressivo na região, quando comparado com a década de 1970, em que a população macapaense era de 116.480 habitantes. Isto ocorreu em virtude de transformações políticas e econômicas locais, como a implantação da Área de Livre Comércio de Macapá e Santana em 1991 (SANTOS, 2012).

O crescimento urbano de Macapá ocorreu primeiramente em direção ao norte (bairros Novo Horizonte, Jardim I e II, Renascer, Brasil Novo), posteriormente a regiões oeste (regiões dos bairros Marabaixo, Goiabal e Cabralzinho) e atualmente em direção a região sul (Universidade, Zerão, condomínios residenciais no entorno da Rodovia JK, Fazendinha), porém com algumas áreas de crescimento dispersas e isoladas. O destaque, nesta nova fase de expansão da malha urbana na região sul, está na região do Distrito da Fazendinha, localizado entre o centro da cidade de Macapá e o centro da cidade de Santana, segundo maior município do Estado (SILVA, 2016).

Com base nestas informações, deduz-se que a vegetação é um fator preponderante que influi positivamente na amenização dos efeitos da ICU. Na presente pesquisa, hipotetizamos

que este fato ocorra, especialmente nas regiões tropicais da Amazônia (COLTRI et. al., 2008; MOLION, 1987). A manutenção da paisagem natural (vegetação), e sua conservação, podem contribuir positivamente para a manutenção do equilíbrio térmico em relação à dinâmica da vida urbana (OKE; TAESLER; OLSON, 1991), evitando-se a formação do fenômeno da ilha de calor urbana (ICU).

Existem pesquisas e práticas visando reduzir a ICU, dentre eles se destaca a infraestrutura verde, que vem encontrando justificativas e demonstrando valor para planejadores, políticos, na atividade de desenvolvimento imobiliário, dentre outros profissionais que trabalham sobre a melhoria da qualidade do ambiente construído (JEROME, 2019).

Desta forma, esta pesquisa pretende elaborar análises climáticas de longa duração para reconhecer o contexto local macapaense por meio de tendências climáticas, que indicam se tal região tem maior probabilidade de se aquecer, o que aumenta a probabilidade da existência e intensidade da ICU. Além disso, análises de curta duração, por meio de sensores térmicos, tendem a auxiliar na identificação e correlação das regiões termicamente mais quentes da capital amapaense, frente ao uso do solo.

A hipótese desta pesquisa é que a distribuição geográfica da cobertura vegetal e seus percentuais são os fatores mais relevantes na redução do fenômeno da ICU em Macapá, variando sazonalmente a temperatura e umidade relativa do ar, porém, esses efeitos são mais evidentes nos sítios mais urbanizados, com superfícies mais artificialmente alteradas, sugerindo maior tendência ao aquecimento no interior destas manchas urbanas de Macapá.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Compreender e analisar como a expansão urbana da cidade de Macapá afeta o microclima local, utilizando-se a análise da variação sazonal da temperatura e da umidade relativa do ar em função de diferentes tipos de uso e ocupação do solo.

2.2 Específicos

- Testar interferências das áreas vegetadas no padrão de variabilidade termo-higrométrica da cidade de Macapá e potenciais diferenças entre a resposta espacial do período chuvoso com o período seco.
- Estudar a sazonalidade da temperatura do ar, umidade relativa do ar e suas consequências no efeito de formação do fenômeno da ICU na cidade de Macapá
- Elaborar uma análise estatística de séries temporais nos últimos 50 anos (1968-2018) para avaliação de cenários futuros de tendências no microclima urbano de Macapá.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Ilha de calor urbana e índices climáticos em um contexto global

Em contexto global, a definição da ICU é apresentada por Arya (2001), cujo objetivo é demonstrar as causas e consequências deste fenômeno e as mudanças climáticas que ocorrem nestas cidades.

O fenômeno da ICU apresenta variações de efeitos de aquecimento local com intensidades maiores durante a estação seca e menores durante a estação úmida, em decorrência da maior porcentagem de cobertura promovida pela presença de vegetação no clima úmido. Este conceito é apresentado por Roth (2007), quando procura entender a variabilidade da ICU, ao realizar seu estudo nas regiões tropicais e subtropicais do globo.

Colunga et al. (2015) comprovaram por meio do baixo índice de absorção de calor das superfícies da cidade antropizadas de Querétaro, no México, associado a geração de gases do efeito estufa, contribuíram para o aumento da temperatura do ar. Neste sentido, utilizando ferramentas de sensoriamento remoto, o autor comprovou a importância da vegetação na amenização dos efeitos de extremos de temperatura, por meio da regulação climática que esta provoca pelo sombreamento e pela evapotranspiração.

Leal Filho (2017), associou o crescimento urbano, que ocasiona um aumento na presença de concreto na superfície urbana, com mudanças no albedo de superfície a dispersão de poluentes e aerossóis, favorecendo a existência da ICU.

O programa computacional RclimDex AFL 3.0 é usado para o cálculo de índices extremos climáticos com a finalidade de monitorar e detectar mudanças climáticas, tem este nome por ser uma junção do programa ClimDex, desenvolvido por Byron Gleason, do National Climate Data Center (NCDC) da NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), manipulado em ambiente R, que é uma linguagem e ambiente utilizado para computação estatística podendo ser executado em sistemas operacionais UNIX, Windows e MacOS, que permite a manipulação de dados, cálculo e exibição gráfica. O mesmo ainda fornece para cada um dos 27 índices básicos de temperatura e precipitação recomendados pelo Climate Change Detection Monitoring and Indices (ETCCDI), para o cálculo dos índices climáticos, os dados estatísticos, a tendência linear calculada, o método de mínimos quadrados, o valor de p (significância estatística), o coeficiente de determinação (r^2).

O aplicativo, projetado para proporcionar uma interface amigável com o usuário no cálculo de índices climáticos diários de temperatura e precipitação, em que alguns limites para

os índices são definidos pelo usuário, tem seu guia de utilização está em Zhang e Yang (2004).

Os seguintes autores utilizaram em seus estudos sobre precipitação e temperatura o aplicativo RclimDex AFL 3.0: Halimatou et al. (2017), Rosas et al. (2016), Keggenhoff et al. (2014), Keggenhoff et al. (2015), Zhu et al. (2017), Zhao et al. (2012), Colunga et al. (2015), Varques e Kanda (2018), Santos et al. (2012), Silva (2016).

Wang et al. (2019), recomendaram após realização em um estudo na cidade de Shenzhen, China, o desenvolvimento de técnicas do sensoriamento remoto para reduzir as falhas no monitoramento convencional das ilhas de calor urbanas.

Neste sentido Ribeiro, Batista e Dias (2007), apresentaram a Classificação Supervisionada de Máxima Verossimilhança (MAXVER), que consiste na obtenção de classes de informação baseadas em imagens de sensores remotos. A distribuição das classes de uso do solo é considerada gaussiana ou normal, indicando que os objetos que estão na mesma classe apresentarão resposta espectral próxima a média daquela classe. Wang (2019), afirma que isso ocorre partindo do princípio das distâncias médias, utilizando parâmetros estatísticos de distribuição de Pixels dentro de uma determinada classe.

Li et al. (2016) concluíram que a Maxver apresenta uma superioridade frente a outros classificadores paramétricos, no que tange a dados normalmente distribuídos. Crósta (1993), em uma revisão bibliográfica sobre o assunto afirma que A classificação MAXVER para ser mais eficaz, depende do conhecimento do pesquisador sobre a área que está monitorando, a fim de que a classificação passe a espelhar dados mais próximos da realidade espacial.

Zha et al. (2003) apresenta outra técnica de sensoriamento remoto, baseada na utilização do satélite LANDSAT TM para o imageamento de áreas urbanas que é o índice de construção, do inglês Normalized Difference Build-up Index (NDBI), tornando possível avaliar a densidade de edificações e outras construções humanas por meio dos parâmetros de refletância obtidos das imagens de satélite.

Zanzarini et al. (2013) faz correlações espaciais entre o Índice de Vegetação do inglês Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) e o uso do solo, utilizando imagens do satélite LANDSAT 7 ETM+, em que obteve uma boa aplicação para observar a variabilidade espacial dos atributos estudados, neste caso a cultura de cana-de-açúcar, e a estimativa dos teores de argila, fósforo e o pH de um Latossolo Vermelho-amarelo.

3.2 Ilha de calor urbana e índices climáticos em escala nacional e local

Mendonça (1994), por meio de um estudo geoecológico, tendo o clima com um fator importante de análise, demonstra a espacialidade e a sazonalidade do fenômeno da ICU no município de Londrina (PR), chegando a 10°C de diferença entre alguns pontos da cidade.

Ao fazer um estudo sobre dados meteorológicos na Amazônia, Molion (1987) detectou que a estrutura superficial urbana apresenta tendência de manter uma maior condutividade térmica e maior capacidade de armazenar calor, especialmente quando comparadas ao ambiente rural.

Pesquisas relacionadas com o clima urbano nas médias e grandes cidades amazônicas, com destaque as abordagens de Silva Junior et al. (2013a) que aborda a sazonalidade da distribuição da temperatura e da umidade relativa do ar, considerando os diferentes usos do solo na cidade de Belém e suas possíveis consequências na qualidade de vida da população.

Silva Junior et al. (2012b), afirma que a vegetação é um fator preponderante que influi na variabilidade do clima urbano e que este fenômeno ocorre nas regiões tropicais da Amazônia. Destaca-se que o conhecimento da temperatura e da precipitação é importante para que estudos futuros possam estimar o índice de calor e os extremos climáticos de uma determinada região, considerando o uso do solo urbano.

O estudo de Costa et al. (2013b), também faz uma análise dos elementos meteorológicos da temperatura e umidade relativa do ar, no município de Santarém, localizado no oeste paraense, também considerando os diferentes usos do solo urbano, como as regiões central, de área verde urbana, área residencial, periférica e rural. A relevância do estudo sobre Santarém em comparação com Macapá pode ser aferida na diferença que a última é influenciada pela brisa fluvial enquanto a primeira não demonstrou tal influência como fator predominante. O método de estudo utiliza sensores de temperatura e umidade relativa do ar instaladas em diferentes pontos da cidade de Santarém-PA.

Tais técnicas são apontadas no estudo de Silva Junior et al. (2012b), quando analisam esses índices de calor na cidade de Belém. Souza e Alvalá (2014) também aplicaram esta técnica utilizando dados de estações meteorológicas e analisando resultados com o modelo BRAMS, em Manaus - AM.

Santos et. al. (2012), aferiram a sazonalidade e a espacialidade do fenômeno da ICU em Macapá, por meio do cálculo de Índices Climáticos no RclimDex AFL 3.0, em que obtiveram a tendência de aquecimento da zona urbana de Macapá, com o aumento do número

de dias (TX90p) e noites quentes (TN90p). O método aplicado no trabalho citado é o mesmo aplicado nesta pesquisa.

Silva (2016) destacou que o Distrito da Fazendinha, onde está localizada a estação meteorológica de mesmo nome, apresentou dados que por meio do cálculo de índices climáticos, indicam a presença do fenômeno da ICU em vista das temperaturas mais altas e apresentar precipitação reduzida em relação às regiões vizinhas. Além disso, a autora observou um crescimento da mancha urbana de Macapá primeiramente no sentido norte, posteriormente em sentido oeste, e, mais recentemente a expansão no eixo sul da Região Metropolitana de Macapá. A mesma também utilizou sensores de temperatura e precipitação (dataloggers), instalados em diferentes pontos da cidade, em que demonstrou, por meio de técnicas estatísticas e de sensoriamento remoto, que a atividade humana favoreceu o desenvolvimento da ICU em Macapá, correlacionada com o aquecimento da superfície do solo e do ar.

Grott et al. (2018), afirmaram que a substituição da vegetação por superfícies artificiais, não somente aumenta o número de dias e noites quentes, mas também o número de eventos de chuvas mais intensas, provocando, por exemplo, maior número de pontos de alagamento na cidade durante eventos extremos, relacionados aos problemas de drenagem urbana, problemas ambientais e de saneamento básico local.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A seguir é mostrado um fluxograma com as principais etapas metodológicas da presente pesquisa, mostrando a sequência lógica básica e alguns detalhes das suas respectivas subetapas de execução, especialmente onde cada uma delas se interconecta umas com as outras.

4.1 Fluxograma com as principais etapas metodológicas da presente pesquisa

Coleta de dados

- Leitura do referencial teórico (etapa constante).
- Seleção de Imagens do catálogo do INPE (Landsat 5 e 7 TM) e do USGS (Landsat 8 ETM). Séries históricas RCLimDex.
- Reconhecimento das áreas selecionadas, considerando diferentes níveis de vegetação aparente para elaboração do trabalho de campo.
- Trabalho de campo de 10 dias (Apenas na Linha B do Marabaixo, APA do Curiaú, Fazendinha, UNIFAP e Museu Sacaca) e de 12 horas (todos os nove pontos, simultaneamente ao período de 10 dias), ocorrendo nos períodos chuvoso (abril/2018), seco (novembro/2018) e intermediário (junho/2019).

Análise dos resultados

- Cálculo dos índices climáticos de longo prazo por meio do aplicativo RCLimDex®, visando a geração da série histórica (1968-2018) e também comparar com os dados de Santos et al. (2012) e Silva (2016).
- Análise dos parâmetros estatísticos, considerando valor de $p < 0,05\%$ e confecção de figuras gráficas dos dados com significância estatística para análise do fenômeno da ilha de calor urbana por meio dos índices climáticos.
- Geração dos mapas demonstrando a evolução da ilha de calor urbana, entre o período de 1968-2018 em Macapá, por meio das técnicas de classificação supervisionada de máxima verossimilhança (MAXVER) no aplicativo *PCI Geomatics Free Trial*®,
- Geração de mapas do índice de vegetação Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) e o índice de construção Normalized Difference Build-up Index (NDBI) por meio do aplicativo QGIS 3.4®.
- Análise dos resultados obtidos e elaboração do artigo e da dissertação.

4.2 Coleta de dados

Pesquisa bibliográfica dos referenciais teóricos contidos nesta pesquisa abordando temas como clima urbano, influência da arborização nas cidades e o processo de ilha de calor antrópica em meio urbano.

Além disso ocorreu a coleta de imagens de satélite e também a catalogação dos dados de sensoriamento remoto com banda de resolução 30x30 metros, do LANDSAT 5 TM obtidas no catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), para os anos de 1990 e 2000, e ainda, imagens do LANDSAT 8 OLI/TIRS, no site do Serviço de Levantamento Geológico Americano (USGS) referente ao ano de 2019, com a finalidade de produzir mapas de NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) e NDBI (Normalized Difference Build-up Index), para fazer uma análise da condição da vegetação no ambiente urbano e o índice de construção avaliados por meio de parâmetros de reflectância nas imagens de satélite.

4.2.1 Trabalho de campo

O trabalho de campo ocorreu primeiramente no reconhecimento das amostras selecionadas, em um total de nove, dispostas no eixo Sudoeste-Nordeste e Oeste-Leste (figura 01), tendo como critérios abranger todas as zonas da cidade (Norte, Sul, Oeste, Centro) em suas diferentes características (predominantemente arborizado, pouco arborizado e com muitas edificações, a zona periurbana, entre outros), com intuito de identificar a influência das características de ocupação do solo no fenômeno da ICU, por meio da sazonalidade dos elementos meteorológicos da temperatura e da umidade relativa do ar.

Desta forma, foram realizados três trabalhos de campo, o primeiro no período úmido (abril/2018), o segundo no período seco (novembro/2018) e terceiro, no período intermediário (junho/2019). Além disso, foram aplicadas técnicas de classificação supervisionada (MAXVER), o índice de diferença normalizada de vegetação (NDVI) e o índice de diferença normalizada de construção (NDBI).

A representatividade científica (correlação entre uso do solo e temperatura do ar e umidade relativa do ar), a segurança dos equipamentos e a facilidade logística de operação, foram critérios que definiram a escolha dos locais.

Os pontos mais extremos da cidade (APA do Curiaú, Fazendinha, Marabaixo) e centrais (Museu Sacaca e UNIFAP) tiveram coletas de 10 (dez) dias/campanha para entender

o padrão espacial da ICU, com o objetivo de compreender tal sazonalidade em correlação com o uso do solo. Embora o objetivo fosse efetuar coletas de 10 (dez) dias, nos pontos da Caixa D'água do Buritizal, Praça Veiga Cabral, Lagoa dos Índios e no Terminal Rodoviário foram feitas 12 (doze) horas de coleta devido a segurança do equipamento.

4.2.2 Caracterização da área de estudo

A cidade de Macapá está localizada na região sudeste do Estado do Amapá, com área de 6.503,458 km², índice de arborização de vias públicas de 66%, inserida em uma bacia hidrográfica composta por corpos d'água que interligam áreas de ressacas (IBGE, 2010; KUHN et al., 2010).

O clima predominante na cidade é o quente e úmido, com temperaturas médias anuais de 26,6 °C, sendo o período mais chuvoso compreendido entre os meses de janeiro a junho. Macapá pode ser classificada climaticamente, segundo Koppen, com clima do tipo Ami, caracterizado como tropical chuvoso, com pequena amplitude térmica anual e precipitação média mensal superior a 60mm (COSTA et al., 2013a). Os locais de coleta estão dispostos na figura 01 e sua caracterização na tabela 01.

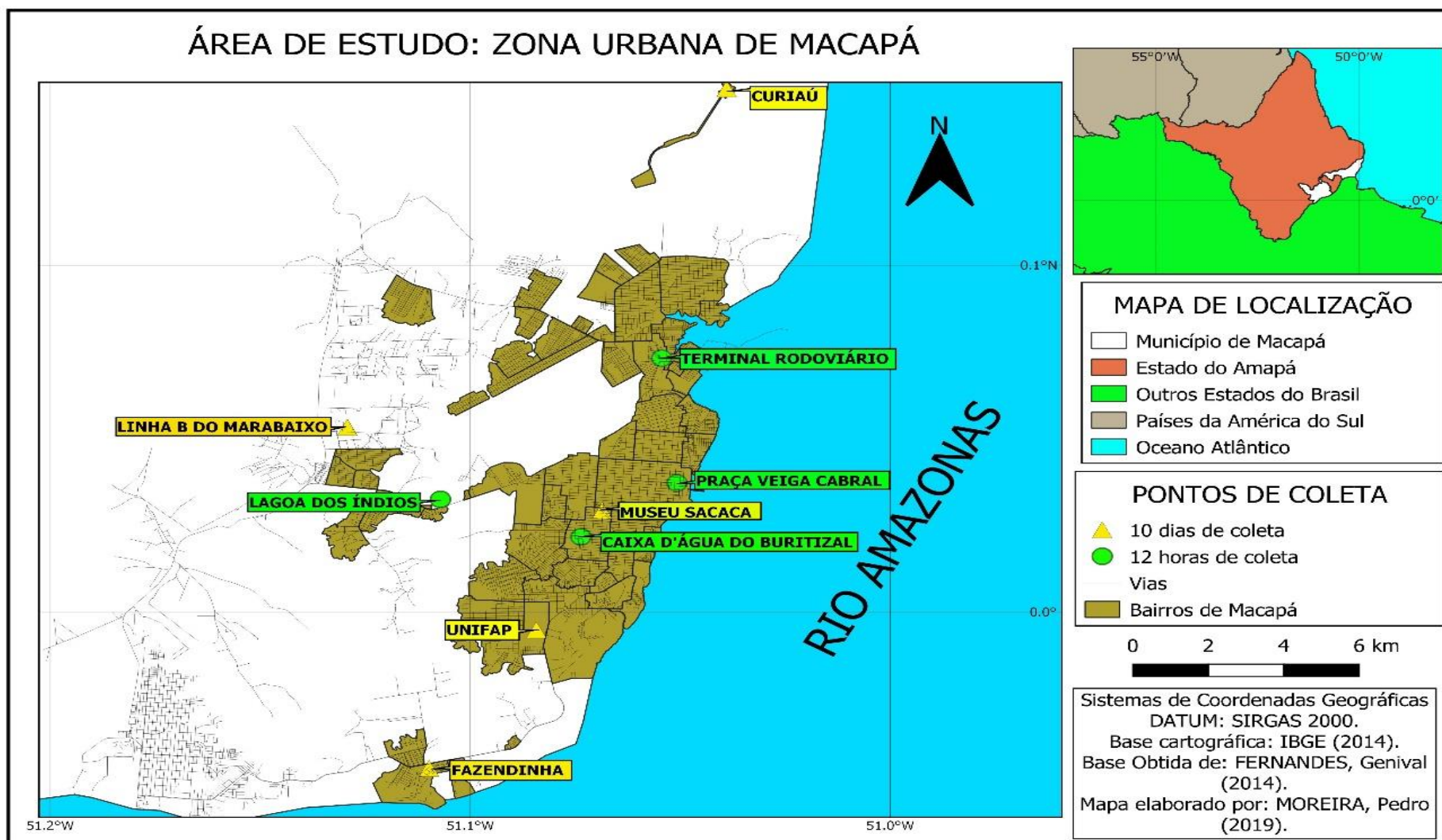


Figura 01: Mapa da área de estudo. Produzido em 03/11/2019.

Tabela 01: Caracterização das áreas de estudo.

Ponto	Local	Eixo da Cidade	Lat/Long	Caracterização da área/Critério da escolha dos pontos
01	APA do Curiaú (10 dias de coleta)	Zona Norte	0° 9' 3.00" N 51° 2' 20.37" O	Figura 05A – Ponto mais setentrional da pesquisa, localizado em área rural do município, com grande presença de vegetação, baixa circulação de pessoas e veículos.
02	Caixa D'água do Buritizal (12 horas de coleta)	Zona Sul	0° 1' 17.89" N 51° 4' 25.20" O	Figura 05B - Área extremamente urbanizada e com intenso fluxo de veículos e circulação de pedestres e ciclistas. Possui uma superfície gramada e também cimentícia. A geometria tridimensional da Caixa D'água intercepta a radiação solar incidente, aquecendo o ar próximo a superfície e tendendo a criar um gradiente térmico com a altitude. Cumpre função social, paisagística e recreativa.
03	Distrito da Fazendinha (10 dias de coleta)	Extremo Sul - Periferia	0° 2' 42.32" S 51° 6' 35.49" O	Figura 05C – Ponto mais meridional das amostras, localizado entre a região central dos municípios de Macapá e Santana. Na área em que foi instalado o micrologger, na estação climatológica da Fazendinha (INMET), apresenta uma circulação de veículos baixa e uma urbanização moderada, mas crescente. A segurança do equipamento foi levada em consideração.
04	Lagoa dos Índios (12 horas de coleta)	Zona Oeste	0° 1' 56.80" N 51° 6' 25.63" O	Figura 05D – Escolhido por ser o ponto Oeste urbano de análise. Apresenta forte presença de árvores de pequeno e médio porte, além de estar circundada pela Lagoa dos Índios, importante corredor térmico da cidade de Macapá. O micrologger foi instalado na Faculdade FAMA, que apresenta de baixa a moderada circulação de veículos. Apresenta trânsito intenso no entorno da Faculdade, pois está localizada sua entrada na Rodovia Duca Serra, uma das ligações entre os municípios de Macapá e Santana.
05	Linha B do Bairro Marabaixo (10 dias	Zona Oeste	0° 3' 11.74" N 51° 7' 45.43" O	Figura 05E –Localizada em zona rural, na Chácara do Urubu, um dos pontos mais a oeste e distantes da mancha urbana amapaense. O chão é parcialmente coberto por

	de coleta)			grama, árvores frutíferas de pequeno porte, por toda a extensão do terreno, mas há densidade de vegetação ao fundo do terreno. (Continuação da tabela).
06	Museu Sacaca (10 dias de coleta)	Centro-Sul	0° 1' 45.23" N 51° 4' 7.00" O	Figura 05F – Área extremamente arborizada, localizada na parte central de Macapá e também localizada próximo ao canal de drenagem Beírol/Pedrinhas. O objetivo da instalação neste ponto é compreender a interferência da superfície arborizada em relação ao meio exterior, visto que a zona do seu entorno é residencial, com trânsito moderado e apresenta nível de urbanização consolidada. A segurança do equipamento foi um requisito também de instalação.
07	Praça Veiga Cabral (12 horas de coleta)	Centro/Leste	0° 2' 13.93" N 51° 3' 2.78" O	Figura 05G – Está localizada na zona comercial da cidade, com edificações de porte médio e apresenta intenso fluxo de veículos e pessoas durante o período diurno e vespertino, possuindo uma cobertura vegetal moderada (árvores da praça), gramíneas e arbustos que bloqueiam a incidência solar direta na superfície. Apresenta também passarelas de revestimento cimentício.
08	Universidade Federal do Amapá (UNIFAP) (10 dias de coleta)	Zona Sul	0° 0' 18.60" S 51° 5' 3.46" O	Figura 05H – Instalado ao lado do bloco de ciências ambientais, dentro do anemômetro, sendo o segundo ponto mais meridional na análise. Localizado próximo de área florestada, em campo aberto, propício para coleta de dados. No seu entorno há presença de superfície cimentícia (passarelas dos blocos) e asfáltica (vias da universidade). A segurança do equipamento foi um requisito de instalação, dada haver necessidade de 10 dias de análises.
09	Terminal Rodoviário (12 horas de coleta)	Zona Norte	0° 4' 23.38" N 51° 3' 16.07" O	Figura 05I – Extremamente urbanizado, que tem muitos prédios residenciais e comerciais, além de um intenso tráfego de veículos automotores, localizado em um Eixo Viário importante na cidade.

A coleta de dados ocorreu nos períodos seco, chuvoso e intermediário, considerando o elemento meteorológico da temperatura, pois no período seco, compreendido entre os meses de setembro a novembro ocorrem picos médios de temperatura entre 30 a 33°C, no período chuvoso, de março a maio as temperaturas possuem médias de 29 a 31 °C, e, por sua vez, no período intermediário, classificado nesta pesquisa como uma transição entre o período chuvoso e o seco, ocorrem médias entre 29° e 30°C. A figura 02 mostra a série climatológica que serviu de padrão para a escolha dos meses os quais o trabalho de campo será realizado.

Além da temperatura do ar, a precipitação interferiu na escolha dos meses de coleta dos dados de umidade relativa do ar e temperatura do ar, sendo que a coleta no período seco ocorreu obrigatoriamente entre os meses de setembro e novembro, quando os níveis de precipitação oscilam na média entre 40 e 60 mm mensais. No período intermediário, no mês de junho, os níveis atingem em torno de 220 mm no mês citado. Por sua vez, a coleta no período chuvoso, ocorreu obrigatoriamente entre os meses de março e maio, com as precipitações atingindo a ordem entre 330 a 410 mm (Figura 03).

Nos pontos da Praça Veiga Cabral, Linha B do Marabaixo, Lagoa dos Índios, Caixa D'água do Buritizal e no Terminal Rodoviário a coleta ocorrerá em apenas 12 (doze) horas. Por sua vez, os pontos da APA do Curiaú, Fazendinha, Museu Sacaca e UNIFAP, a coleta ocorreu durante 10 (dez) dias ininterruptos, dentro do período estabelecido para o período seco e o período chuvoso (Figura 01).

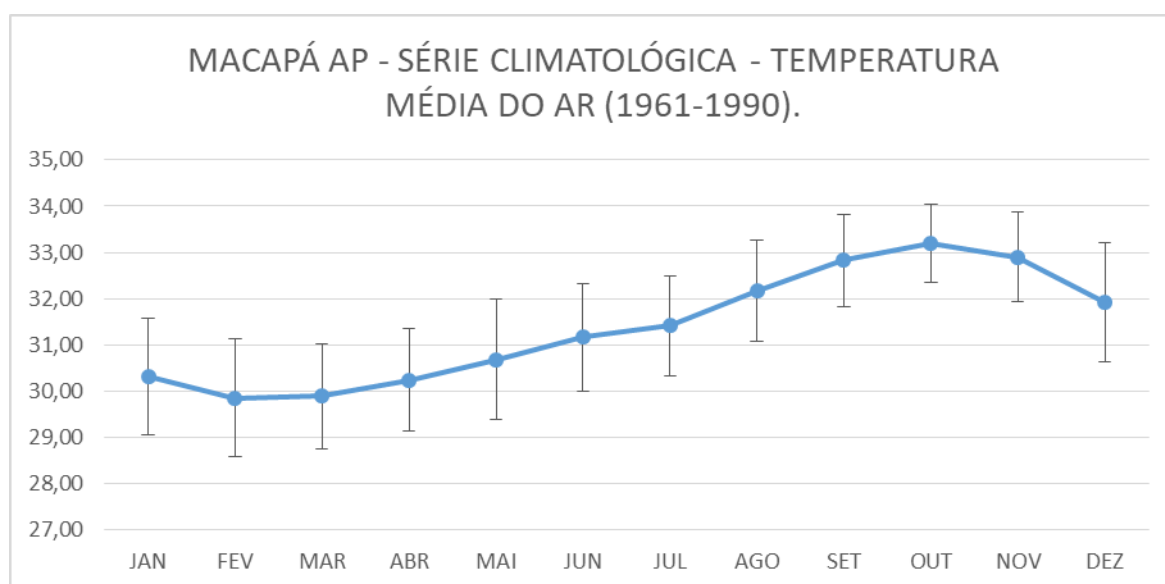


Figura 02 - Sazonalidade média da temperatura na cidade de Macapá-AP. Fonte: INMET. Acessado em 26 de agosto de 2018.

A série climatológica (figura 02) registra o período entre 1961 e 1990, pois para uma análise climática há necessidade de uma escala temporal maior de análise (mínimo de 30 anos) para aferir uma determinada mudança climática regional, tendo sua próxima renovação ocorrer em 2020, considerando a escala atual iniciada no ano de 1991, conforme WMO (2012). Observa-se a variabilidade média da precipitação em Macapá ao longo do período entre 1961-1990 (Figura 03).

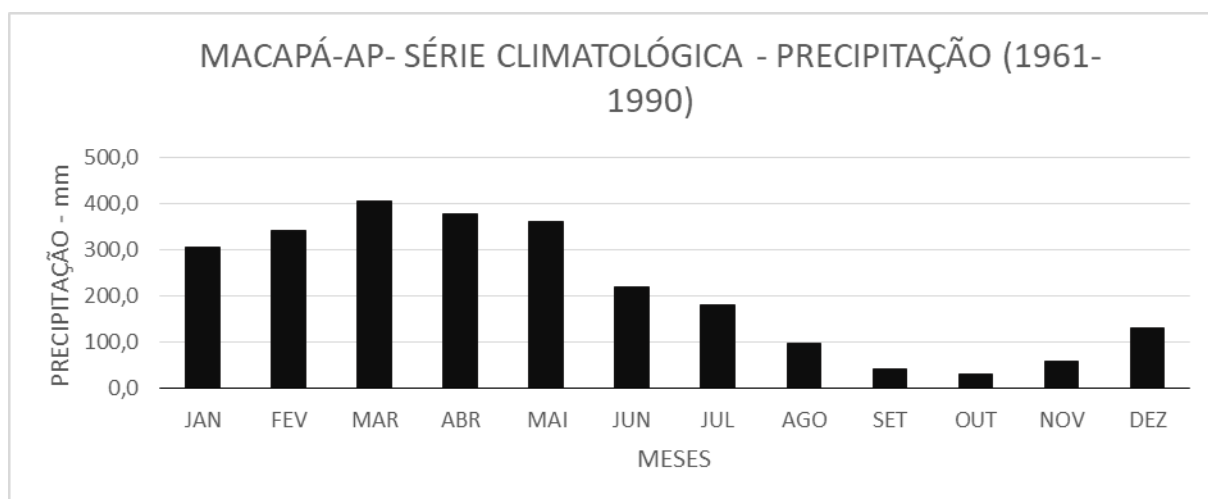


Figura 03: Sazonalidade média da precipitação na cidade de Macapá-AP. Fonte: INMET. Acessado em 26 de agosto de 2018.

Para a coleta de dados, foram usados Microloggers ou Dataloggers, modelo Hobo® Data Logger U10-003 (Figura 04) e o sensor UX100-023 (mesma confiabilidade do sensor U10-003) no ponto da UNIFAP, aparelhos que fazem a medição da temperatura e da umidade relativa do ar, instalados dentro de abrigos meteorológicos localizados 1,5 metros do solo, com ventilação natural por todos os lados e programados para coletar os dados a cada quinze minutos, conforme recomendações da Organização Meteorológica Internacional (WMO, 2012). O mesmo sensor foi utilizado por Krüger; Rossi (2005), com amplitude térmica confiável para análise de 20 °C até 70 °C.



Figura 04: Modelo do Micrologger e do Abrigo Meteorológico convencional. Fonte: Acervo pessoal.

Neste experimento será utilizado o Abrigo Meteorológico Alternativo (AMA), que substituiu o abrigo meteorológico padrão, modelo da empresa Campbell Sci®, o 41003-510 Plate Gill Radiation Shield.

A escolha pelo AMA ocorre devido possuir a mesma confiabilidade exigida pela WMO (2012), não permitindo a entrada da chuva e da radiação solar direta em nenhum momento do dia, devido a superposição entre os anéis (inferior e superior) que bloqueia a dos elementos citados. Além disso, é uma opção mais barata e acessível em relação ao abrigo meteorológico padrão. O AMA foi pintado a tinta óleo na cor branca, que favorece ao albedo e a reflexão da radiação solar (SILVA, 2016).

A figura 05 mostra os pontos de coleta de dados de temperatura e umidade relativa do ar, com seus diferentes tipos de uso e ocupação do solo.

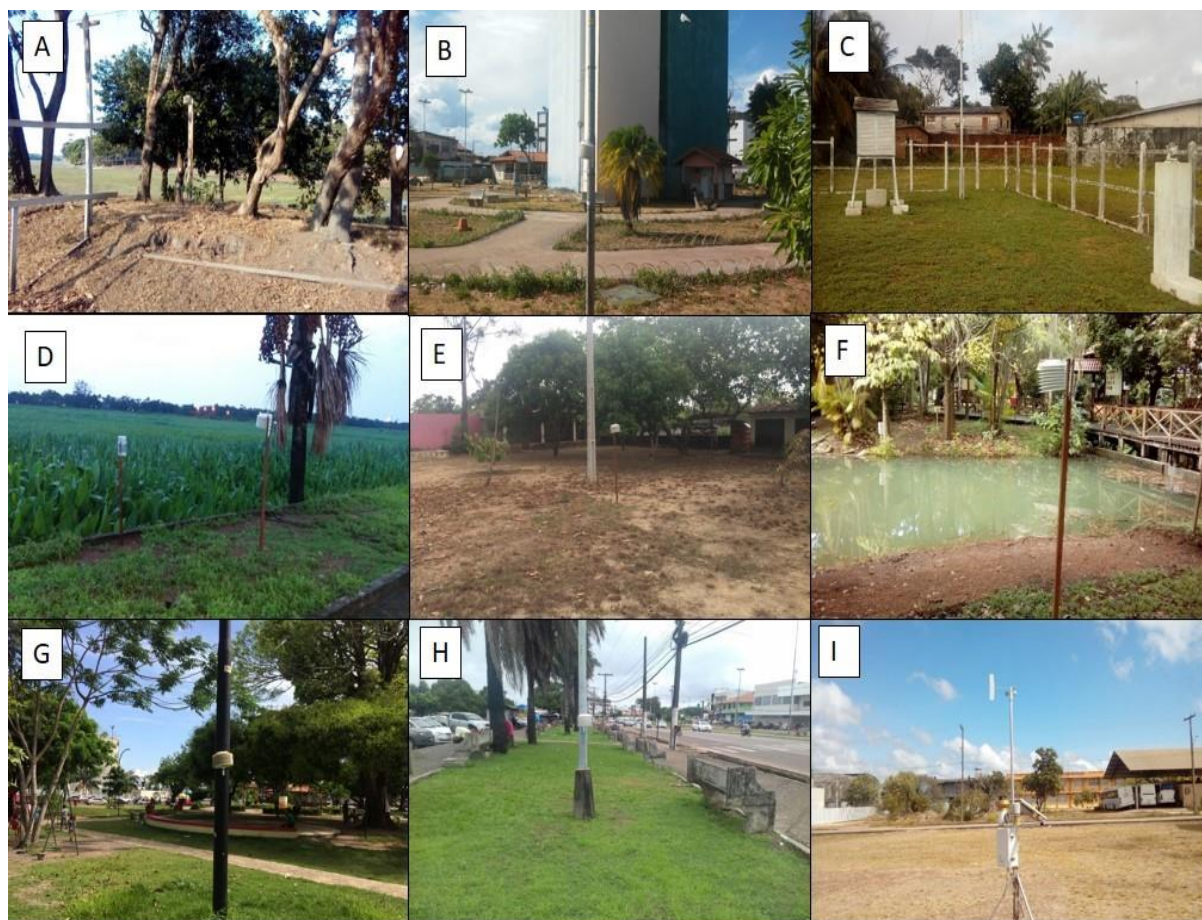


Figura 05: Pontos de instalação dos Microloggers: APA do Curiaú (05A), Caixa D'água do Buritizal (05B), Distrito da Fazendinha (05C), Lagoa dos Índios (05D), Linha B do Bairro Marabaixo (05E), Museu Sacaca (05F), Praça Veiga Cabral (05G), Terminal Rodoviário (05H), Universidade Federal do Amapá (05I). Fonte: O autor.

4.2.3 Análise dos dados

Inicialmente, por meio do cálculo de índices climáticos no aplicativo RClimDex, foi possível analisar e projetar a variabilidade das tendências climatológicas no município de Macapá, cuja importância foi a de discriminar as atuais tendências de parâmetros locais reconhecidos pela OMM para longo prazos. Esta análise incluiu um raro período de medidas contínuas de 50 anos (1968-2018) na Amazônia.

Para análise dos dados obtidos em campo, foi utilizado o aplicativo *Hoboware Graphing & Analysis®* para importação, por meio do formato .csv e .xml dos dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar obtidos nos três trabalhos de campo. A vantagem da importação no formato .xml é que pode ser calculado pelo aplicativo Excel® e transformados em formatos .txt futuros, que permitem a emissão de gráficos de saída dos dados obtidos por meio do *aplicativo R®*. Esse aplicativo teve como finalidade executar a

análise da sazonalidade de curto prazo da temperatura do ar e da umidade relativa do ar dos nove pontos de coleta.

As análises do índice de vegetação (NDVI) e o índice de construção (NDBI) foram feitas após a produção dos seus respectivos mapas no aplicativo de geoprocessamento *QGIS 3.4®*, com a finalidade de entender a variabilidade climática espacial de longo prazo com relação a presença e intensidade de vegetação saudável na cidade. Este elemento é importante para amenização dos efeitos da ICU, por meio dos processos de evapotranspiração e também por impedir uma maior infiltração dos raios solares no solo.

Além disso, por meio de imagens de satélite obtidas no aplicativo Google Earth, referente ao ano de 2017, foram produzidas análises via aplicação da técnica de classificação supervisionada de Máxima verossimilhança (MAXVER), por meio do aplicativo *PCI Geomatics® Free Trial*, com a finalidade de obter as porcentagens das classes de vegetação, área urbanizada, solo exposto e água dos pontos de coleta de dados, com o objetivo de correlacionar a porcentagens das classes de uso do solo e sua interferência nos padrões de temperatura do ar e umidade relativa do ar.

A partir destas análises foram produzidos dois capítulos de resultados: o primeiro capítulo diz respeito as análises de longo prazo na cidade de Macapá via interpretação dos índices climáticos obtidos por meio de dados da Estação Climatológica da Fazendinha, com o objetivo de contextualizar a evolução temporal que a capital amapaense passou desde o final da década de 1960 até os dias atuais e, a partir deste recorte temporal do clima, entender a existência do cenário espacial atual de Macapá e as transformações espaciais observadas.

O segundo capítulo de resultado teve como foco uma análise espacial do fenômeno da ilha de calor, observando-se a sazonalidade dos elementos da temperatura do ar e da umidade relativa do ar das nove amostras selecionadas na capital amapaense, variando-se sazonalmente as estações chuvosa, seca e intermediária. A partir deste entendimento, buscou-se compreender possível existência de variação espacial do fenômeno da ICU na cidade de Macapá através das medidas do uso do solo, correlacionando-as com a sazonalidade das séries históricas hidrometeorológicas. Embora analisados separadamente neste trabalho, por questões didáticas, é importante lembrar que os elementos temporais e espaciais se correlacionam fortemente e, em conjunto, atuam na formação do atual cenário da ICU em qualquer região, e, considerando este trabalho em especial, na capital brasileira cortada pela linha do Equador.

5 ÍNDICES DE TENDÊNCIAS CLIMÁTICAS DE LONGO PRAZO ASSOCIADOS À ILHA DE CALOR EM ZONA URBANA NA AMAZÔNIA ORIENTAL

Este capítulo tem como objetivo analisar a tendência de variáveis meteorológicas no longo prazo para caracterizar o clima urbano da cidade de Macapá-AP. No presente caso as variáveis-chave são a temperatura do ar e a precipitação pluviométrica. A metodologia consiste nas seguintes etapas: a) coleta e consistência da série de dados por um período contínuo de 50 anos para o Estado do Amapá (1968 – 2018), b) a utilização do aplicativo RCLimDex 1.1/IPCC para estimar as variações e as tendências climáticas locais utilizando-se 27 (vinte e sete) parâmetros climáticos extremos previstos pela equipe de peritos do CCI/CLIVAR e Climate Change Detection Monitoring and Indices (ETCCDMI), c) a aplicação da técnica do índice de vegetação (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI), visando compreender as mudanças de padrões da cobertura vegetal urbana e suas características ambientais no espaço e no tempo, confrontando-os com os índices climáticos obtidos do RCLimDex. Os resultados obtidos acusaram doze indicadores estatísticos significativos ($p < 0,05$), sugerindo tendência generalizada da elevação da temperatura média do ar na zona urbana da cidade. Como consequência, estes indicadores mostraram não somente uma significativa elevação das temperaturas máximas, médias e mínimas, mas também quais são os indicadores mais coerentemente associados com tendências de aquecimento temporal de cidades amazônicas, tanto para períodos diurnos quanto para períodos noturnos. Essa variabilidade dos indicadores confirma a hipótese de provável formação do fenômeno da “ICU” de Macapá desde 2010.

O Painel Intergovernamental sobre mudanças climáticas (da sigla em inglês IPCC) tem sugerido que o atual conjunto de dados disponíveis de temperatura do ar e da precipitação, utilizados para averiguar índices extremos, tem sido insuficiente para quantificar a variabilidade desses parâmetros como medidas de tendências de mudanças climáticas. Portanto, esse conjunto de dados é ainda incapaz de fornecer uma base quantitativa confiável e necessária para os grupos de detecção, atribuição e avaliação dos modelos climáticos, principalmente quando a abordagem analítica são as áreas urbanas tropicais ao redor do mundo (HALIMATOU et al., 2017).

Uma etapa importante desta avaliação global é a combinação de resultados obtidos de avaliações regionais. O IPCC sugere que para temperaturas extremas utilizadas como indicadores de estado de “calor” e “frio” apresenta normalmente algum nível de confiança em relação ao aquecimento em todas as regiões, exceto na África e no Oriente Médio. Nestes

últimos há baixa confiabilidade da base de dados devido a irregular e rarefeita distribuição geográfica das estações de monitoramento, o que limita seu alcance e capacidade de atualizações (ALEXSANDER, 2016).

Neste caso a Organização Mundial Meteorológica (OMM) recomenda que a análise climática de uma determinada região deva ser caracterizada com base no período mínimo de 30 anos de dados. De acordo com Santos et al. (2012), quanto mais longa a série de dados, maior será a confiabilidade da caracterização climática, considerando, no entanto, que um dos principais problemas nos estudos de tendências climáticas é a necessidade de se obter uma série histórica diária de dados, suficientemente consistente para caracterizar com confiabilidade essas tendências regionais ou locais desses eventos.

Para preencher possíveis lacunas de monitoramento das medidas de variações dos elementos meteorológicos para análises climáticas locais, frequentemente, a melhor solução são as quantificações de séries históricas das principais variáveis meteorológicas (temperatura do ar e precipitação). Este tratamento, portanto, necessita normalmente ser realizado por meio de métodos estatísticos representadas por indicadores ou índices climáticos (SILVA, 2016).

Um fator limitante em estabelecer a existência de uma tendência de variabilidade climática está na limitação temporal das séries de dados observacionais, justamente como ocorre na região amazônica, devido à baixa densidade de estações meteorológicas distribuídas nas bacias hidrográficas em um imenso território. Outro problema recorrente são as séries observacionais obtidas com falhas ou imprecisões significativas que podem afetar a estimativa da variabilidade dos índices de tendência climáticas. Deste modo, pode comprometer a quantificação das variações sazonais da temperatura do ar e da precipitação ao longo do tempo (SOUZA; AZEVEDO, 2009). Um terceiro fator, não menos importante, é a dificuldade de tratamento e incorporação de dados brutos em um banco de dados global (ROSAS et al., 2016).

Apesar das limitações de monitoramento contínuo ocorrerem em diversas regiões do globo, após uma ampla avaliação desse problema na literatura, encontramos esforços para melhorar tais condições de monitoramento, como descrito por Halimatou et al. (2017), que sugerem um novo método recomendado pela World Climate Research Programme (WCRP), cuja característica é disponibilizar os dados coletados em um repositório central, cuja finalidade é a de gerar conhecimento mais robusto sobre o clima em uma região.

Os esforços liderados pela ETCCDMI, além de procurar reduzir a lacuna de dados meteorológicos por meio de obtenção de uma série de oficinas regionais, supervisionaram o desenvolvimento de um aplicativo padrão, o RClimDex, que calcula índices extremos a partir

de dados diários de temperatura do ar e de precipitação (ALEXSANDER, 2016). Por exemplo, em investigações na Mongólia, houveram algumas contribuições sobre esta proposta, demonstrando a utilidade do aplicativo RClmDex 1.0 e os métodos de homogeneização de dados, fundamentais na elaboração de uma série histórica (DASHKHUU et al., 2015).

Como as variações climáticas locais são medidas por meio de análise de séries históricas de variáveis meteorológicas, no caso específico de cidades de médio porte da Amazônia, as variações climáticas podem ser medidas utilizando-se essa ferramenta de análise estatística, representada por indicadores ou índices climáticos raramente aplicados a séries longas diárias ou maiores do que 30 anos consecutivos (SANTOS et al., 2012).

A lógica dos processos de análises de séries climáticas é que a energia que atinge a superfície terrestre é devolvida para a atmosfera na forma de fluxo de calor sensível (aquecimento) e latente (evapotranspiração). Deste modo, a informação pode ser utilizada para avaliar o modo como o microclima de uma zona urbana das cidades se comporta como receptor e emissor de calor. Nesta lógica do balanço de energia, as referidas interações físicas são observadas como um sistema aberto e adaptativo de energia em trânsito (SOUZA; AZEVEDO, 2009).

Contudo este balanço de energia em sistemas abertos de grande escala (cidade) não é totalmente homogêneo. E a compartimentação das áreas urbanas e as atividades humanas transformam a cobertura do solo causando diferenciações microclimáticas. Estas, por sua vez, modificam o equilíbrio térmico e as múltiplas interações e respostas do clima urbano a essas mudanças, podendo inclusive gerar microrregiões termicamente desconfortáveis. Então, a manutenção da vegetação e sua conservação (zonas frescas) podem contribuir para a manutenção do equilíbrio térmico em relação à dinâmica urbana (SILVA JUNIOR et al., 2012b) e estas modificações do clima urbano normalmente ocorrem na Camada Limite Urbana, porção atmosférica de até 1 Km de altitude (OKE; TAESLER; OLSSON et al., 1991), região na qual ocorrem os principais mecanismos de trocas térmicas de interação solo-atmosfera (GARTLAND, 2010).

A vegetação possui uma função importante e inibidora da formação do fenômeno da ICU. Isto ocorre em razão de ser potencialmente responsável pela atenuação e absorção de parte dos raios solares e pelo fator sombreamento, sendo importante avaliar o grau da condição saudável ou não da vegetação. Este procedimento normalmente pode ser quantificado por meio de parâmetros de reflectância de imagem do solo. Como resultado, o sombreamento e o efeito da evapotranspiração das plantas, que provoca certo nível de

resfriamento local, é capaz de tornar o ambiente próximo mais confortável termicamente (SILVA JUNIOR et al, 2012). Desta forma, para averiguar correlações existentes entre os índices de cobertura da vegetação da região e os índices de extremos climáticos, pesquisas da área sugerem a aplicação da técnica do NDVI (NDETTO; MATZARAKIS, 2015; ZHA et al., 2003).

Como as interações físicas que causam o fenômeno da ilha de calor são relativamente complexas, e devido à natureza das áreas urbanas e seus padrões meteorológicos o serem, são também complexas as abordagens sobre como esses fatores físicos interagem entre si. Por exemplo, fatores formadores do fenômeno de ICU geram altas temperaturas de superfície, podendo também estimular a formação de brisas nas cidades, que tende a diminuir a intensidade de calor (GARTLAND, 2010), gerando um *feedback* térmico negativo em relação ao aquecimento urbano.

A formação de ilhas de calor em áreas urbanas tende a manifestar mecanismos físicos típicos, mas a intensidade e o momento de ocorrência das ilhas de calor variam de acordo com a localidade, a qual encontra seu próprio e exclusivo equilíbrio entre temperaturas e fluxos de energia, dependentes das características do terreno, presença de grandes corpos de água, tipos de construção e condições meteorológicas locais (KUHN; CUNHA, 2010).

Neste contexto, o modo ideal de quantificar uma ilha de calor seria examinar os padrões do clima regional com e sem a presença da cidade na localidade geográfica. Na literatura da área há pelo menos cinco métodos básicos para medir os efeitos da urbanização sobre os climas urbanos: estações fixas, transectos móveis, sensoriamento remoto, sensoriamento vertical e balanço de energia (GARTLAND, 2010). Com efeito, a importância de se realizar estudos de variações de indicadores de tendência climática, representadas pelas temperaturas máximas e mínimas do ar ao longo de séries climatológicas, é sua aplicação no planejamento urbano, monitoramento e controle da qualidade ambiental (ZHANG et al., 2005). Entretanto, estudos de clima urbano na Amazônia são relativamente escassos e quando são realizados normalmente utilizam-se de séries temporais relativamente curtas para avaliar sua variabilidade interdecadal (SANTOS et al., 2012).

Este capítulo objetiva estudar tendências da variabilidade climática utilizando o RCLimDex AFL 1.0 como subsídio básico aos estudos relacionados com o fenômeno da formação da ICU de Macapá –AP, uma cidade amazônica considerada de médio porte.

Como objetivos específicos neste capítulo pretende-se a) analisar uma série consecutiva de dados diários de 50 anos (precipitação e temperatura do ar) para avaliar a variabilidade dos índices de tendência climática relacionados com o fenômeno da ilha de calor

no ambiente urbano de clima tropical típico amazônico, b) consistir esta série de dados e posteriormente analisar estatisticamente estas séries temporais ao longo de período definido de 50 anos (1968-2018), utilizando-se o aplicativo RClimDex/IPCC (ZHANG; YANG, 2004)

A hipótese principal é de que pelo menos um indicador de temperatura do ar e pelo menos um de precipitação, estimados pelo *aplicativo* RClimDex, apresentem significância ($p < 0,05$) quanto às suas mudanças de tendências temporais. Uma segunda hipótese é que a série histórica atual preenche lacunas relevantes sobre a formação do fenômeno da ICU em Macapá e, conseqüentemente, contribuindo com novas informações sobre o microclima da cidade de Macapá, utilizando-se diferentes fontes de dados e comparando-os com aqueles obtidos por Silva (2016) e Santos et al. (2012).

As áreas temáticas mais beneficiadas pela presente pesquisa são as de planejamento urbano, conforto térmico e ciências ambientais aplicadas, servindo como subsídio técnico à gestão e planejamento urbano, para mitigação dos efeitos deletérios da perda de cobertura vegetal, expansão urbana desorganizada e conseqüente formação do fenômeno da ICU.

5.1 Materiais e métodos

5.1.1 Caracterização climática e área de estudo

Os principais aspectos climatológicos da região de estudo em Macapá, localizada na faixa climática equatorial, são as altas temperaturas do ar e elevados índices totais de precipitação. Estas características são explicadas pelo regime pluvial resultante da combinação ou da atuação predominante da Zona de Convergência Intertropical, das brisas marítimas, e, da fonte de vapor representada pela Floresta Amazônica e da Cordilheira dos Andes (VIANELLO; ALVES, 2012). Em Macapá, os parâmetros climatológicos mais relevantes são a formação de nuvens que influenciam a precipitação pluviométrica e o regime de precipitação local, cujos índices máximos anuais ocorrem de dezembro a maio. Por sua vez, os mínimos anuais tendem a se reduzir em períodos de transição a partir de junho, julho e agosto. Entretanto, os mínimos absolutos ocorrem principalmente na primavera austral, iniciando-se a partir de setembro, com picos mínimos em outubro e, ocasionalmente, estendendo-se até o mês de novembro (TAVARES, 2014).

Os dados e os indicadores utilizados na presente pesquisa compreendem uma série histórica de 50 anos (1968-2018), cujos registros de temperatura máxima e mínima do ar,

além da precipitação pluviométrica, foram obtidos da Estação Meteorológica da Fazendinha, localizadas na Fazendinha, Distrito da capital amapaense (Figura 06).

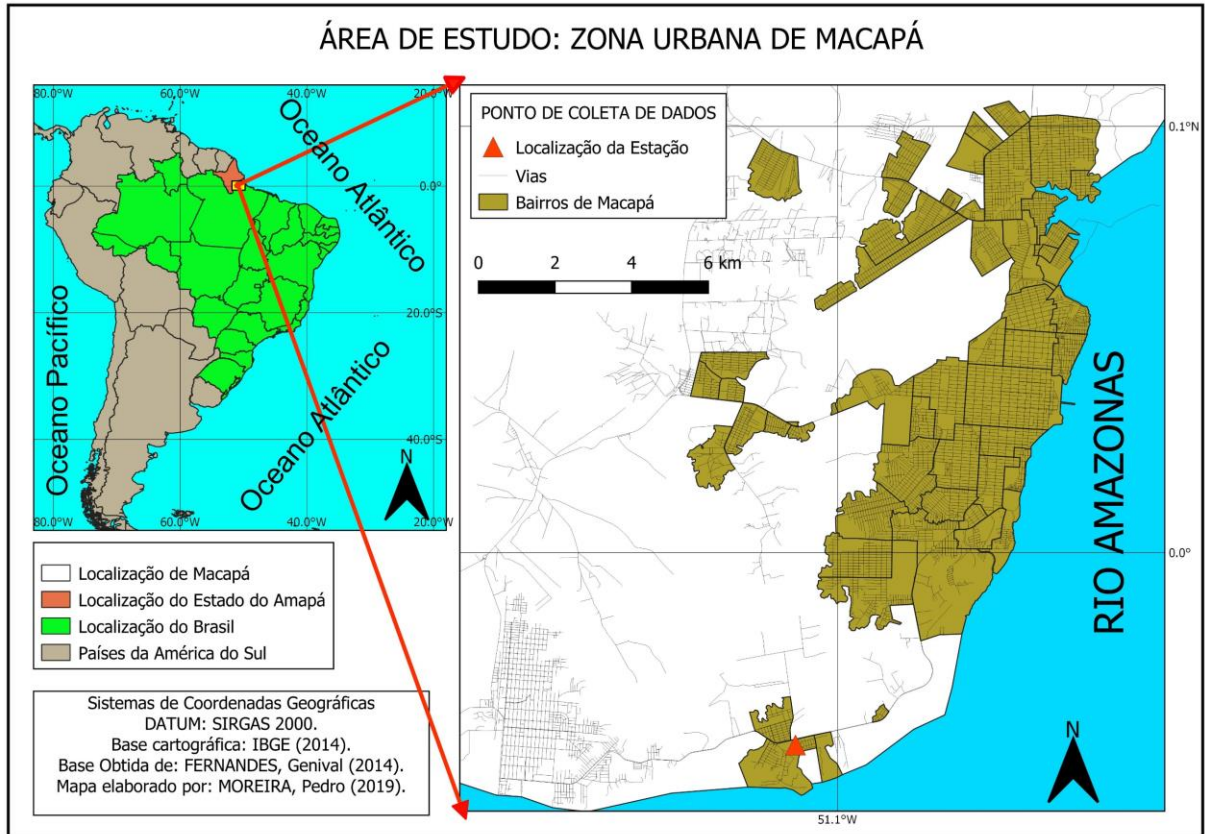


Figura 06: Mapa da área de estudo. Produzido pelos autores em 03/11/2019.

Ocorreu nesta cidade um significativo crescimento populacional, passando de 116.480 em 1970 para 493.634 habitantes em 2018, em virtude de transformações políticas e econômicas, como a implantação da Área de Livre comércio de Macapá e Santana em 1991 (SANTOS, 2012).

Segundo Costa et al. (2013a), o clima da cidade de Macapá pode ser considerado predominante quente e úmido, com temperaturas médias anuais de 26,6 °C, com classificação Koppen do tipo **Ami**, caracterizado como tropical chuvoso, com relativamente pequena amplitude térmica anual e precipitação média mensal superior a 60 mm.

5.1.2 dados utilizados e variação de tendência climática

No presente trabalho de avaliação de tendência climática, foram utilizados dados de apenas uma estação (convencional - localizada na seguinte coordenada geográfica

0°02'42.36"S e 51°06'35.64"W), a qual apresenta uma série histórica de dados diários mínimos de 30 anos, com função climatológica pertencente e mantida pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Infelizmente até o presente momento não foi possível acessar a dados diários de precipitação, temperatura máxima e mínima da estação do Aeroporto (SBMQ), e que poderia ajudar a comporta duas séries de dados para o RClimDex produzir seus indicadores. A série de dados da estação INMET foi intermediada pelo Núcleo de Hidrometeorologia e Energias Renováveis, do Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá (NHMET/IEPA).

Houve a implantação de Estações Meteorológicas automáticas com teletransmissão de dados (PCDs) no Estado do Amapá, porém estas estações detém registros de dados com um período inferior a 30 anos, que é o mínimo recomendado pela Organização Meteorológica Internacional (WMO) para uma análise climatológica confiável. As PCDs instaladas na Zona Urbana de Macapá são as seguintes: 34º BIS, Corpo de Bombeiros do Amapá (CBMAP) e da Companhia de Água e Esgoto do Amapá (CAESA), conforme tabela 02. Em negrito a estação utilizada nesta pesquisa.

Tabela 02: Índices climáticos utilizados com suas respectivas definições e unidades.

Localidade	Tipo de Estação	Código	Órgão	Latitude	Longitude
(Macapá urbana)					
34º BIS	Agrometeorológica	31944	CPTEC	0,03	-51,08
CBMAP	Meteorológica	-	NHMET	0,03	-51,05
Aeroporto	Meteorológica	82099	INFRAERO	0,03	-51,06
Fazendinha	Climatológica	82098	INMET	0,05	-51,12
CAESA	Hidrometeorológica	32234	ANA	0,05	-51,5

Na Tabela 03 são mostrados os principais índices climáticos analisados nesta pesquisa.

Tabela 03: Índices climáticos utilizados com suas respectivas definições e unidades.

Sigla	Nome do Indicador	Descrição	Unidade
TXx	Máximo da Temperatura Máxima	Valor mensal máximo da temperatura máxima diária	°C
CSDI	Número máximo de dias consecutivos no ano com temperatura mínima diária menor que percentil 10 (dias) .	Este índice reflete a duração das ondas de frio.	°C
TMÁX	Temperatura máxima média	Temperatura máxima média da região	°C
TMIN	Temperatura mínima média	Temperatura mínima média da região	°C
TX90p	Dias quentes	Número de dias com temperatura máxima acima do percentil 90	Dias
TX10p	Dias frios	Número de dias com temperatura máxima abaixo do percentil 10	Dias
WSDI	Períodos quentes	Número de dias no ano, com pelo menos seis dias consecutivos, quando a temperatura máxima é maior que o percentil 90.	Dias
DTR	Amplitude Diária de Temperatura	Diferença média mensal entre Temperatura Máxima e Mínima	°C
TN90p	Noites quentes	Número de dias com temperatura mínima acima do percentil 90.	Dias
TN10p	Noites frias	Número de dias com temperatura mínima abaixo do percentil 10	Dias
TNn	Mínimo da Temperatura Mínima	Valor mensal mínimo de temperatura mínima diária	°C
TNx	Máximo da Temperatura Mínima	Valor mensal máximo de temperatura mínima diária	°C
TR20	Noites Tropicais	Número de dias em um ano quando a temperatura mínima Diária é >20 °C	°C
RX1day	Precipitação diária	Quantidade máxima de precipitação em um dia	mm
TNn	Mínimo de Temperatura mínima	Valor mensal mínimo de temperatura mínima diária	°C

5.1.3 Parametrização e aplicação do modelo RClmDex/IPCC

Esta etapa descreve a parametrização dos índices extremos diários de temperatura e precipitação, determinando sua distribuição de probabilidade no RClmDex (ALEXSANDER, 2016). Os índices desenvolvidos pelo ETCCDI não sofrem restrições de dados, criando uma técnica estatística robusta. Contudo, os extremos são sensíveis às questões de escala, cuja representatividade espacial é baseada em valores em pontos e em grade.

Um total de 27 (vinte e sete) índices de extremos climáticos são recomendados pela equipe de peritos do CCI/CLIVAR e Climate Change Detection Monitoring and Indices (ETCCDMI), onde os limites de alguns índices de temperatura e precipitação são definidos pelo usuário (ZHANG; YANG, 2004). Os dados de entrada devem ser de alta qualidade e livre de heterogeneidades. Paradoxalmente, o grande problema de análises de longa duração, no entanto, é manter a homogeneidade dos dados a longo prazo. A heterogeneidade é introduzida por meio de movimentos de localização das estações, mudanças na instrumentação e nas condições locais, processos de urbanização que mudam o equilíbrio térmico e podem criar naturalmente inconsistência nas séries históricas, entre outras (KEGGENHOFF et al., 2015).

O aplicativo RClimDex integra a linguagem de programação R com o aplicativo ClimDex AFL 3.0, fazendo parte de um conjunto de técnicas utilizadas para produzir dados climáticos de pequena escala. É um método direto e fácil de usar e projetado para proporcionar uma interface amigável com o usuário no cálculo de índices de extremos climáticos a partir de séries históricas diárias de dados de temperatura do ar e de precipitação. Além disso é uma das técnicas mais importantes do mundo utilizada para esta finalidade (ROSAS et al., 2016).

Os seguintes procedimentos foram utilizados para parametrizar e utilizar o RClimDex: Inicialmente foram coletados dados de temperatura mínima (TMIN), temperatura máxima (TMAX) e precipitação (PRCP) da Estação Meteorológica da Fazendinha, obtidos no NHMET/IEPA.

A preparação dos dados, caracterizada por sua organização em tabelas, verificação de lacunas de dados, para ser inserida no aplicativo RClimDex®, ocorreu por meio de tabulação organizada no aplicativo Excel® e posteriormente importados no formato ‘.txt’ para alimentar e parametrizar o aplicativo RClimDex®. O RClimDex® é capaz de gerar uma série de parâmetros microclimáticos com base em séries históricas longas e de curta duração, mesmo havendo interrupções em parte dos dados de um período (ZHANG; YANG, 2004; SANTOS et al., 2012).

Os dados foram organizados da seguinte forma a) a obtenção de dados no formato de arquivo de texto ASCII, composto de seis colunas: (ano, mês, dia, precipitação (PRCP), temperatura máxima (TMAX), temperatura mínima (TMIN)), formato aceito pelo aplicativo RClimDex®; b) Análise dos dados faltosos ou com falhas, codificados como -99.9, e os mesmos dados dispostos em ordem cronológica conforme recomendado por Zhang e Yang (2004); c) Cálculo dos índices climáticos, e seleção dos parâmetros estatísticos significativos

($p < 0,05$); d) elaboração de figuras com as saídas gráficas e os respectivos índices de variabilidade climática; e) escolha dos respectivos índices climáticos com significância estatística. Após estas condicionantes e correções em pontuações no arquivo .txt, além da verificação da consistência de dados do Banco de Dados do INMET, objetivando a minimização das lacunas dos dados obtidos no NHMET, este processo tornou mais confiável e completa a sequência da série histórica de 1968-2018 com o preenchimento de 300 lacunas aproximadamente.

Em relação à interpretação gráfica e estatística dos índices, as seguintes descrições metodológicas são necessárias. As linhas pretas contínuas nos gráficos abaixo indicam a tendência da série histórica para o parâmetro analisado. As linhas pretas tracejadas indicam a tendência de variabilidade temporal ou a potencial mudança da variabilidade climática da referida variável em alguma etapa do período. Abaixo do eixo das abscissas das figuras 07, 08 e 09 estão indicados os parâmetros estatísticos coeficientes de determinação (R^2), representando o ajuste das regressões. O parâmetro estatístico r^2 é um indicador da explicabilidade da respectiva variação do índice no tempo. A linha cinza com círculos vazios indica grupos consistidos de dados coletados a partir da estação meteorológica.

A última etapa metodológica consiste na execução de cálculo dos índices, após sua parametrização inicial. Normalmente, nesta etapa são impostos parâmetros pelo usuário antes da execução do modelo pelo aplicativo. Tais parâmetros limitam informações sobre as séries, tais como máxima e mínima precipitação e/ou temperatura no período. Toda a análise é baseada no método dos mínimos quadrados, com nível de significância estatística da tendência também classificado pelo p-valor, coeficiente de determinação (r^2) e avaliação do erro padrão das estimativas. Após esta etapa são calculados os indicadores e disponibilizadas as saídas gráficas, como descritas em parágrafo anterior.

5.2 Resultados encontrados

No total o RClimDex® gerou vinte e sete índices. Mas somente os que apresentaram alta significância estatística, no intervalo de confiança de 95% foram efetivamente analisados. Nos gráficos das figuras 07-09, são mostrados tais indicadores climáticos com significância estatística obtidos para Macapá durante o período de 1968 até 2018.

O índice TMIN, temperatura mínima média (figura 07b) apresenta um aumento significativo, de 22,5°C para aproximadamente 24°C, com um índice de determinação de 64.6

($p < 0.05$), indicando que as temperaturas mínimas continuam subindo. Além disso, houve um aumento indicado pelo índice TMAX (figura 07a), relacionado à temperatura máxima média, que no início da década de 1970 aproximadamente alcançou níveis de 30,5°C para aproximadamente 33°C na década de 2010, com um coeficiente de determinação de 75.7 ($p < 0.05$).

Colunga et al. (2015) indicaram, após análise na cidade de Querétaro no México, um aumento de 0,75°C na temperatura mínima média, explicada pelo aumento da urbanização e adensamento da população local da ordem de 33%, comparando o período de 1982-2011. Ao mesmo tempo, a cobertura vegetal teve um efeito espacial na temperatura do ar e na redução do efeito do fenômeno da intensidade da ICU, na comparação entre as estações fria e quente, sendo na ordem de 1,76°C durante a estação fria e 2,18°C durante a estação quente

O índice TNx (figura 07c) (máximo de temperatura mínima), relacionado ao valor mensal máximo de temperatura mínima diária, apresentou um aumento estatístico significativo, variando de 26°C em 1968 para 27°C em 2018, com pico de 27,5 °C na década de 2010, indicando a influência da urbanização neste processo. Essa variação mostra que a urbanização influenciou no balanço de energia, pois a densidade dos materiais de construção favorece sistemas com uma maior capacidade para estocagem de calor, como demonstrado nas figuras 07c e 07d. Um dos reflexos é o aumento da temperatura mínima noturna, pela alteração provocada pelos materiais urbanos nos processos de absorção, transmissão, reflexão e nas características da atmosfera local (GARTLAND, 2010).

Verifica-se que o máximo de temperatura mínima (figura 07c) se elevou de iniciais 26°C em 1968, para aproximadamente 27,5 °C em 2019, , embora tenha apresentando uma queda de 1°C durante a década de 1970 e um acréscimo de amplitude de aproximadamente 1,5 °C. Interessante que determinados picos, ocorridos nos períodos de 1982-1983 e 1997-1998, coincidem com períodos de forte intensidade do fenômeno *El niño*, que provoca o aquecimento das águas do Oceano Pacífico e também a queda nos níveis de precipitação na Amazônia, sugerindo alguma interferência no microclima local. No pico entre os anos de 1986-1988 este fenômeno foi de intensidade moderada. (JIMÉNEZ-MUÑOZ, 2016).

O índice TXx (Figura 07d), representa o valor mensal máximo da temperatura máxima diária. Este índice sugere aumento consistente e significativo da temperatura máxima das máximas diárias, com picos de intensidade crescentes, especialmente nas décadas de 1980 (com pico aproximado de 36 °C) e 2000 (com pico aproximado de 36,5 °C).

Outro aspecto que corrobora esta interpretação é a taxa de crescimento populacional na cidade de Macapá, da ordem de 323,70%, aproximadamente, entre os anos de 1970 e 2018, ou

seja, uma taxa de aumento anual de 8,09% para o período. Esta expansão urbana ocorreu primeiramente na zona norte, e posteriormente se direcionou para a zona oeste e, por fim, atualmente está ocorrendo nova expansão na direção da zona sul da cidade, especificamente na região do Distrito da Fazendinha, próxima da estação meteorológica (SILVA, 2016).

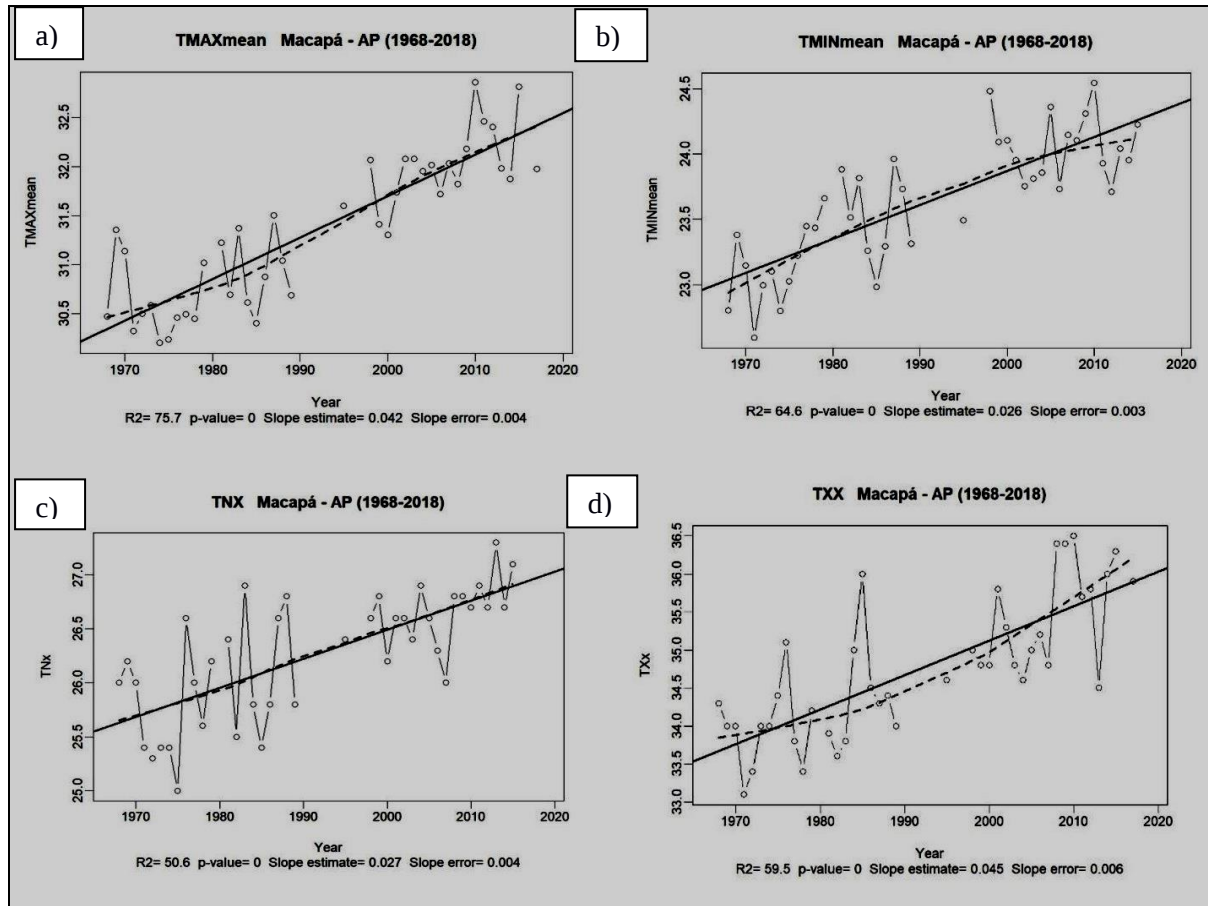


Figura 07 – a) Evolução temporal do índice climático TMAX (temperatura máxima média), b) TMIN (temperatura mínima média), c) Evolução temporal do índice climático TNx (máximo das temperaturas mínimas) e d) TXx (máximo das temperaturas máximas).

O índice TX90p representa o número dias quentes, ou número de dias com temperatura máxima acima do percentil 90. Este índice apresenta aumento significativo quando compara-se o início da década de 70, com um pouco acima de 10 dias quentes por ano, para 50 dias quentes durante a década de 2010 (400% de aumento), com picos acima de 50 dias quentes conforme figura 08d.

O índice TN10p representa número de noites frias (figura 08a), e está relacionado ao número de dias com temperatura mínima abaixo do percentil 10. Este índice apresentou uma queda expressiva, tendo aproximadamente picos de 50 noites frias durante a década de 1970, e, apresentando registros abaixo de 10 noites frias na década de 2010. E quanto ao TN90p

(figura 08c), indicador de noites quentes na capital amapaense este parâmetro apresenta um aumento progressivo significativo. No início da década de 1970 havia aproximadamente 05 noites quentes. Mas no ano de 2010 este número passou a apresentar 40 noites quentes, mostrando uma variabilidade inversa e esperada em relação ao índice TN10p.

A estimativa da curva TN90p (figura 08c) apresenta uma tendência de aumento, provavelmente associado ao fenômeno da urbanização e da redução dos índices de vegetação na cidade de Macapá. Halimatou et al. (2017) relataram efeito semelhante em Bamako e Ségou, no Mali, país localizado na região equatorial africana. Os referidos autores compararam TN90p entre os anos de 1961 e 2010 e observaram um aumento significativo do número de noites quentes, com mais influência no aquecimento térmico daquela região.

Santos e Oliveira (2017) realizaram uma análise sobre as mudanças na paisagem natural no Estado do Pará e também detectaram padrão de coerência espacial entre os índices de temperaturas. Por exemplo, aumento moderado nas temperaturas máximas diárias e um significativo aumento nas temperaturas mínimas.

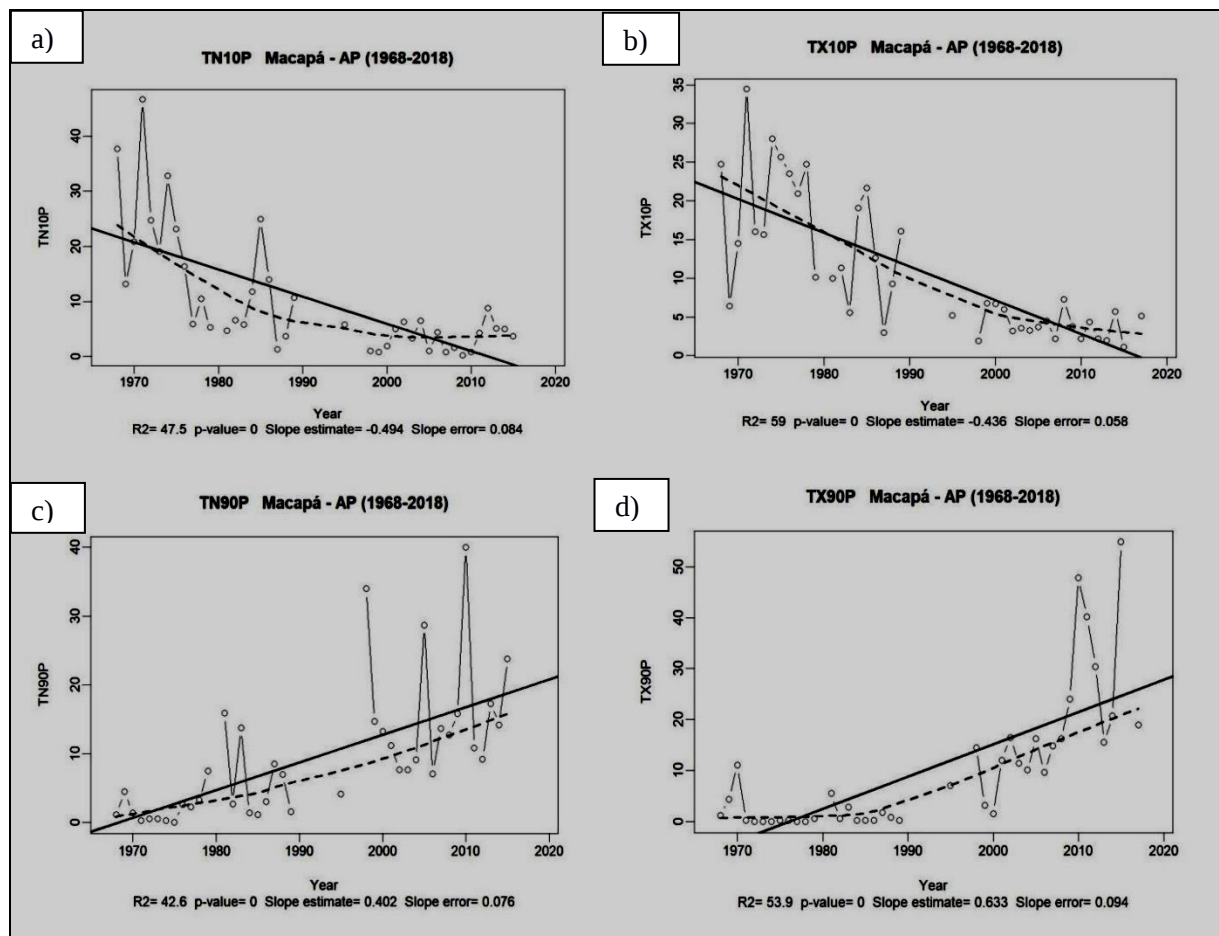


Figura 08 – a) Evolução temporal dos índices climáticos TN10p (noites frias), b) TX10p (dias frios), c) TN90p (noites quentes), d) TX90p (dias quentes).

O índice TX10p (figura 08a), representando o número de dias com temperatura máxima abaixo do percentil 10, mostra uma acentuada e significativa queda anual ($p\text{-value} = 0,000$). Isto porque, na década de 1970 seu valor era de aproximadamente 35 dias. Mas na década de 2010 configura abaixo de 10 dias anuais. Isto ocorre em virtude da redução dos níveis de vegetação e da expansão urbana. Zhao et al. (2012) também registraram uma tendência significativamente decrescente de dias frios em 90,6% das estações na Bacia do Rio Haine, na China, região que fornece recursos hídricos para a indústria e a agricultura no norte do país asiático.

Os índices climáticos reportados na figura 09a (WSDI – períodos quentes), 09b (DTR – Amplitude diária de temperatura), 09c (CSDI – períodos frios) e 09d (TR20 – noites tropicais), apresentaram patamares estatísticos significativos. Porém, com um índice de determinação baixo, visto devido às fortes oscilações deste parâmetro no período analisado e/ou com anos sem resultados expressivos.

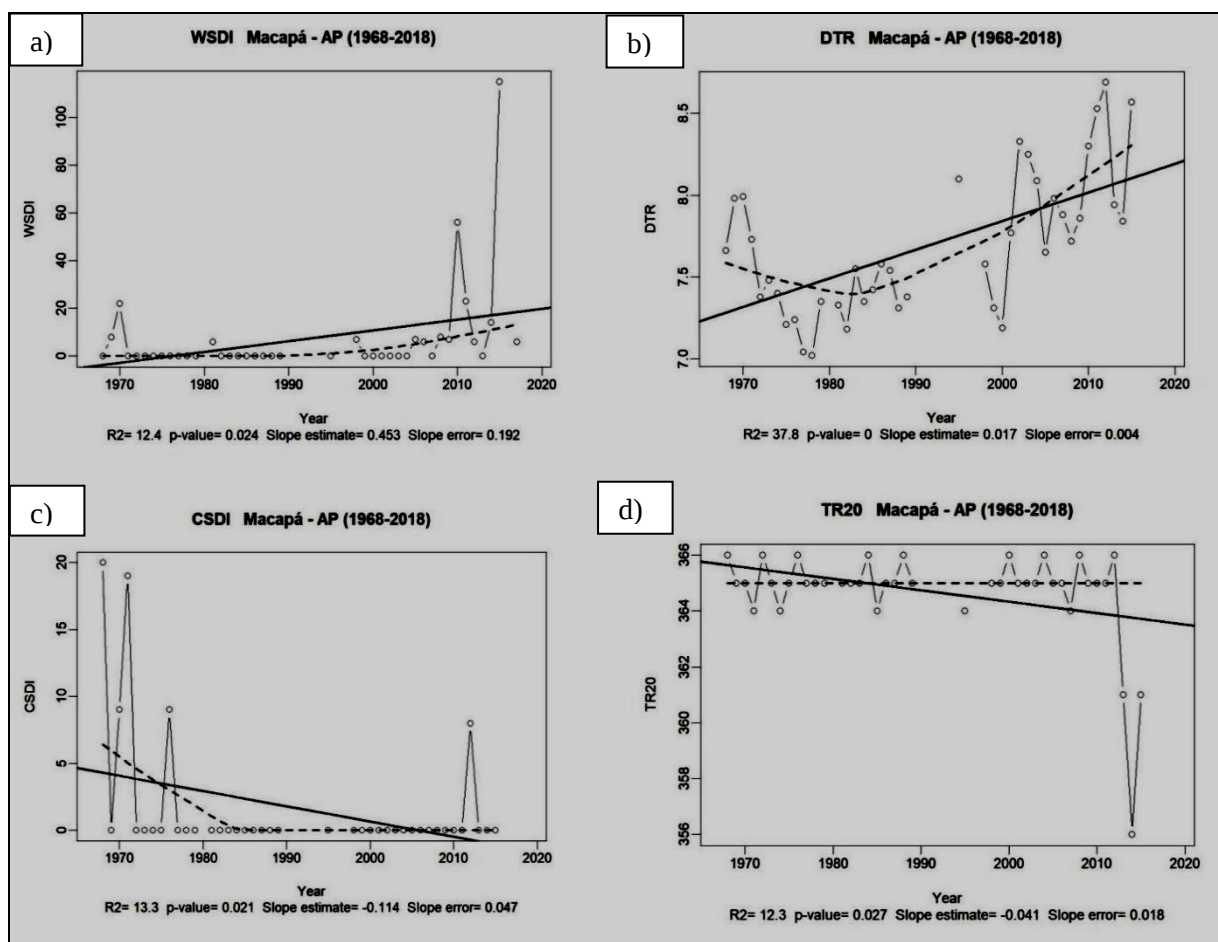


Figura 09 – a) Evolução temporal dos índices climáticos WSDI (períodos quentes), b) DTR (amplitude térmica diária) c) CSDI (Número máximo de dias consecutivos no ano com temperatura mínima diária menor que percentil 10 dias) e d) TR 20 (noites tropicais).

O índice WDSI (figura 09a), que mede os períodos quentes do ciclo climático, também apresenta oscilações significativas. Inicialmente ocorreu aproximadamente um pico de 20 dias de períodos quentes, no início da década de 1970. Posteriormente, após este pico, os períodos quentes são reduzidos e se estabilizam até a década de 1990. Durante a década de 2000 em diante, apresenta oscilações com picos acima de 100 dias durante a década de 2010, indicando um aumento significativo nos períodos quentes na capital amapaense (variação de 400%).

O índice DTR (figura 09b), da amplitude térmica diária, inicialmente indica uma redução quando são comparados o final da década de 1960 até a metade da década de 1980. A partir deste período, observa-se uma reversão do índice, ou seja, ocorre o aumento da diferença entre temperatura máxima diária e a temperatura mínima diária, resultantes do aumento no processo de urbanização e a redução nos índices de vegetação (Figura 09a e 09b).

O índice CSDI (figura 09c), representando a duração das ondas de frio de uma região, apresenta um número máximo de 20 e 10 dias consecutivos no ano, respectivamente, no final da década de 1960 e durante a década de 1970. Entre as décadas de 1980 e 2010, o CSDI permaneceu praticamente nulo, indicando altas temperaturas na capital amapaense. Isso está relacionado ao aumento do número de dias e noites quentes e a redução do número de dias e noites frias no período, indicando a diminuição da probabilidade de ocorrer dias consecutivos de ondas de frio em Macapá, reforçada pelo decréscimo da curva a partir de 2010, mesmo apresentando alguma incidência em 2010.

O índice CSDI apresentou significância estatística, o que curiosamente difere dos resultados não significativos encontrados por Santos et. al. (2012). No presente estudo, este indicador pode ter apresentado resultado significativo em comparação ao da referência citada, provavelmente em virtude da atualização e expansão da série de dados.

O índice TR20 (figura 09d), relacionado a noites tropicais, ou número de dias em que a temperatura mínima esteve acima de 20°C, apresenta pouca variabilidade. Tanto que nos anos bissextos (1980, 2004, 2008, por exemplo), todos os dias apresentaram a temperatura mínima acima de 20°C. Durante a década de 2010 ocorreu uma pequena queda, de 365 para aproximadamente 356 dias, o que indica mesmo assim, que os dias e noites são evidentemente quentes na capital amapaense.

Os índices de precipitação (R1mm, R10mm, R20mm, R95, R99, por exemplo) se mostraram inconstantes. Além disso, nenhum destes índices apresentou significância estatística. Este fato corrobora os resultados obtidos por Keggenhoff et al. (2014) e

Keggenhoff et al. (2015), em que a precipitação de uma região de fato não possui uma coerência espacial mais exata, tal qual a temperatura.

Mas, na presente investigação, percebe-se que a redução dos níveis de vegetação não está significativamente associada com a expansão do espaço físico urbano ou exposição do solo somente. Na realidade, esta relação no presente estudo de fato apresentou baixa explicabilidade e não foi significativa ($r^2 = 0,22$, p-valor = 0,19). Isto é, a expansão urbana explica apenas 22% da variação da vegetação (coeficiente negativo e igual a -0,3455).

Contudo, como pode ser observado no p-valor, esta variação não é significativa. De modo similar, mas agora relacionando somente o percentual de área de solo exposto e o percentual de área vegetada, esta relação no presente estudo também apresentou muito baixa explicabilidade, não sendo também significativa ($r^2 = 0,038$, p-valor = 0,2875). Isto é, a exposição de solo nú explica apenas 3,8% da variação da vegetação (coeficiente negativo e igual a -0,2829). Entretanto, ao se correlacionar percentual de área urbana versus percentual de solo exposto, surge uma correlação potencialmente significativa (p-valor = 0,081, muito próximo do limite de significância), um coeficiente angular = -0,6030, e $r^2 = 0,3729$). Portanto, a exposição do solo nú é significativamente explicada pela expansão urbana. Mas, nem o solo exposto nem a urbanização explicam sozinhas as tendências dos parâmetros climáticos medidos pelo RclimDex para Macapá.

Assim, outras variáveis não mensuradas no presente estudo podem estar favorecendo ou arrefecendo o aquecimento da cidade de Macapá. Porém, a tendência inversa entre índices de vegetação versus percentual de urbanização ou percentual de solo exposto se mantém, confirmando-se uma redução da vegetação remanescente com o crescimento urbano, mesmo que não significativa.

Kunh e Cunha (2010) sugerem que as brisas fluviais, oriundas do Rio Amazonas, dado ser um imenso corpo de água doce são fatores que podem ter melhor significância em relação ao uso e ocupação do solo. Além disso, os autores comentam que nas últimas décadas, tem havido significativa alteração de alguns mecanismos de circulação atmosférica em decorrência da existência de superfícies heterogêneas dentro e próximo das zonas urbanas (vegetadas, urbanas, solos expostos, superfície de água, etc). Todos estes parâmetros podem afetar diretamente os fluxos de calor latente, sensível, momentum, dentre outros, no ambiente urbano, pois todos os complexos fatores envolvidos no fenômeno são dependentes de parâmetros que provocam alterações não lineares com respeito à temperatura local.

Retornando aos parâmetros de tendência climática urbana medido pelo RclimDex em Macapá, por exemplo, ao se aplicar o teste estatístico de Wilcoxon (para comparar duas

medianas), entre percentual de solo exposto (16,85%) e percentual de vegetação (17,73%), obtivemos os seguintes valores para a variância, $V = 171$ e $p\text{-valor} < 0,0001$, indicando que ambas são significativamente distintas e independentes. Isto é, a primeira (% de área de solo exposto) é independente da segunda (% de área vegetada), apesar de apresentarem valores de medianas próximas.

Os indicadores também demonstram um aumento das temperaturas máximas médias e temperaturas mínimas médias, os quais elevaram-se em torno de 2°C , quando comparadas às temperaturas máximas aos anos de 1970 e 2010 e em torno de $1,5^{\circ}\text{C}$ aproximadamente quando comparadas às temperaturas mínimas, no mesmo período.

Para efeito de generalizações, Cavalcanti et al., (2009), por exemplo, comentam que as projeções dos modelos globais do IPCC-AR4, em relação às mudanças nos regimes e distribuição de chuva, derivadas de modelos globais do IPCC-AR4, mostram aquecimento em todo o Brasil e redução de chuvas na Amazônia Oriental, exatamente onde está localizado o estado do Amapá. Mas os cenários de chuva têm sido realmente não conclusivos. E esse fato foi confirmado na presente pesquisa pelos parâmetros de tendência de chuva. Isso ocorre porque dependem dos modelos regionais, os quais ainda apresentam muitas incertezas. Por outro lado, as projeções para temperatura do ar são mais reveladoras e a consistência entre os modelos tende a ser maior. Por exemplo, no cenário otimista do IPCC (B2), o aquecimento anual pode chegar até 3°C no Brasil e, no cenário pessimista (A2), até 5°C na parte sul da Amazônia (região de maior taxa de desmatamento). Entretanto, os valores de temperatura dos parâmetros de tendência do clima local, obtidos na presente pesquisa, estão contidos entre ambos os cenários.

Neste contexto, nossos resultados estão consistentes com a tendência prevista para quase todo o país, o qual também está sujeito à eventuais eventos extremos e influências exclusivamente locais. Na Amazônia, por exemplo, para um cenário A1B (1980-2099), além de ondas de calor, tem sido considerado uma efetiva tendência de aumento na frequência de dias secos consecutivos e de noites quentes (CAVALCANTI et al., 2009).

Os dados obtidos na presente pesquisa corroboram com os de Silva (2010) que, por meio de estudos dos extremos climáticos no Estado do Pará, afirma que os anos mais expressivos de dias secos consecutivos são coincidentes com os anos de configuração dos episódios do El Niño, além dos anos de ocorrência da fase quente do gradiente do Atlântico. Além disso, os dados de temperatura no Estado do Pará mostram que ocorreu um aumento de eventos de dias quentes, enquanto ocorreu uma redução gradativa em relação às noites frias.

Silva (2010) demonstrou também que a sub-região leste da Amazônia, que engloba o Estado do Amapá, apresentou mudanças estatisticamente significativas de temperatura do ar e poucos índices significativamente estatísticos de precipitação, se destacando o CDD (Duração de períodos de estiagem), e ainda, observaram um aumento na maioria dos índices extremos climáticos da temperatura do ar, como os dias e noites quentes (respectivamente TX90p e TN90p) e uma tendência para redução dos índices extremos frios, como os dias e noites frias (respectivamente TX10p e TN10p) na região Amazônica.

A análise das tendências de temperatura do ar e da precipitação realizadas em 13 localidades do estado do Pará, localizado na Amazônia oriental brasileira, no período 1970 e 2006, demonstraram o aumento do número de dias e noites quentes, além da redução significativa dos dias e noites frios naquele Estado. Quanto aos dados de precipitação encontrado pelos referidos autores, os padrões são semelhantes aos encontrados na presente pesquisa, pois ocorreu uma alta variabilidade espaço-temporal deste elemento meteorológico, apresentando poucas das treze localidades estudadas algum grau de variação de tendência temporal estatisticamente significativo (SANTOS; OLIVEIRA, 2017). Este trabalho, além do de Silva (2010), são importantes na presente análise porque o Estado do Pará é contíguo ao Estado do Amapá.

Assim sendo, conforme tabela 04, os índices climáticos que apresentaram significância estatística (95% confiança) e cujos coeficientes de determinação melhoraram em comparação aos de Santos et al. (2012), foram: o CSDI, o DTR, a TN10p, TX10p, as temperaturas máximas e mínimas (TMAX e TMIN), TNx e TXx. Ou seja, oito parâmetros de tendência climática, não considerados significativos por Santos et al., (2012), tornaram-se significativos na presente análise, apenas devido ao aumento da série temporal de uma década.

De forma inversa, sete parâmetros de tendência climática passaram a ser não significativos. Por exemplo, reduziram sua significância estatística e/ou explicabilidade em comparação com Santos et al. (2012) os seguintes parâmetros: WSDI, TN90p, TX90p, TR20, TXn, TNn e GSL (este último, significando a duração da estação de cultivo, medido em dias). Embora não apresentados neste trabalho, alguns índices apresentam significância estatística moderada (90% confiança): RX1day, relacionada a quantidade máxima de precipitação em um dia (valor p igual a 0,1) e TNN, que é o mínimo de temperatura mínima, com p-valor = 0,068. Na tabela 04, há um resumo dos índices com significância estatística, e, de índices não significativos, identificado por meio da sigla (NS).

Tabela 04: Comparativo nos índices entre esta pesquisa e Santos et al. (2012).

Índice	Esta pesquisa (50 anos) R ² e p-value:		Santos et al. (2012) (39 anos) R ² e p-value:		Comparativo R ² e p-value:
TMÁX	75,7	0,000	NÃO SIGNIFICATIVO (NS)		Melhoraram
TMÍN	64.6	0	NS		Melhoraram
TNx	50.6	0	13.8	0.033	Melhoraram
TXx	59.5	0	24.4	0.004	Melhoraram
TN10p	47.5	0	43	0	Melhoraram
TX10p	59	0	42	0	Melhoraram
TN90p	42.6	0	58.9	0	Pioraram
TX90p	53.9	0	75.6	0	Pioraram
WSDI	12.4	0,024	56.2	0	Pioraram
DTR	37.8	0	17.4	0.018	Melhoraram
CSDI	13.3	0,021	NS		Melhoraram
TR20	12.3	0,027	17.9	0.014	R ² piorou, p-value melhorou
RX1DAY	6.0	0,101	5.7	0.163	Melhoraram
TNn	8.5	0,068	30.6	0.001	Pioraram
GSL	NS		5.7	0.188	Pioraram

5.3 Considerações sobre os índices climáticos em Macapá (1968-2018)

Às séries de tendências climáticas anteriores até 2010 para Macapá, obtidas por Santos et al., (2012), foram incluídas novos dados até o ano de 2018. Mas, mesmo com apenas uma relativamente curta extensão desta nova série de dados, foram percebidas alterações significativas de alguns índices de tendência climática. Enquanto outros perderam sua significância, o que confirma nossas hipóteses em relação aos padrões da temperatura do ar, mas não os de precipitação.

Desta forma os índices climáticos que tiveram sua explicabilidade aumentada (R²), mantendo um nível de confiança de 95%, neste trabalho e em comparação com Santos et al. (2012), foram: a DTR, a TN10p, a TX10p, as temperaturas do ar máxima e mínima, TNx e TXx. Por sua vez, as que tiveram sua explicabilidade diminuída (R²) mesmo mantendo ou não o intervalo de 95% de confiança, comparando esta pesquisa com o trabalho anteriormente citado foram: WSDI, TN90p, TX90p, TR20, TXn, TNn e GSL.

Outros índices foram considerados, para fins de comparação, embora com significância estatística moderada de 90%. São estes: RX1day, relacionada a quantidade máxima de precipitação em um dia (com p-value de 0.101) e TNn, mínimo de temperatura

mínima, (com p-value de 0.068). Ambos os índices tiveram declínio e/ou explicabilidade baixa, quando comparado com Santos et al. (2012).

Em relação as hipóteses apresentadas, verificou-se que mais do que um indicador de temperatura do ar variou sua tendência de forma significativa (Figuras 07, 08 e 09), apresentando significância estatística. Tal como citado por Santos e Oliveira (2017), Silva (2016), Santos et al. (2012) e Silva (2010), são estes o DTR, TN10p, TX10p, TNx, TXx, WSDI, TN90p, TX90p, TR20, TXn, TNn e CSDI.

Quanto a hipótese relacionada aos índices de precipitação, verifica-se que não apresentam significância estatística ($R^2 > 95\%$). Neste sentido, uma exceção que poderia ser apresentada seria o índice RX1day (precipitação diária), mas apenas tomando como parâmetro a média significância ($R^2 > 90\%$, ou p-value < 0.1). Isto indica que a precipitação não possui uma espacialidade bem definida, independentemente do índice de vegetação. Assim, o coeficiente de determinação, que explica a importância da variável, mostrou-se muito baixa (6% apenas) do índice citado acima.

A confirmação ou rejeição das hipóteses mostra que a metodologia utilizada na presente pesquisa é robusta, capaz de estimar determinados problemas ambientais como o “aquecimento da malha urbana”, como o aumento do fluxo térmico na cidade de Macapá.

Como a presente metodologia pode ser facilmente aplicável a qualquer local do mundo, subsidia análises sobre o problema da ICU com mais clareza e especificidade, e, auxilia no planejamento urbano, recomenda-se que novas pesquisas sejam feitas utilizando esta metodologia. Os fenômenos de mudança das tendências climáticas urbanos, em toda a Amazônia, e em regiões tropicais ao redor do mundo, podem e devem ser monitoradas, pois muitas soluções práticas que variam desde o conforto humano, eficiência energética, qualidade de vida, dentre outros, dependem do conhecimento mais elementar desses parâmetros de variação local da temperatura e da precipitação.

6 VARIABILIDADE DA TEMPERATURA E DA UMIDADE RELATIVA DO AR EM SÍTIOS COM DIFERENTES COBERTURAS VEGETAIS EM ZONA TROPICAL URBANA: ANÁLISE ESPACIAL E FORMAÇÃO DA ILHA DE CALOR URBANA

Este capítulo tem como objetivo analisar espacialmente a formação e ocorrência do fenômeno da ICU na cidade de Macapá. Neste tópico foram analisados fundamentalmente os elementos meteorológicos da umidade relativa do ar e da temperatura do ar em nove sítios amostrais localizados nos eixos Nordeste-Sudeste, Oeste-Leste (figura 01).

Inicialmente para entender a evolução urbana e de vegetação na capital amapaense foram feitas análises gerais sobre os índices de vegetação (NDVI), construção (NDBI), além da classificação supervisionada de máxima verossimilhança (MAXVER).

Na figura 10, por meio da MAXVER, percebemos a evolução do crescimento urbano na cidade de Macapá, ao compararmos os anos de 1990 com 2017. Até a década de 1990, a mancha urbana estava localizada na zona centro-leste. Porém, no final da década de 1980, como a transformação do então Território Federal do Amapá em estado, e a criação da Área de Livre Comércio de Macapá e Santana (ALCMS), no início da década de 1990, ocorreu um movimento de atração populacional, que passou a ocupar novos espaços na capital amapaense (SANTOS, 2012).

Silva (2016) analisa os impactos do crescimento urbano da cidade de Macapá na modificação do seu microclima, principalmente em relação ao fenômeno da ICU e dos índices de conforto térmico. A autora observa um crescimento da mancha urbana da cidade inicialmente no sentido norte, posteriormente em sentido oeste e, mais recentemente, essa expansão ocorreu no eixo sul da Região Metropolitana de Macapá.

A figura 10 mostra o processo de crescimento da mancha urbana, e que no início da década de 1990 estava concentrada na parte central da cidade de Macapá, próxima ao Rio Amazonas. Em 2000 já se verifica um crescimento da mancha urbana, identificada pelos pixels na cor vermelha, na direção norte, oeste e sul em relação ao centro. E, por fim, no ano de 2017, ocorreu uma densificação mais genérica da expansão da mancha urbana de Macapá.

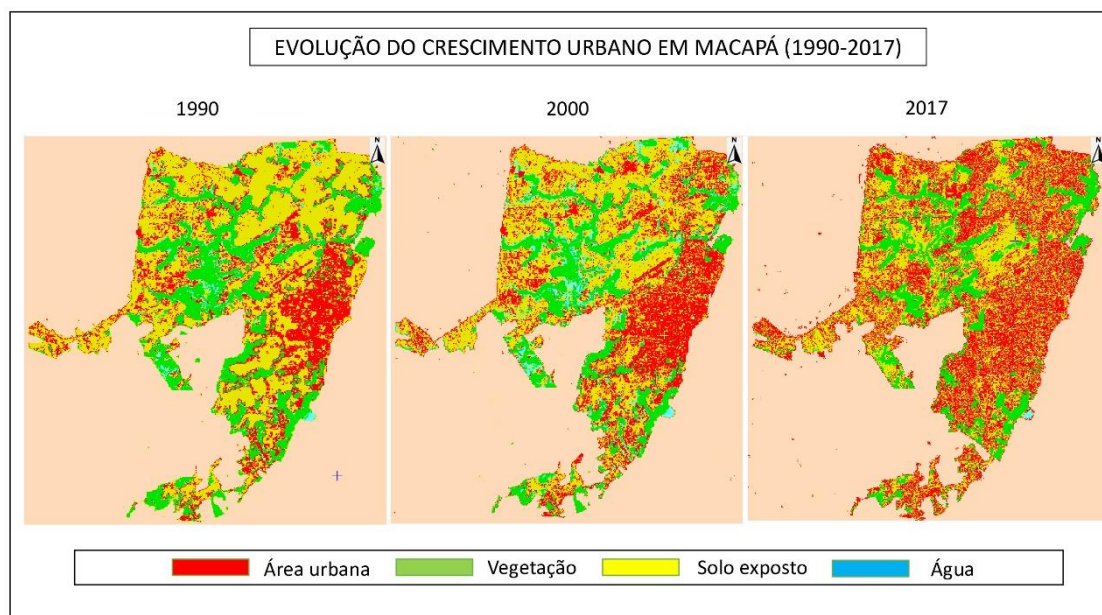


Figura 10: Mapa de evolução do crescimento urbano da cidade de Macapá (1990-2017). Produzido em 08/12/2019.

A imagem classificada acima trouxe os seguintes dados de vegetação (representada pela cor verde), área urbana (cor vermelha), solo exposto (cor amarela) e água (cor azul), conforme tabela 05:

Tabela 05: Porcentagem das classes de vegetação, área urbana, solo exposto e água, utilizando-se a técnica de Máxima Verossimilhança.

Ano	Vegetação (%)	Área urbana (%)	Solo exposto (%)	Água (%)
1990	25,02	24,11	47,82	3,03
2000	20,36	30,06	43,02	6,56
2017	17,20	37,84	42,58	2,38

A tabela 05 indica, após um comparativo das classes acima em um período de 27 anos, que houve um acréscimo de 13,73% de área urbana, uma redução de 8% na vegetação e de 5,24% nos níveis de solo exposto. Além disso, houve uma oscilação na classe água, subindo inicialmente em 3,53% até o ano 2000 e, posteriormente reduzindo 4,18%. Esta redução da classe água, quando comparados os anos de 2017 e 2000, ocorre em função da expansão significativa da classe “área urbana”.

6.1 Análise do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

O índice de vegetação mais difundido é o Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), analisado por meio da interpretação de imagens de sensores remotos, obtidos em datas diferentes, que permite avaliar a variação de área verde em um determinado período (ZANZARINI et al., 2013). O NDVI permite também classificar com sucesso a distribuição global da vegetação e inferir variabilidades ecológicas e ambientais e outros atributos do uso do solo. Este índice é obtido por meio da razão entre a diferença das refletividades do infravermelho-próximo e do vermelho e, pela soma destas refletividades (equação 1).

$$NDVI = (P_{iv} - P_v) \div (P_{iv} + P_v) \quad (1)$$

Em que P_{iv} e P_v , correspondem, respectivamente, às bandas 4 e 3 do LANDSAT 5 e 7, e, as bandas 5 e 4 do LANDSAT 8.

Nas figuras 11 e 12 observa-se a variação do índice de vegetação, respectivamente para os anos de 1990 e 2019.

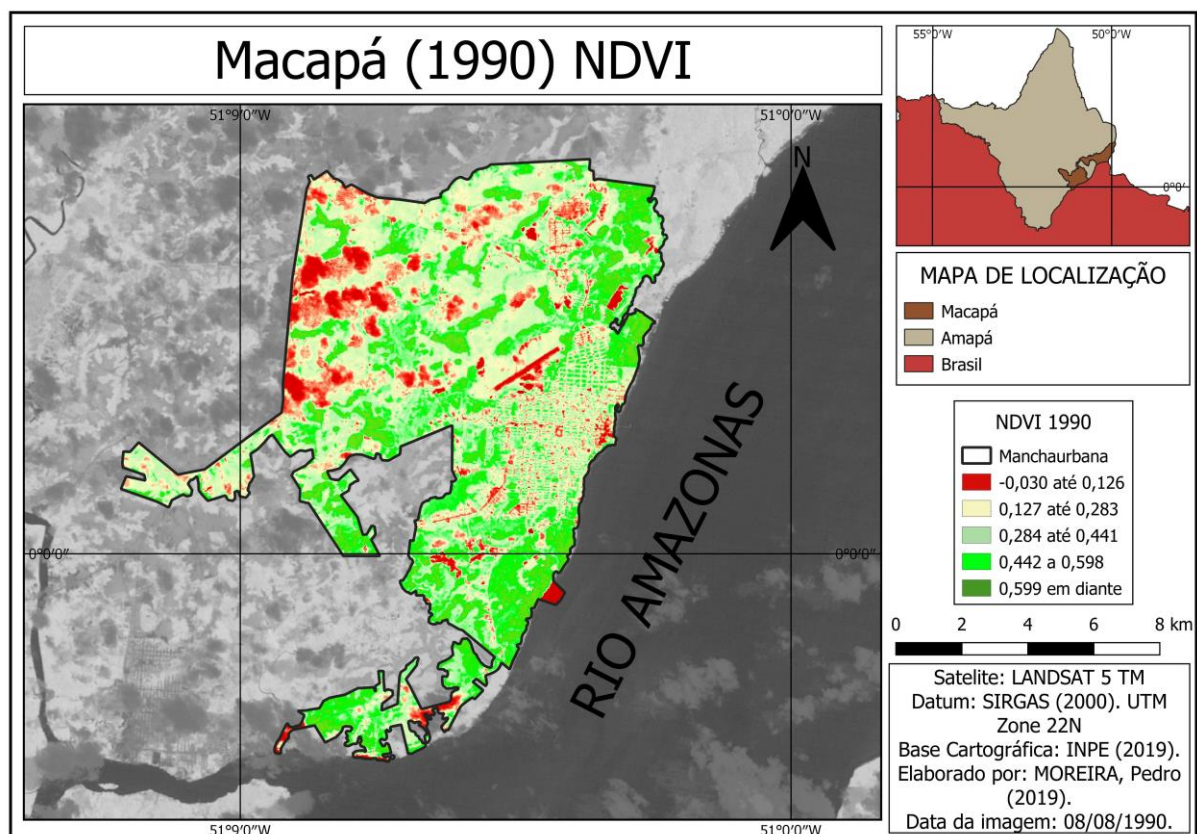


Figura 11: Índice de vegetação da cidade de Macapá em 1990. Produzido em 08/12/2019.

Na figura 11, referente ao período de transformações urbanas ocorridas até o início da década de 1990, demonstra alguns aspectos no que se refere a vegetação. Inicialmente, verifica-se que há uma porcentagem significativa de vegetação, inclusive saudável (representada pela cor verde clara e escura, de 0,442 a 1) espalhada por todas as regiões da cidade, inclusive na orla do rio Amazonas.

As áreas com uma vegetação deficiente ou inexistente são localizadas no centro da mancha urbana da imagem e que não possuem grande destaque (representada pelas cores vermelha, amarela e laranja) e esses pixels, não necessariamente estão relacionados com áreas urbanas, visto que em determinadas regiões ocorre apenas a existência de solos expostos. Mesmo assim, os valores mais baixos do NDVI são próximos a zero, em uma escala de -1 (vegetação inexistente) a 1 (vegetação saudável), o que indica alguma presença de vegetação nas áreas mais urbanizadas.

Na figura 12, referente ao NDVI de 2019, já apresenta algumas transformações, quando comparada ao início da década de 1990.

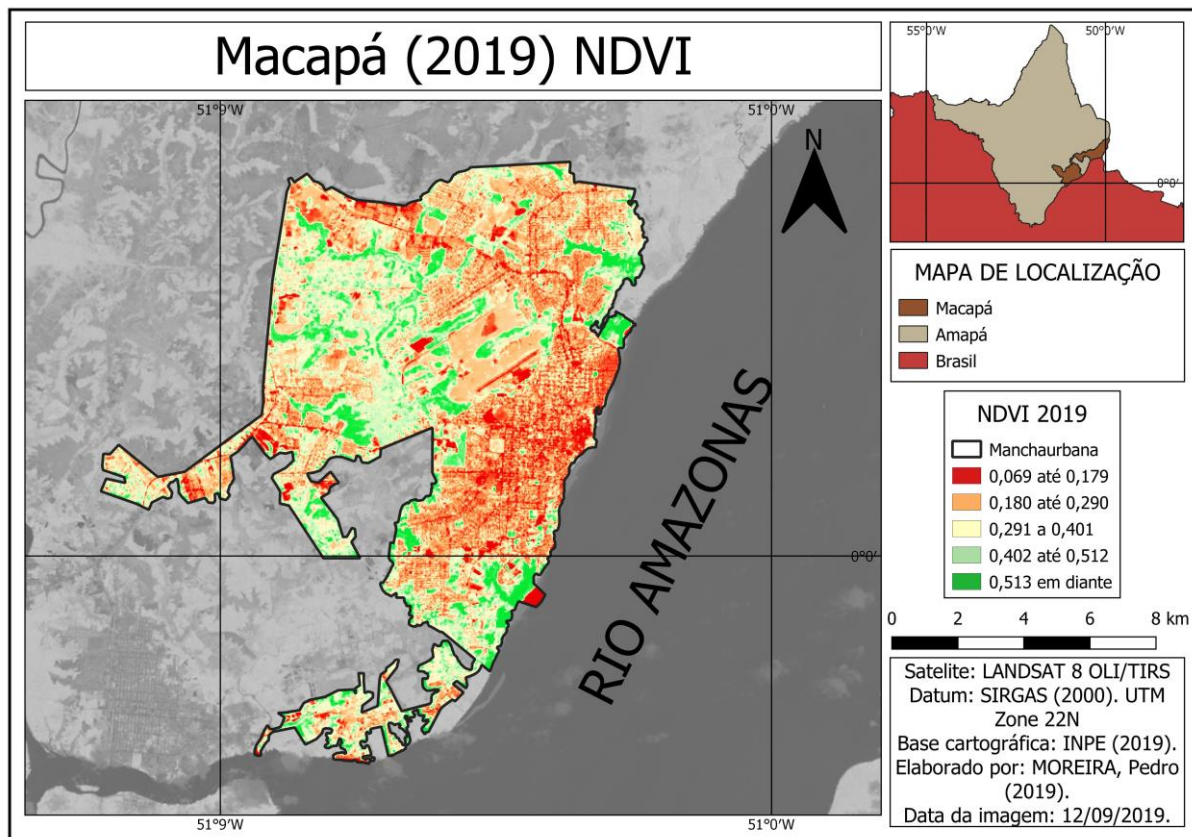


Figura 12: Índice de vegetação da cidade de Macapá em 2019. Produzido em 08/12/2019.

Na figura 12, verifica-se a intensificação dos pixels na cor anarela e uma redução nos pixels representativos de vegetação saudável, identificados da cor verde e azul em áreas em que antes predominavam, como na margem esquerda do Rio Amazonas. Isso demonstra uma maior probabilidade de ocorrência da ICU, dada a menor incidência de vegetação, esta capaz de trazer um aumento nos níveis de resfriamento e conforto térmico (IMRAN et al., 2019).

No ano de 2000, em função das mudanças políticas e econômicas existentes no Estado do Amapá, como a Criação da Área de Livre Comércio de Macapá e Santana (ALCMS), sua população urbana saltou para 89%. Enquanto isso, início da década de 1980, esta população era de 59,1%. Destaca-se que este crescimento de população urbana esteve concentrado nas cidades de Macapá e Santana, cidades portuárias, que no início da década de 1990 era de aproximadamente 179.777, saltou para 283.308 no ano de 2000 e, para 493.634 habitantes em 2018 (PORTILHO, 2010; SANTOS, 2012).

Outros aspectos explicam este aumento da mancha urbana da cidade: a ampliação de empreendimentos habitacionais nas faixas das Rodovias JK e Duca Serra, a construção de grandes empreendimentos comerciais, como o Amapá Garden Shopping, e, o adensamento da ocupação desordenada das áreas de ressaca, considerada importante regulador térmico da cidade (SOUZA, 2014).

Importante lembrar que as imagens do LANDSAT 8 OLI/TIRS (referente a 2019) apresentam características diferenciadas em relação a imagem do LANDSAT 5 TM (referente a 1990), apresentando no aplicativo *Qgis 3.4®* variáveis diferenciáveis para cada classe nas figuras 11 e 12, tanto que na figura 12 há redução da interferência de nuvens que podem causar erros de leitura do satélite, compondo áreas que possuem vegetação erroneamente como não vegetadas. Os intervalos das classes foram definidos pelo aplicativo, utilizando os menores e maiores valores de pixel encontrados, justificando porque na legenda o intervalo inicia diferente de -1 e termina diferente de 1 .

6.2 Análise do Índice de Construção por Diferença Normalizada (NDBI)

O Índice de Construção por diferença normalizada ou do inglês Normalized Difference Build-up Index (NDBI), serve para analisar a intensidade das construções de uma determinada região, sendo obtido pela razão entre a diferença das refletividades do infravermelho médio (Pivm) e do infravermelho próximo (Pivp), conforme equação 2 (ZHA et al., 2003).

$$NDBI = Pivm - Pivp / Pivm + Pivp \quad (2)$$

Em que $Pivm$ e $Pivp$, correspondem, respectivamente, às bandas 5 e 4 do LANDSAT 5 e 7, e, as bandas 6 e 5 do LANDSAT 8. A escala varia de -1 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1, maior a densidade das construções na região e quanto mais próximo de -1 for o valor isto indica que aquela área possui pouca ou nenhuma construção.

Nas figuras 13 e 14, observa-se a variação do índice de construção, respectivamente para os anos de 1990 e 2019.

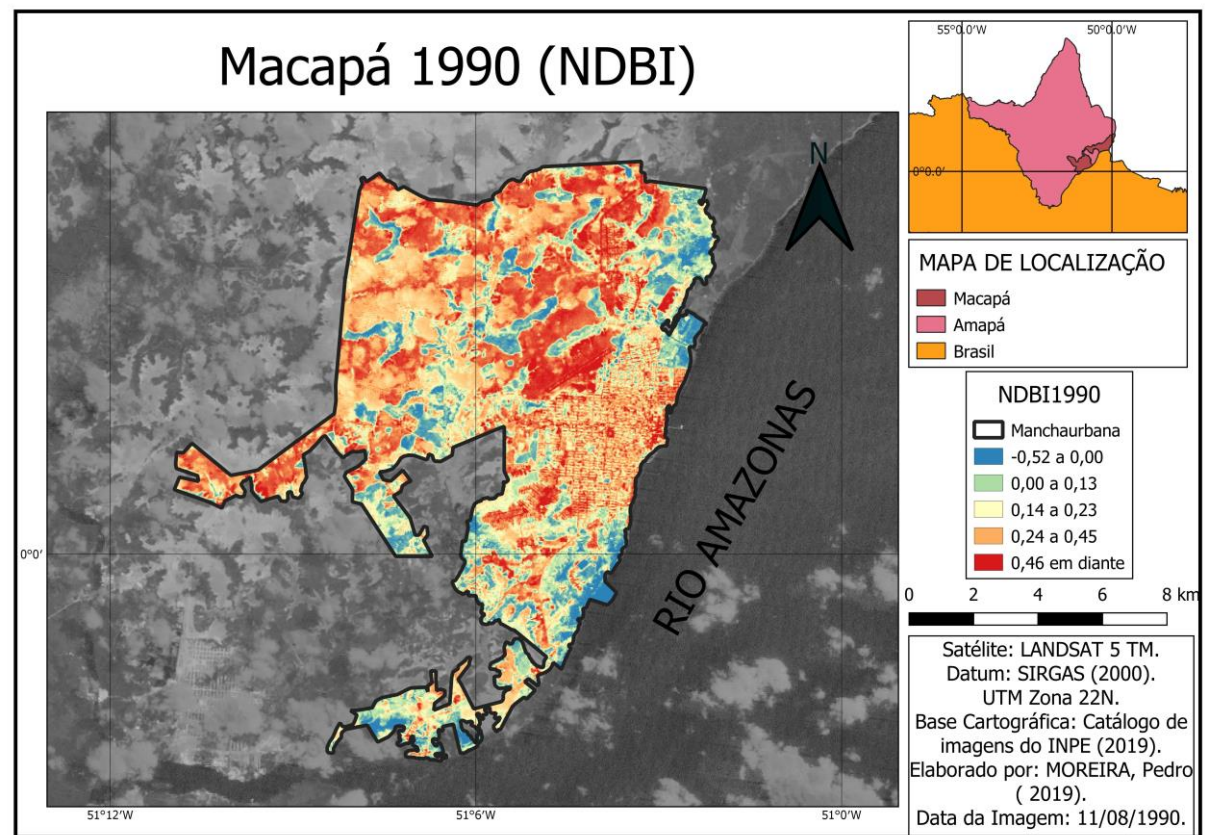


Figura 13: Índice de construção da cidade de Macapá no ano de 1990. Produzido em 08/12/2019.

Na figura 13 referente ao crescimento urbano de Macapá obtido até 1990, observa-se que as construções estão mais localizadas na parte centro-leste da mancha urbana da cidade, representada pelos pixels na cor amarela (**0,14 até 0,23**), laranja (**0,24 até 0,45**) e vermelha (**de 0,46 em diante**), apesar de haver regiões com índices negativos para o NDBI em todas as zonas (Sul, Norte, Oeste e Leste) da mancha urbana, inclusive naquelas que possuem margem com o Rio Amazonas.

Em 1960, a população local era de 36.214 habitantes, dos quais 76,10% localizavam-se na área urbana de Macapá, com um percentual de 52,86% da população do Estado do

Amapá. Na década de 1970, ocorreram as ocupações da então Baixada do Perpétuo Socorro e a transferência da população do Elesbão para uma área situada onde hoje está localizado o Bairro Nova Esperança. Durante as décadas de 1980 surgem os bairros Santa Inês, o crescimento urbano atinge a região da Lagoa dos Índios e intensifica a ocupação das áreas de ressaca, como as ressacas do Beírol e a Chico Dias (PORTILHO, 2010).

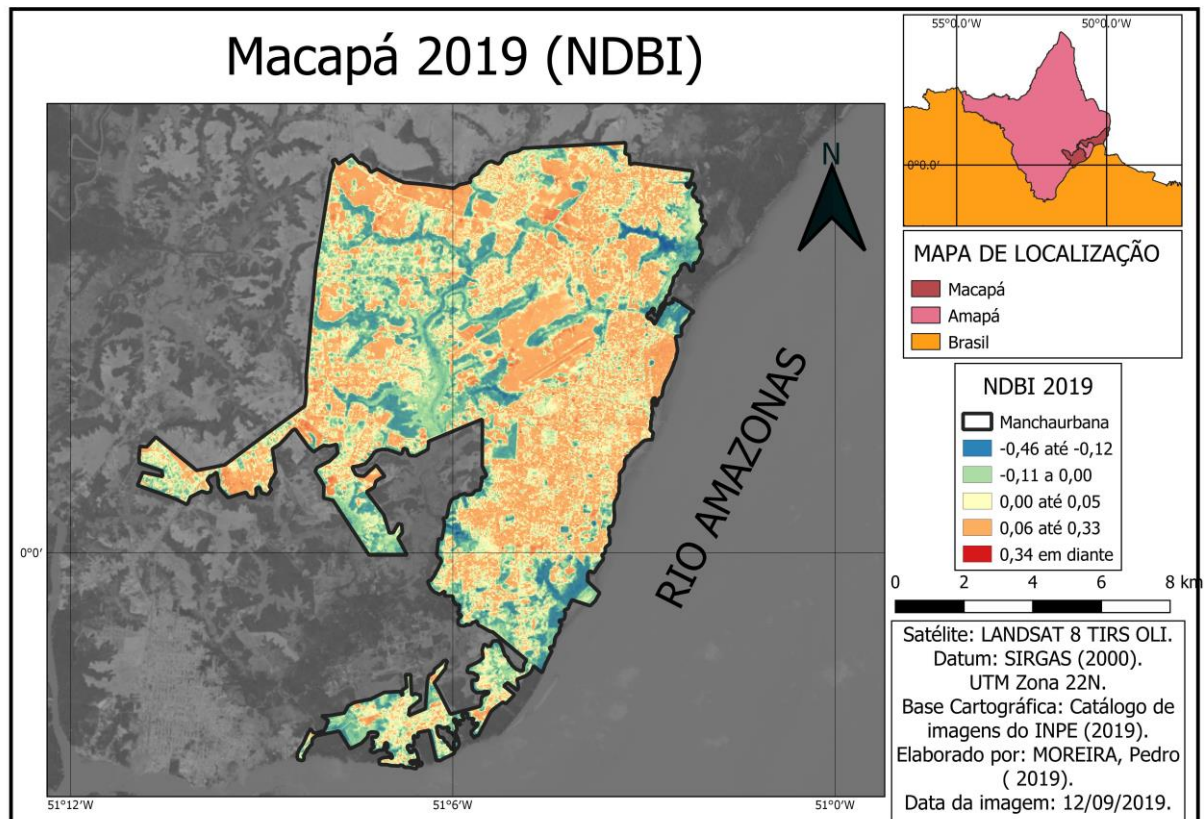


Figura 14: Índice de construção da cidade de Macapá no ano de 2019. Produzido em 08/12/2019.

Na figura 14, referente ao índice de construção do ano de 2019, ao ser comparada com a de 1990, compreende-se uma expansão das construções na cidade de Macapá, principalmente pela maior dominância das cores amarela (**de 0,00 até 0,05**) e laranja (**0,06 até 0,33**), inclusive ocupando áreas antes dominadas pela presença de vegetação ou de solo exposto. Observa-se uma redução nos pixels representados pelas cores azuis (**-0,46 até -0,12**) e verdes (**-0,11 até 0,00**), que indicam um menor índice de construção. Indicando haver maior probabilidade de haver ICU na cidade de Macapá.

As transformações espaciais na capital amapaense, neste aspecto, foram ocasionadas por fatores socioeconômicos, principalmente após o processo de estadualização ocorrido em 1988, em que a expansão urbana da cidade de Macapá passa por sensíveis mudanças, com o

aparecimento do setor imobiliário, via incorporadoras e construtoras. Entre 1991 e 2010 ocorreu um forte crescimento populacional, em que a população de Macapá saltou, respectivamente, de 153.572 para 398.204 habitantes, quase o dobro. Entre os anos de 2010 e 2015, ocorreram a implantação de cerca de 33 empreendimentos residenciais, sendo 5 públicos e 28 privados, desses, 10 verticais e 18 horizontais. Espacialmente falando ocorreram a instalação de dois empreendimentos públicos na Zona Norte da cidade (Macapaba e Oscar Santos), três na zona Sul (Mucajá, Jardim Açucena e São José). Outro aspecto é o processo de verticalização que ocorre na capital amapaense, principalmente por meio do capital imobiliário local (SILVA, 2017).

6.3 Análise por meio da Classificação Supervisionada de Máxima verossimilhança (MAXVER) nos pontos de coleta

A metodologia utilizada no aspecto da sazonalidade da temperatura do ar nos locais arborizados e pouco arborizados, bem como entre os locais com alto nível de urbanização e aqueles com pouco nível de urbanização, proposta por Silva Junior (2012), sofreu algumas adaptações. Esta consiste na classificação dos tipos de cobertura do solo utilizando uma imagem de satélite de alta resolução da cidade de Macapá, por meio do aplicativo *Google Earth*®. Após a imagem passar por correções iniciais (georreferenciamento) foi recortada no entorno da área de coleta de dados com raio aproximado de 100 metros.

As áreas recortadas passaram pelo processo de classificação supervisionada (MAXVER) que consiste em atribuir assinaturas multiespectrais aos alvos em superfície, baseado nas informações do usuário. Por fim, esta técnica leva os pontos (pixels) que tiveram atribuídas pelo usuário a mesma assinatura espectral, aos outros pontos idênticos existentes na imagem formando conjuntos de classes.

Para o presente trabalho, foram criadas quatro classes de análise, definidas como “Vegetação”, “Área Urbana”, “Solo Exposto” e “Água”, tendo a classe “vegetação” englobando as espécies arbóreas e gramíneas. A classe “Área Urbana” englobou as superfícies cimentícias, asfalto, edificações em geral. A classe “Solo Exposto”, consiste nas ruas de terra, solo sem superfície vegetada ou urbanizada, além de poeira. Por fim, a classe relacionada a água são os corpos hídricos em geral, rios, lagos e piscinas.

Na figura 15, são apresentadas as imagens aéreas do *Google Earth*® referente ao ano de 2017, sem inclinações, para que não haja interferências na interpretação do aplicativo *PCI Geomatics*® *Free Trial*.

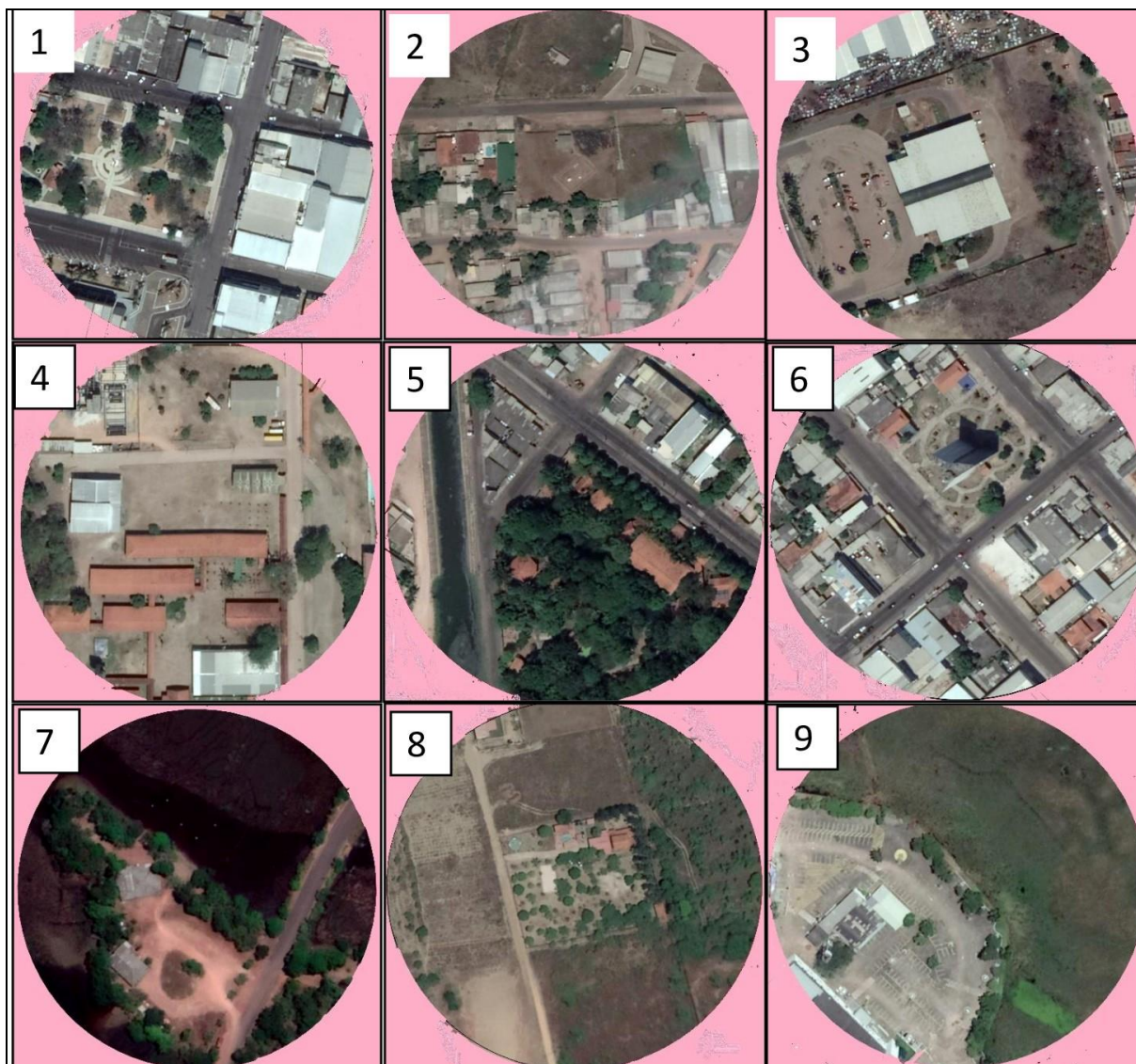


Figura 15: Pontos aéreos utilizados para a classificação supervisionada MAXVER, dos nove pontos de coleta, 1) Praça Veiga Cabral, 2) Fazendinha, 3) Terminal Rodoviário, 4) UNIFAP, 5) Museu Sacaca, 6) Caixa D'água do Buritizal, 7) APA do Curiaú, 8) Linha B do Marabaixo, 9) Lagoa dos Índios. Produzido em 08/12/2019.

Ao traçar um raio de 100 metros a partir do sensor instalado em cada ponto, seguem as porcentagens obtidas para as classes vegetação, solo exposto, área urbana e água por meio desta metodologia. O entendimento de tais porcentagens permite fazer uma análise a respeito da variação da temperatura do ar e da umidade relativa do ar, nos pontos analisados.

Na tabela 06 serão apresentadas as porcentagens de área urbana, vegetação, solo exposto e água para o ano de 2017 para os nove pontos de coleta analisados.

Tabela 06: Porcentagem no período seco das classes vegetação, área urbana, solo exposto e água, encontrado por meio da técnica de Máxima Verossimilhança nos nove pontos de coleta.

SÍTIO (%)	Marabaixo	Lagoa	Veiga Cabral	APA do		Caixa	Fazendinha	UNIFAP	Museu Sacaca
				Curiaú	Terminal				
Área Urbana	1,68	36,43	87,70	16,53	44,65	76,87	37,63	47,74	54,41
Vegetação	17,56	51,12	8,50	54,36	6,77	5,39	13,76	16,85	33,41
Solo exposto	80,60	6,89	3,78	15,08	48,55	17,73	48,54	35,38	2,68
Água	0,16	5,53	0,00	14,01	0,00	0,00	0,05	0,02	9,49

Os resultados obtidos demonstram uma variação acentuada das classes área urbana, vegetação, solo exposto e água. Por exemplo, os pontos que apresentam os maiores índices de área urbana são a Praça Veiga Cabral (87,70%), Caixa D'água do Buritizal (76,87%). Outros pontos que merecem destaque por possuir um aspecto urbano embora com porcentagens importantes de outras classes são: Museu Sacaca (54,41%), UNIFAP (47,74%) e o Terminal Rodoviário (44,65%).

Por sua vez, os pontos mais vegetados são: APA do Curiaú (54,36%) e Lagoa dos Índios (51,12%). Outros pontos que merecem destaque neste aspecto são Museu Sacaca (33,41%), considerada uma área vegetada tendo como entorno uma área urbana consolidada. Os menos arborizados foram a Praça Veiga Cabral (8,50%) restrito a região da Praça em si, o Terminal Rodoviário (6,77%) e Caixa D'água do Buritizal (5,39%).

Destacam-se ainda, os pontos que apresentam uma composição acentuada de solo exposto, sendo elas o Marabaixo (80,60%), Terminal Rodoviário (48,55%), Fazendinha (48,54%) e UNIFAP com 35,38%.

No aspecto da água destacam-se apenas a APA do Curiaú (14,01%), o Museu Sacaca (9,49%) e a Lagoa dos Índios (5,53%). Os outros pontos apresentam pouquíssima ou nenhuma porcentagem, estando mais ligadas a presença de piscinas artificiais, construídas dentro do raio de 100 metros de análise, como ocorrido no Marabaixo (0,16%), Fazendinha (0,05%) e na UNIFAP (0,02%). Os pontos do Terminal Rodoviário, Caixa D'água do Buritizal, Praça Veiga Cabral não apresentaram porcentagens nesta classe.

6.4 Sazonalidade da temperatura do ar e da umidade relativa do ar nos locais arborizados e pouco arborizados para os pontos com 10 dias de coleta.

Baseado nos resultados obtidos na tabela 07, será possível avaliar a sazonalidade da temperatura do ar e da umidade relativa do ar, nos três trabalhos de campo isoladamente (seco, úmido e intermediário) e em seu conjunto, com relação aos locais mais arborizados e

menos arborizados. A ênfase ocorrerá nas épocas seca, que segundo Roth (2007) são as mais propícias à formação ICU e a chuvosa, que segundo Silva Junior et al (2013b), tende a homogeneizar a temperatura do ar em decorrência da maior disponibilidade de vapor d'água. Para isso, conforme recomendado por Fernandes (1999), foi aplicado o Teste de Friedman, não paramétrico para amostras experimentais, com um nível de significância de 95%, com o objetivo de fornecer informações mais precisas e reais sobre os dados analisados em relação as médias, que podem mascarar dados com grande amplitude (Tabelas 07 e 08).

Tabela 07: Medianas de todos os três trabalhos de campo referentes a temperatura do ar encontradas nos pontos com dez dias de coleta

Teste de Friedman (Temperatura do ar em °C)					
	Período Úmido (U)	Período Intermediário	Período seco (S)	Média Total	Amplitude (S-U)
T Sacaca	25,89	27,63	29,70	27,40	3,81
T Marabaixo	24,47	26,26	28,38	26,53	3,91
T Fazendinha	26,21	27,51	29,99	28,02	3,78
T APA do Curiaú	25,39	26,68	28,62	26,26	3,23
T UNIFAP	24,87	27,78	29,63	27,61	4,76
Friedman rank sum test (Período úmido) Data: Responses - Friedman chi-squared = 17.9, df = 4, p-value < 0.001291. (Significativo)					
Friedman rank sum test (Período Intermediário) Data: Responses - Friedman chi-squared = 5.5782, df = 4, p-value < 0.2329 (Não significativo)					
Friedman rank sum test (Período seco) Data: Responses - Friedman chi-squared = 6.5641, df =4, p-value <0.1608 (Não significativo)					
Friedman rank sum test (Média Total) Data: Responses - Friedman chi-squared = 21.538, df =4, p-value <0.0002477 (Significativo)					

Os pontos mais quentes, no período úmido, são os mais urbanizados da cidade, conforme MAXVER: A Fazendinha (26,21 °C) e o Museu Sacaca (25,89 °C), enquanto o menos urbanizado possui menor temperatura, como a Linha B do Marabaixo (24,47 °C).

Os dados obtidos na tabela 07 estão graficamente resumidos na figura 16, para cada um dos cinco pontos com 10 (dez) dias de coleta. A umidade relativa do ar apresenta significância estatística em todos os campos, enquanto que a temperatura do ar não apresenta tal significância no campo realizado no período seco e intermediário, embora apresente significância no período úmido e quando os três trabalhos de campo são considerados globalmente. Isto indica que outro (s) fator (es) tenha (m) mais interferência do que a vegetação nas temperaturas dos locais analisados, como, por exemplo, as brisas fluviais, o albedo de superfície, a temperatura do solo, dentre outros.

Neste sentido, Kuhn et al. (2010), destaca o efeito das brisas fluviais do Rio Amazonas e dos mecanismos de grande escala como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que influenciam significativamente as condições de tempo e clima na região, de modo que a precipitação e os padrões de umidade relativa do ar e temperatura do ar deixem de ocorrer em períodos conhecidos, o que pode justificar, os valores estatisticamente não significativos no período seco e intermediário.

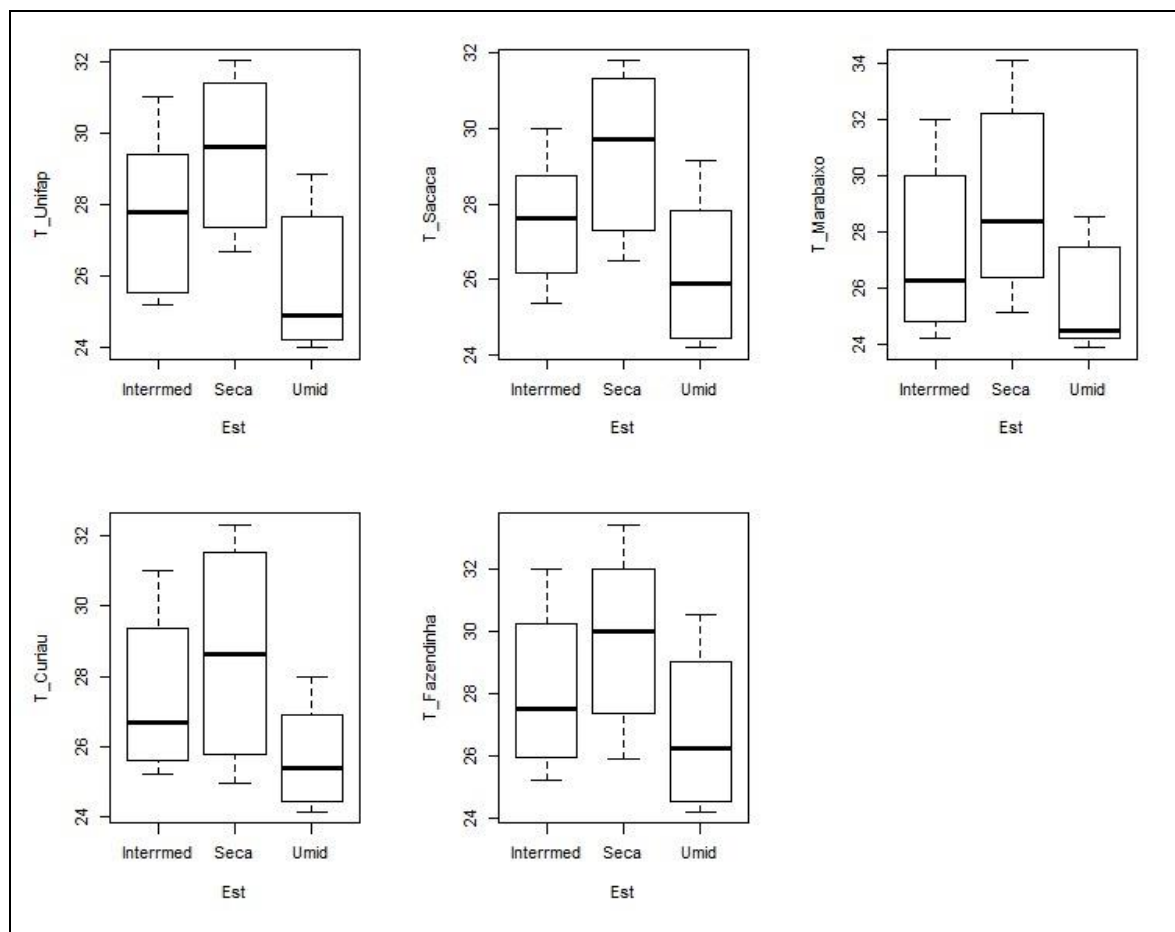


Figura 16: Resultados da temperatura do ar obtidas nos três trabalhos de campo.

No período seco, os pontos com menor média de temperatura são a Linha B do Marabaixo (28,38 °C) e seguida pela APA do Curiaú (28,62 °C), enquanto que as maiores temperaturas ocorreram no Museu Sacaca (29,70 °C) e na Fazendinha (29,99 °C), dada à grande porcentagem de área urbana existente (tabela 06).

No período intermediário (junho), os pontos com maior temperatura do ar são a UNIFAP (27,78 °C) e o Sacaca (27,63 °C). Os que apresentaram menores índices são a APA do Curiaú (26,68 °C) e o Marabaixo (26,26 °C).

Na tabela 08, consta o Teste de Friedman para a umidade relativa do ar, nos cinco pontos de coleta com 10 (dez) dias de duração, nas estações úmida, seca e intermediária. Todos os valores obtiveram significância estatística.

Tabela 08: Medianas de todos os três trabalhos de campo referentes a umidade relativa do ar encontradas nos pontos com dez dias de coleta

Teste de Friedman (Umidade relativa do ar em mm)					
	Período Úmido (U)	Período Intermediário	Período seco (S)	Média Total	Amplitude (U-S)
T Sacaca	91,36	85,21	73,35	84,64	18,01
T Marabaixo	95,65	85,42	68,10	83,46	27,55
T Fazendinha	84,30	79,96	69,05	78,06	15,25
T APA do Curiaú	91,84	87,96	72,82	84,24	19,02
T UNIFAP	96,03	85,15	75,24	84,76	20,79
Friedman rank sum test (Período úmido) Data: Responses - Friedman chi-squared = 17.9, df = 4, p-value < 0.001291 (Significativo)					
Friedman rank sum test (Período Intermediário) Data: Responses - Friedman chi-squared = 9.7, df = 4, p-value < 0.0458 (Significativo)					
Friedman rank sum test (Período seco) Data: Responses - Friedman chi-squared = 14.3, df = 4, p-value < 0.0064 (Significativo)					
Friedman rank sum test (Média Total) Data: Responses - Friedman chi-squared = 35.6, df = 4, p-value < 0.000 (Significativo)					

Considerando os três trabalhos de campo, em relação a umidade relativa do ar, os pontos apresentam porcentagem parecida, sendo a maior encontrada na UNIFAP (84,76%), seguido do Museu Sacaca (84,64%), APA do Curiaú (84,24%) e Marabaixo (83,46%). A Fazendinha apresenta uma porcentagem menor (78,06%), em virtude da grande área urbanizada e do solo exposto existente. Os dados estão graficamente expostos na figura 17, mostrando os resultados obtidos no parâmetro da umidade relativa do ar, em relação aos cinco pontos com 10 (dez) dias de coleta para cada campo realizado, no período seco (seca), chuvoso (umid) e intermediário (intermed).

As medianas mais baixas estão no período seco, dada a redução da porcentagem de vapor d'água decorrente da maior incidência de energia nestes pontos, enquanto as maiores medianas ocorrem no período chuvoso. As medianas mais altas no período úmido ocorreram nos pontos da UNIFAP e do Marabaixo, enquanto as mais baixas ocorrem na Fazendinha e no Museu Sacaca. No período úmido há uma tendência a homogeneização maior dos dados, dada a maior porcentagem de vapor d'água na atmosfera.

No período seco especificamente, os pontos que apresentaram os menores índices de Umidade Relativa do ar são a Fazendinha e o Marabaixo, sendo assim, dos pontos analisados, os potencialmente mais desconfortáveis termicamente, sendo necessários trabalhos posteriores para confirmar tal hipótese.

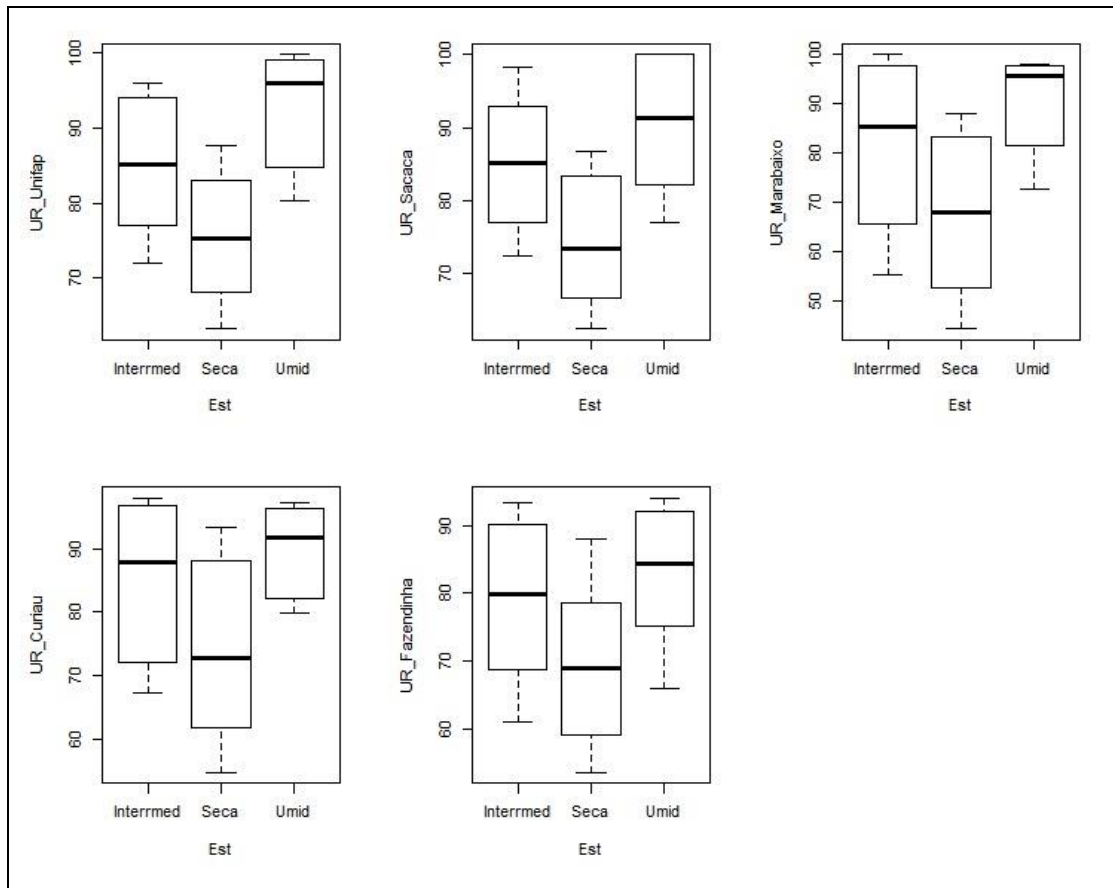


Figura 17: Resultados da umidade relativa do ar obtidas nos três trabalhos de campo.

A maior variação na umidade relativa do ar ocorreu no Marabaixo (27,55%), em virtude da maior porcentagem de solo exposto, 80,60%, capaz de receber e perder calor muito mais rápido do que a vegetação e a água conforme Oliveira et al. (2005). Em seguida, a UNIFAP (20,79%) apresenta a segunda maior variação, dada à alta porcentagem de solo exposto (35,38%) e uma porcentagem fraca de vegetação dentro do raio de 100 metros (16,85%).

Embora apresente a menor variação, a Fazendinha (15,25%) contém os menores valores de umidade relativa do ar, dado o alto nível de área urbana mais solo exposto que totalizam 86,17%, e, a baixa cobertura de vegetação na área (13,76%).

Com relação ao período seco, os dados de umidade relativa do ar apresentam significância estatística, e, o maior valor encontrado está na APA do Curiaú (87,96%), seguida pelo Marabaixo (85,42%), Sacaca (85,21%) e UNIFAP (85,15%). A Fazendinha apresenta os menores valores de umidade relativa do ar dos pontos analisados (79,96%), aproximadamente 5,19% menos em relação aos outros pontos.

Por sua vez, a APA do Curiaú apresenta altos níveis de vegetação no raio analisado (54,36%) e uma cobertura de construções e superfícies impermeáveis de 16,53%, o que contribui para uma maior porcentagem de vapor d'água encontrada nesta área.

6.5 Diferenças entre os pontos extremos com 10 dias de coleta com relação a cobertura vegetal.

Segundo Oke (1987), para detectar o fenômeno da ilha de calor na cidade, deve ser calculada a diferença entre a temperatura urbana e a temperatura do seu entorno, podendo ser uma área rural, conforme equação 3:

$$\Delta T_u - r \quad (3)$$

A tabela 09 especifica os valores obtidos para cada média horária de três em três horas, para os pontos com 10 dias de coleta, durante o período seco.

Tabela 09: Médias da temperatura do ar no período seco para os 10 pontos de coleta.

HORA	FAZENDINHA (°C)	UNIFAP (°C)	APA DO CURIAÚ (°C)	MARABAIXO (°C)	SACACA (°C)
00:00 – 03:00	26,36	26,68	24,95	25,15	26,48
03:00 – 06:00	25,88	26,84	25,56	26,48	27,17
06:00 – 09:00	30,91	30,99	30,91	31,57	30,91
09:00 – 12:00	33,07	31,77	32,08	34,08	31,67
12:00 – 15:00	33,43	32,02	32,29	32,81	31,77
15:00 – 18:00	30,86	30,17	29,50	29,10	30,20
18:00 – 21:00	29,13	29,09	27,74	27,66	29,20
21:00 – 00:00	28,38	27,84	25,97	26,22	27,41
Média	29,75	29,43	28,63	29,13	29,35
Máxima	33,43	32,02	32,29	34,08	31,77
Mínimo	25,88	26,68	24,95	25,15	26,48
Amplitude	7,55	5,34	7,34	8,93	5,29

Graficamente, a temperatura do ar média nestes pontos, no período seco, estão contidas na figura 18, que mostra a sazonalidade da temperatura do ar, considerando as médias horárias entre os pontos com 10 dias de coleta, no período seco, mais propício para a ocorrência do fenômeno da ICU.

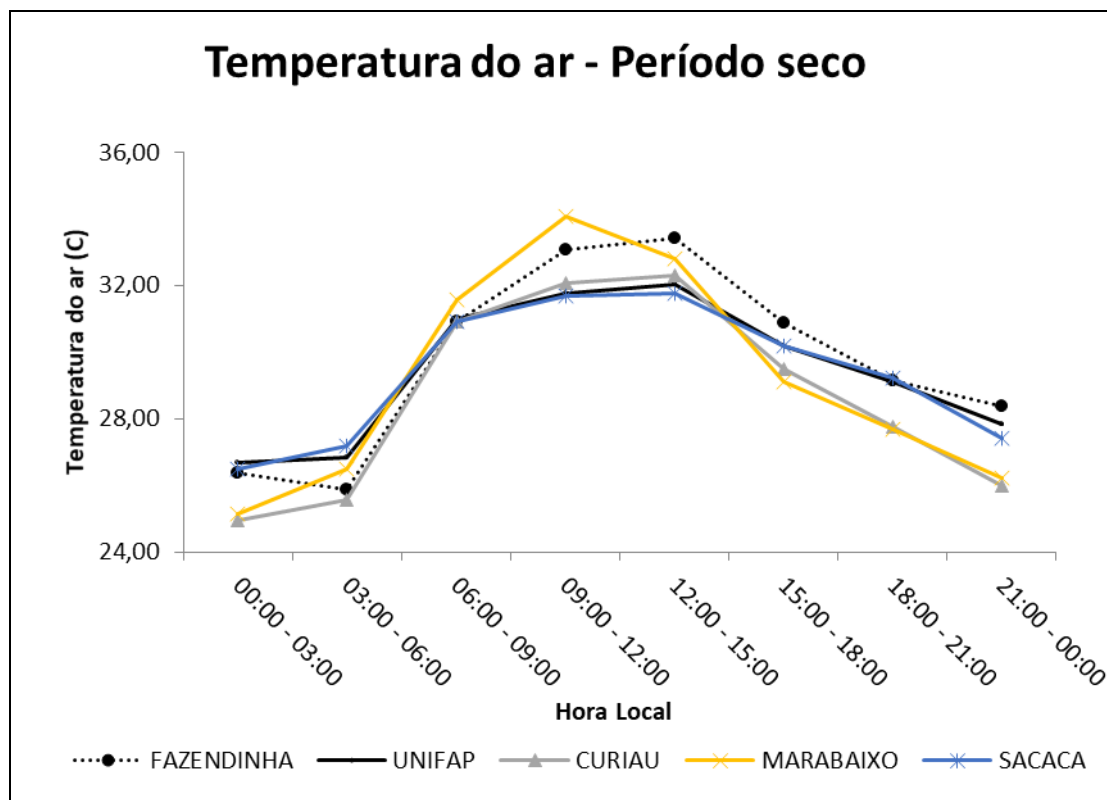


Figura 18: Comparativos da média de temperatura do ar, entre os pontos com 10 dias de coleta.

Entre 00:00 e 06:00 o ponto da UNIFAP apresentou as maiores máximas de temperatura do ar (26,68 °C de 00:00 às 03:00, e, 26,84 °C de 03:00 as 06:00), em virtude da sua maior cobertura urbana (47,74%) frente a outros pontos menos vegetados como a Fazendinha (37,63% de cobertura urbana) e o Marabaixo (1,68% de cobertura urbana), enquanto que o ponto da APA do Curiaú, neste mesmo período apresentou as menores máximas de temperatura do ar dada a maior cobertura vegetal (54,36%) existente e também da baixa cobertura de área urbana em sua área, além do menor fluxo de veículos, que influi na temperatura, como afirmado por Zhu et al. (2017).

Entre 06:00 e 09:00 o ponto da APA do Curiaú ainda permanece sendo o mais frio de todos os analisados (30,91 °C) pelas características citadas anteriormente, mas passa também a ter os pontos da Fazendinha e do Museu Sacaca com a mesma média de temperatura, podendo dizer, conforme dados da tabela 09 e da figura 18, que Macapá apresenta três pontos mais frios. Porém o ponto mais quente passa a ser a Linha B do Marabaixo (31,57 °C), muito em virtude da grande porcentagem de solo exposto (80,60%) que acaba acumulando e perdendo calor mais rapidamente, conforme atestado por Oliveira et al. (2005).

Entre 09:00 e 12:00, o Marabaixo pelos motivos citados permanece como sendo mais quente, porém apresentando uma aumento de temperatura de 2,51 °C, alcançando 34,08 °C. O

ponto do Sacaca passa a ser o termicamente mais frio, pela influência de sua cobertura vegetal (33,41%).

Entre 12:00 e 15:00, a Fazendinha passa a ser o ponto mais quente (33,43 °C), pela grande porcentagem de área urbana (37,63%) e baixa cobertura vegetal (13,76%), passando a acumular mais calor em reção aos outros pontos, inclusive que possuam maiores níveis de urbanização como a UNIFAP e o Museu Sacaca, porém estes dois apresentam níveis de vegetação maiores do que o primeiro. O Sacaca ainda permanece sendo o ponto mais frio, em virtude da sua cobertura vegetal. A APA do Curiaú, embora apresente maior porcentagem de vegetação, ainda está mais aquecido do que o Sacaca, o que pode ser explicado pelo acúmulo de energia na sua área e pela concentração maior de solo exposto em relação ao Museu Sacaca. O Marabaixo, pela alta presença de solo exposto, iniciou sua perda de calor rápida, reduzindo de 34,08 °C para 32,81 °C.

Entre 15:00 e 18:00, a Fazendinha ainda permanece sendo o ponto mais quente (30,86 °C) pelos motivos já citados, porém o ponto do Marabaixo passa a ser o mais frio, sendo que seis horas atrás era o mais quente, justificando a maior amplitude térmica entre os cinco pontos de estudo com 10 dias de coleta (8,93 °C) pelas suas características do solo.

De 18:00 a 21:00, o Marabaixo continua sendo o ponto mais frio, já o Sacaca, localizado mais ao centro da cidade, com grande cobertura urbana (54,41%) passa a ser o termicamente mais quente, justamente pela perda mais lenta de calor que acontece nas áreas mais urbanizadas. Esta variabilidade da temperatura do ar foi descrito por Barbosa et al. (2015), ao fazer uma análise deste elemento meteorológico em ambientes diferentes da Amazônia: Belém-PA, Manaus-AM e na Floresta Nacional do Caxiuanã.

Entre 21:00 e 00:00 o ponto mais frio passa a ser a APA do Curiaú (25,97 °C) pela grande porcentagem de vegetação, que tende a perder calor mais rapidamente do que as áreas mais centrais e urbanizadas. Desta forma, considerando a variação de temperatura do ar nestas áreas, este local é termicamente mais frio durante a metade do dia, de 21:00 a 09:00, o que demonstra a influência do padrão de vegetação. O ponto mais quente e que também apresentou a maior temperaturas médias (29,75 °C), a segunda maior máximas (33,4 °C) e a segunda maior amplitude térmica (7,55 °C) é a Fazendinha (28,38 °C), mostrando também a influência das zonas mais urbanizadas no padrão de variabilidade da temperatura do ar.

A tabela 10, apresenta alguns comparativos para a ICU entre os pontos extremos da cidade com 10 dias de coleta, no período seco, como a Fazendinha e a APA do Curiaú (Faz x Cur), e, ainda entre os pontos mais centrais, que são a UNIFAP e o Museu Sacaca (Uni x Sac). O ponto extremo sul é representado pela Fazendinha (FAZ), considerado periférico com

pouca vegetação e pela UNIFAP (UNI), que por sua vez é urbano com pouca vegetação. O ponto central é representado pelo Museu Sacaca (SAC), que é urbano arborizado e o ponto extremo norte é representado pela APA do Curiaú (CUR), considerado periférico arborizado. Para entender a sazonalidade diária da temperatura no período seco entre os pontos com 10 dias de coleta, foram definidos intervalos de três em três horas.

Tabela 10: Comparativo de temperatura do ar entre pares de pontos com 10 dias coleta no período seco.

HORA	Faz x Cur (°C)	Uni x Sac (°C)
00:00 – 03:00	1,41	0,20
03:00 – 06:00	0,32	-0,33
06:00 – 09:00	0,00	0,08
09:00 – 12:00	0,99	0,10
12:00 – 15:00	1,14	0,25
15:00 – 18:00	1,36	-0,03
18:00 – 21:00	1,39	-0,11
21:00 – 00:00	2,41	0,43
Média da comparação	1,13	0,07
Máxima da comparação	2,41	0,25
Mínimo da comparação	0,00	0,20
Amplitude da comparação	2,41	0,05

Na comparação (Faz x Cur), que contempla o ponto menos arborizado de todos (Fazendinha) com o mais arborizado (APA do Curiaú), obtém-se variabilidades diferenciadas na temperatura do ar de ambos os pontos.

A APA do Curiaú apresentou temperaturas do ar menores em relação a Fazendinha ao longo de todo o dia. Além disso, os dados indicam que a maior diferença de temperatura do ar entre os dois pontos ocorreu no período de 21:00 e 00:00, com a Fazendinha 2,41 °C mais quente do que a APA do Curiaú. Este maior aquecimento da área da Fazendinha, a partir das 06:00 até 00:00, e, principalmente das 21:00 a 00:00, é decorrente da maior área urbana (37,63% em relação aos 16,53% da APA do Curiaú), tendo portanto maior capacidade de armazenar calor pela maior concentração de construções e calçamentos, ocorrendo de forma mais lenta a liberação deste calor para atmosfera, durante o período noturno, em comparação com as áreas mais vegetadas, conforme afirmado por Silva Junior et al. (2013).

Comparando os pontos mais centrais (UNIFAP e Museu Sacaca), verifica-se que não houveram grandes oscilações de temperatura do ar entre eles, pois ambos apresentam padrões de uso do solo mistos, com grande área urbanizada, embora em diferentes porcentagens. A diferença de amplitude térmica entre os dois pontos é de apenas 0,05 °C (5,34 °C da UNIFAP contra 5,29 °C do Sacaca), e a diferença entre as máximas e mínimas entre os dois pontos é de

0,25 °C e 0,20 °C, respectivamente. A diferença entre as médias, é de apenas 0,07 °C. Os pontos mais centrais (urbanos) indicam certa uniformidade nos padrões de temperatura do ar em relação aos pontos mais periféricos, no período seco, pelos motivos citados, reforçando a análise de que a maior cobertura de vegetação tende a tornar o ambiente mais frio e ameno, enquanto que as áreas mais urbanizadas, com baixa vegetação tende a tornar o ambiente mais quente. Desta forma, os pontos periféricos da cidade de Macapá apresentam maiores diferenças de temperatura do ar entre si, do que os pontos urbanos centrais entre si.

6.6 Sazonalidade horária média para a ilha de calor urbana durante o período seco.

Nesta seção, visando entender a sazonalidade da ICU em Macapá, foram analisadas as diferenças térmicas entre a UNIFAP e a APA do Curiaú, devido estes pontos serem, respectivamente, urbano com baixa arborização e periférico com alta arborização, fatores importantes na análise da ICU como apontado por Silva (2016). Essas diferenças são explicitadas nas figuras 19 e 20.

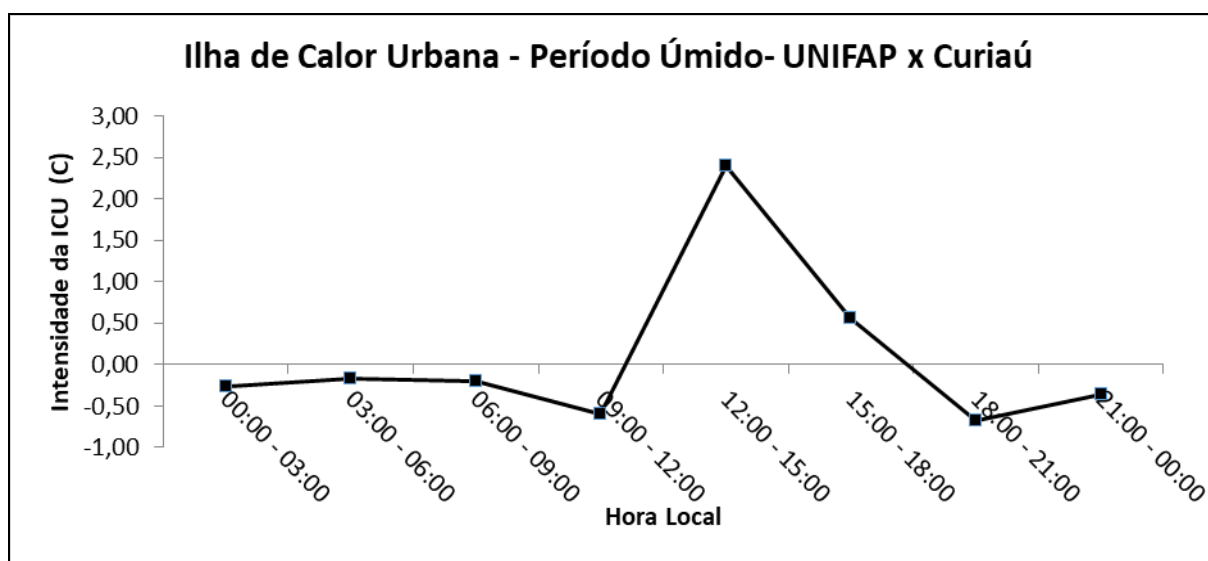


Figura 19: Diferenças térmicas entre os pontos da UNIFAP e da APA do Curiaú.

A variabilidade da ICU na época chuvosa, na comparação entre os pontos da UNIFAP apresentou-se da seguinte forma: de 00:00 a 12:00 e de 18:00 a 00:00 o ponto da APA do Curiaú apresentou-se mais aquecido que o ponto da UNIFAP, enquanto este tornou-se mais quente que a APA do Curiaú no período entre 12:00 e 18:00. Apesar disso, entre 00:00 e 06:00 verifica-se que as diferenças entre os pontos não chegaram a 0,3 °C, indicando certa

homogeneidade entre as diferenças na temperatura. Este padrão foi detectado por Silva Junior (2012), após fazer uma análise na cidade de Belém (PA), em que nos períodos chuvosos, a temperatura do ar entre as área urbana e periférica tendem a se tornar mais próximas.

Na figura 20, por sua vez, verificou-se uma mudança na variabilidade entre os dois pontos, visto que a UNIFAP apresenta maiores temperaturas em relação a APA do Curiaú na maior parte do dia, a exceção ocorre no período entre 06:00 e 12:00, quando a APA do Curiaú é aproximadamente 0,30 °C mais quente o do que a UNIFAP. Isto ocorre devido, a área da UNIFAP por ter maior capacidade de armazenar calor do que a APA do Curiaú, dada a grande porcentagem de área urbanizada existente, sendo 47,74% na UNIFAP e 16,53% na APA do Curiaú.

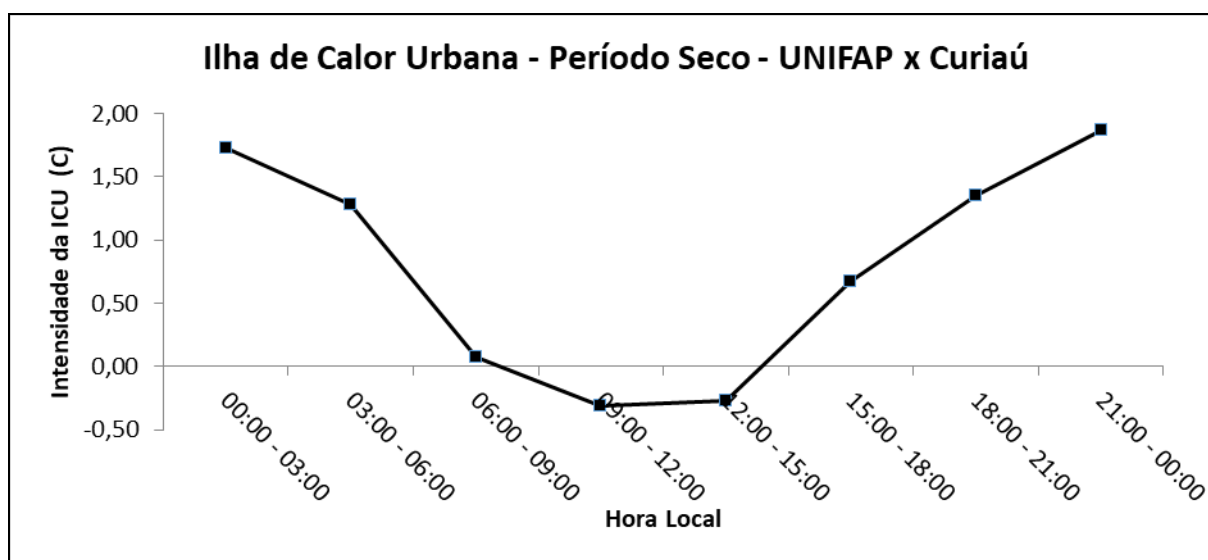


Figura 20: Diferenças térmicas entre os pontos da UNIFAP e do APA do Curiaú.

A UNIFAP começa a aquecer a partir do meio-dia mais rapidamente do que a APA do Curiaú, que possui 54,36% de área vegetada. Além disso, conforme aferido por Souza e Alvalá (2014), o calor absorvido durante o dia, passa a ser dissipado mais lentamente nas áreas mais urbanizadas do que nas mais vegetadas, o que explica porque a partir de 14:00 até 06:00 do dia seguinte a UNIFAP apresenta temperaturas mais altas do que a APA do Curiaú, com pico de aproximadamente 2° C de diferença entre tais pontos. Isto indica que em Macapá, o ponto mais central com pouca arborização e muito urbanizado apresenta temperaturas do ar mais altas do que os pontos periféricos com altos níveis de vegetação. No período seco, a oscilação das temperaturas do ar tendem a ser maiores entre as áreas muito e pouco urbanizadas em relação ao período chuvoso.

6.7 Análise da sazonalidade considerando 12 horas de coleta em todos os nove pontos.

A partir da análise da sazonalidade da temperatura do ar e da umidade relativa do ar nos nove pontos de coleta, na estação seca, úmida e intermediária, verificou-se que em todos os pontos, as maiores temperaturas foram encontradas no período seco e as menores no período úmido, enquanto que as maiores umidades relativas do ar foram encontradas no período úmido e as menores no período seco. A seguir seguem os gráficos de sazonalidade para todos os pontos analisados (Figura 21 a 23).

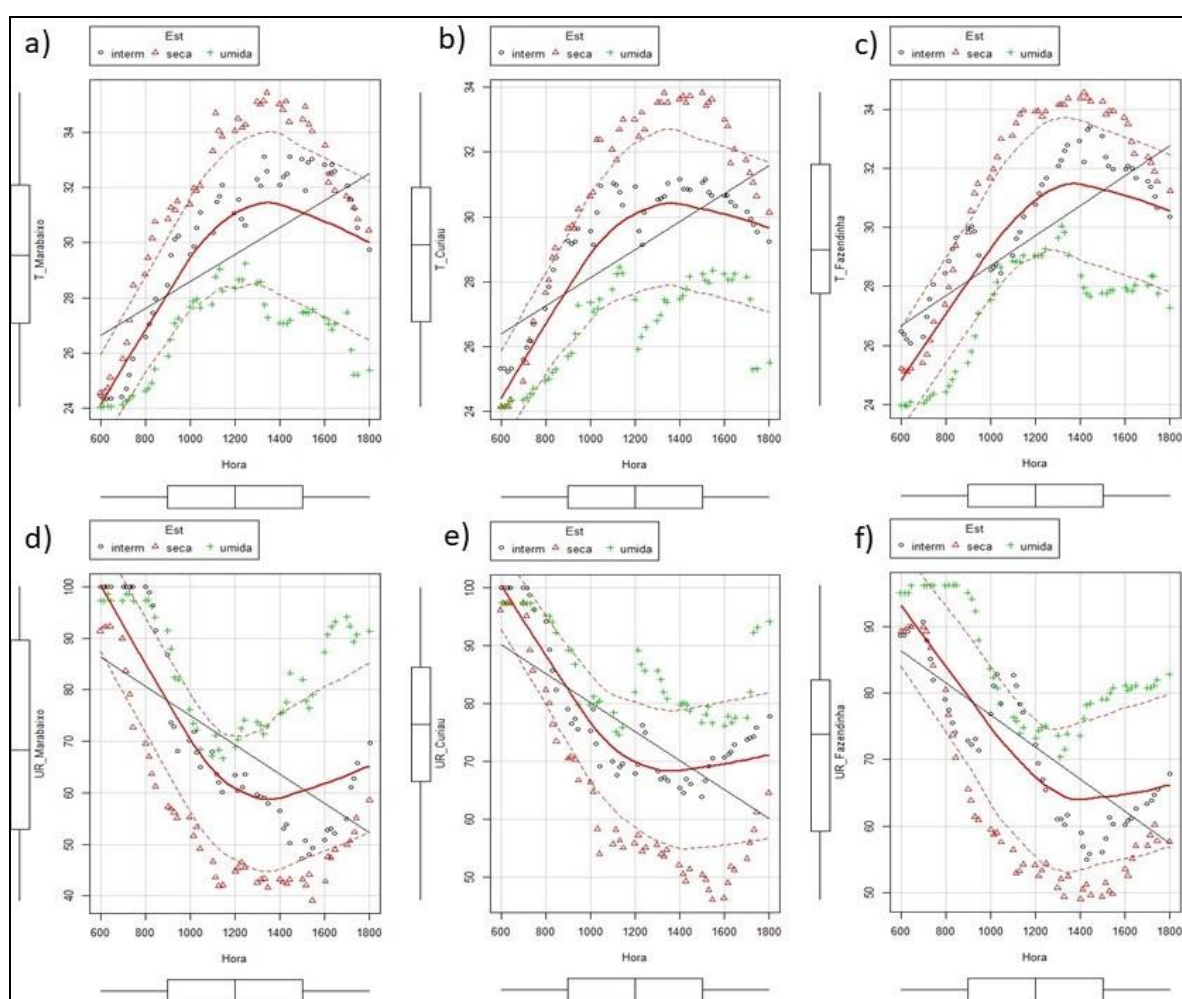


Figura 21: Sazonalidade da Temperatura do ar e umidade relativa do ar na Linha B do Marabaixo, APA do Curiaú e Fazendinha.

A figura 21, mostra a sazonalidade dos elementos meteorológicos citados para os pontos da Linha B do Marabaixo, APA do Curiaú e Fazendinha. Verifica-se que o ponto do Marabaixo (figura 21a) apresentou maiores temperaturas para o período seco (acima de 34°C) muito devido à grande porcentagem de solo exposto (80,60%), tanto que na estação seca este ponto apresentou amplitude térmica acima de 10°C (24 de mínima e 34 de máxima durante o

intervalo de 12 horas), na estação úmida, em decorrência de uma menor exposição da área a energia solar e também com uma concentração de umidade maior, tal amplitude atingiu em torno de 5°C nesta área, com picos aproximados de 29°C ao meio-dia. Segundo Costa et al. (2013a), temperaturas entre 27,1 °C e 32°C podem trazer possível fadiga em um indivíduo caso este esteja exposto em um tempo prolongado ou praticando atividades físicas e temperaturas acima de 32,1 °C podem ocasionar câimbras, esgotamento físico e insolação em caso de exposição prolongada, o que pode acontecer entre 10:00 e 16:00 neste ponto.

Quanto a umidade relativa do ar neste ponto (21d), embora não esteja sendo avaliada nesta pesquisa de forma direta, conforme metodologia efetuada por Costa et al. (2013a) e Silva Junior et al. (2012a), é um dos elementos utilizados para análise do conforto térmico. Neste sentido, verifica-se que entre 15:00 e 16:00, na Linha B do Marabaixo, foram registrados dados de baixa umidade relativa do ar no período seco em torno de 40%, no período intermediário em torno de 50% e no período úmido em torno de 65%. Corroborando para este resultado a baixa cobertura vegetal (17,56%), que é responsável pelo efeito de evapotranspiração que provoca um certo nível de resfriamento local, considerando o raio de 100 metros a partir do sensor.

Os dados registrados para a APA do Curiaú, apresentam temperaturas mais amenas (21b) em relação ao Marabaixo (21a) e a Fazendinha (21c). Tanto que as maiores temperaturas do ar do primeiro registradas no período seco não ultrapassaram 34°C, mesmo no campo seco, enquanto que facilmente, principalmente entre 10:00 e 16:00, os pontos do Marabaixo e da Fazendinha ultrapassaram este valor. No período intermediário a frequência nos períodos mais quentes do dia, oscilaram entre 30°C e 32 °C. e na estação úmida estes dados não ultrapassaram 31°C.

No que tange a umidade relativa do ar, o ponto da APA do Curiaú (21e) apresentou dados com 100%, entre 06:00 e 08:00 nas estações úmida e intermediária, na estação seca com dados abaixo de 50% entre 12:00 e 15:00 e na estação intermediária com valores em torno de 65% entre 12:00 e 15:00, o que se justifica pela alta porcentagem de áreas vegetadas (54,36%) e também de corpos hídricos (14,01%), que tende a suavizar os efeitos da ICU e do eventual desconforto térmico em períodos de maior incidência solar, dependendo do local.

Quanto aos dados obtidos na Fazendinha, na estação seca os picos de temperatura (21c) ficaram acima de 34 °C entre 12:00 e 16:00, com as mínimas estando em torno de 25°C. Na estação intermediária, as máximas de temperatura do ar ficaram em torno de 33,5 °C e na estação úmida em torno de 30 °C, consequência da grande porcentagem de áreas urbanizadas

(37,63%), capazes de armazenar mais calor e liberá-lo durante a noite, e de solo exposto (48,54%), este que armazena e libera calor mais rapidamente.

Em relação a umidade relativa do ar (21f), os dados na estação úmida estiveram próximos a 95% no início do dia, com as mínimas registrando dados próximos a 70%. No período intermediário, oscilou entre 90% e 55% e no período seco foram encontrados dados entre 90% e 50%. Na figura 22, são detalhados os dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar nos pontos da Praça Veiga Cabral, Caixa D'água da CAESA e Lagoa dos índios.

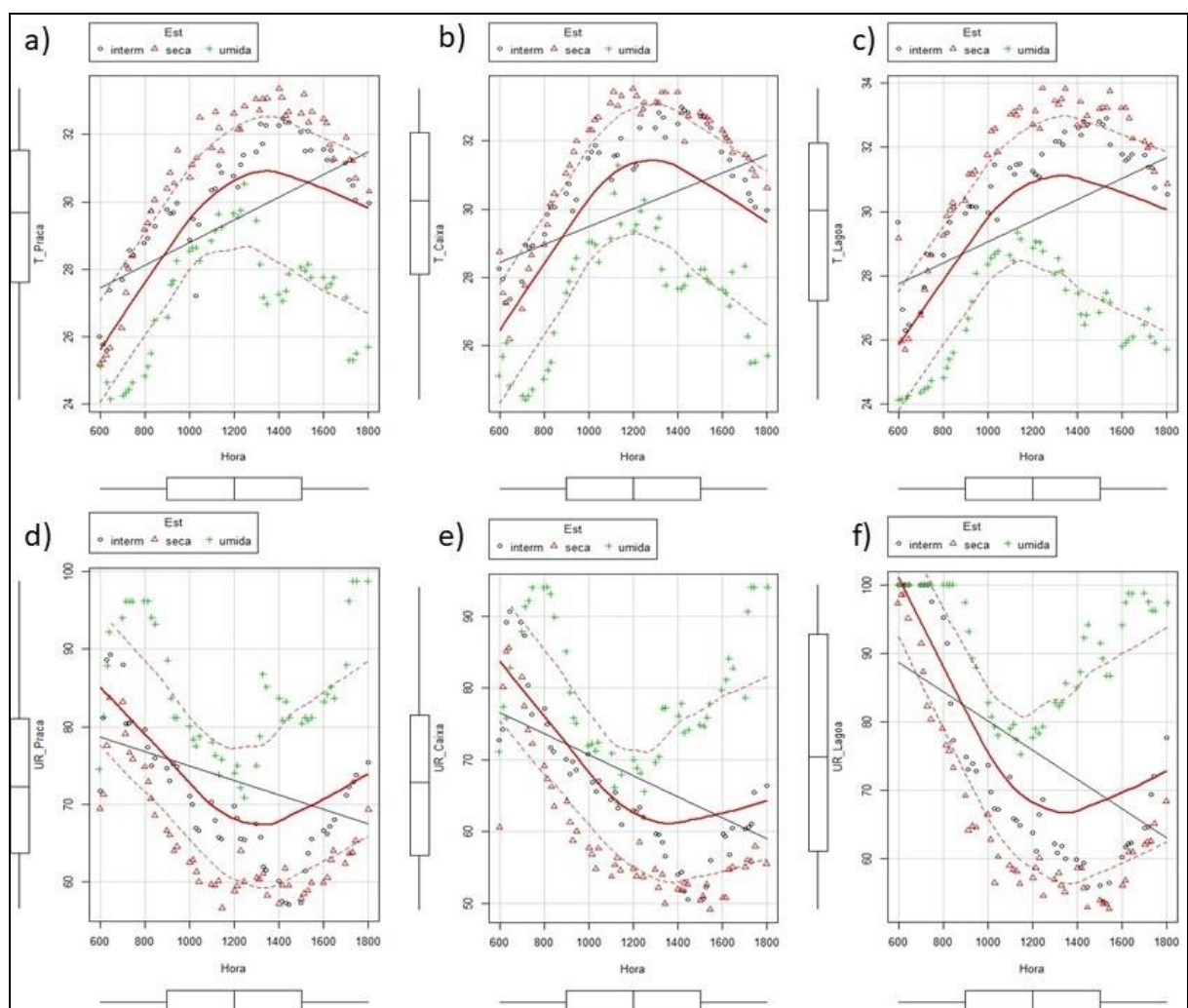


Figura 22: Sazonalidade da Temperatura do ar e umidade relativa do ar na Praça Veiga Cabral, Caixa D'água do Buritizal e na Lagoa dos Índios.

A Praça Veiga Cabral (figura 22a), apresenta dados de temperatura do ar máxima, no período seco, acima de 34 °C, com as mínimas neste período ficando um pouco acima de 25 °C. Na estação intermediária a temperatura variou entre 25 e 33°C e na estação úmida os dados variaram entre 24 e 29°C. Quanto a umidade relativa do ar (22d), os dados na estação

úmida variaram de 96% a 65%, na intermediária entre 95% e 55% aproximadamente, e, na estação seca, entre 88% e 50%. Este ponto apresenta a maior área urbana de todos os analisados, considerando o raio de 100 metros a partir do micrologger (87,70%). O que minimiza um pouco a temperatura é a vegetação (8,50%) e a proximidade com o Rio Amazonas, que pelo efeito das brisas fluviais ocasiona um resfriamento desta área (KUNH et. al., 2010).

Outro ponto muito urbanizado é a Caixa d'água do Buritizal (76,87%), com as maiores temperaturas do ar (22b) sendo registradas próximas de 34°C e mínimas de 27 °C na estação seca, o que é um indicativo de ser um dos pontos mais quentes da cidade, com a maior mínima registrada entre todos os pontos analisados. Isto ocorre devido à baixa arborização desta área (5,39%). Na estação intermediária a temperatura do ar oscila entre 26 °C e 33°C e na estação úmida entre 24 °C e 31°C. A umidade relativa do ar (22e) oscila de percentuais próximos a 95% até 65% na estação úmida, de 90% a 50% na estação intermediária, e, entre 85% a índices abaixo de 50% na estação seca.

Quanto à Lagoa dos índios, a temperatura do ar (22c) oscila na estação seca entre 27 °C e 32°C, na estação intermediária entre 26 °C e 32,5 °C e na estação úmida entre 24 e 29°C. a umidade relativa do ar (22f) apresentou índices entre 100% e 77% na estação úmida, 95% e 55% na estação intermediária e 90% e 52% na estação seca. Este ponto apresenta um certo equilíbrio nas porcentagens de áreas urbanizadas (36,43%) e vegetação (51,12%) o que explica índices altos de umidade relativa do ar (entre 06:00 e 10:00) em determinadas horas do dia e baixos entre 10:00 e 16:00.

A figura 23, detalha os dados do Terminal Rodoviário, da UNIFAP e do Museu Sacaca.

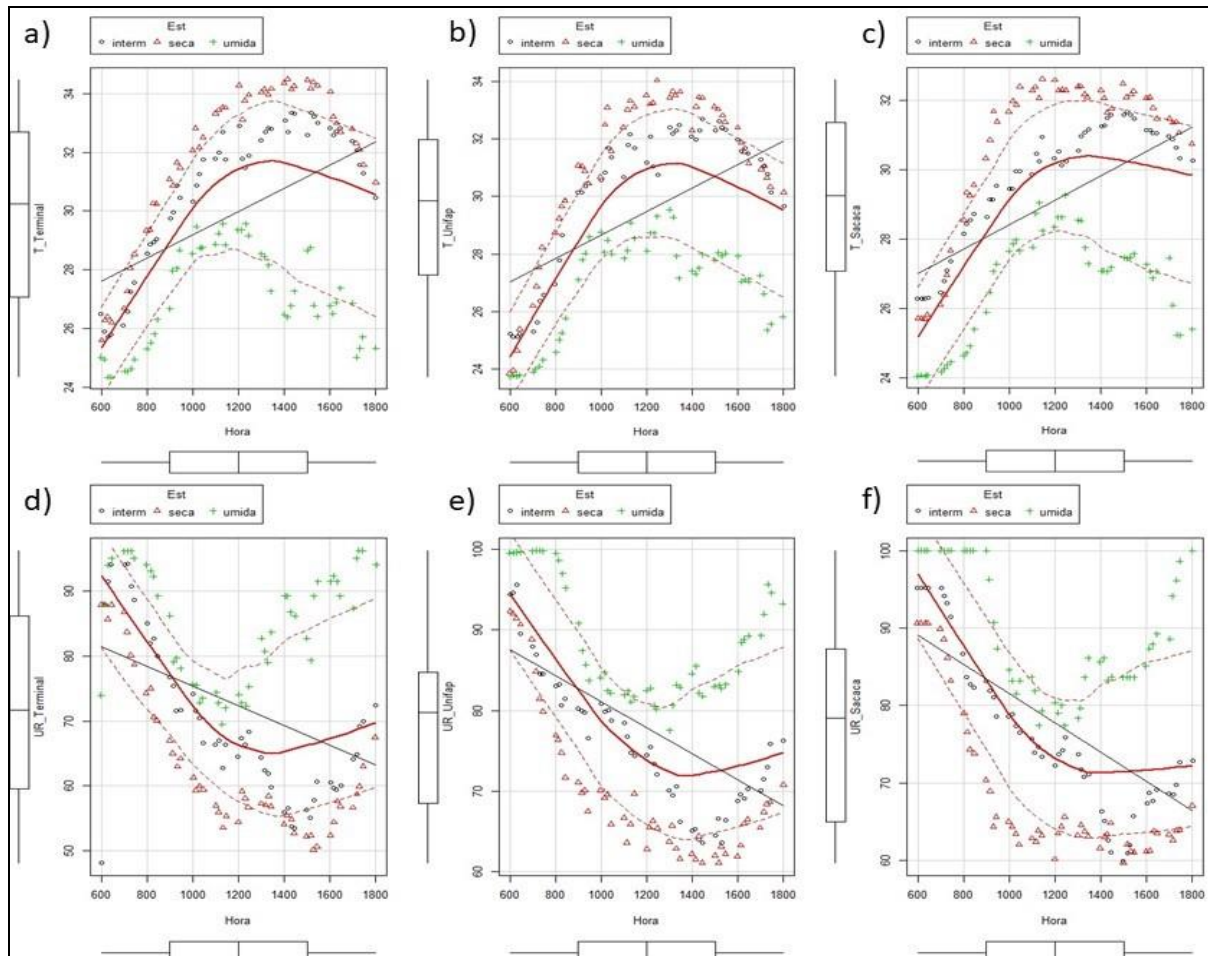


Figura 23: Sazonalidade da Temperatura do ar e umidade relativa do ar no Terminal Rodoviário, na UNIFAP e no Museu Sacaca.

O Terminal Rodoviário apresentou máximas de temperatura do ar (23a), no período seco em torno de 34,5 °C, com as mínimas em 25,5 °C, no período intermediário entre 25,7 °C e 32,3 °C e no período úmido entre 24,3 °C e 29,7 °C. A umidade relativa do ar (23d) oscilou entre 92% e 50% no período seco, 94% e 55% no período intermediário e 96% e 70% no período úmido. Este ponto é bem sensível a mudança de temperatura, em decorrência da quantidade de área urbana existente (44,65%) e solo exposto (48,55%), em que o primeiro tem maior capacidade de armazenar energia e o segundo armazena rapidamente caso haja maior incidência de energia na área.

A UNIFAP apresentou temperaturas do ar (23b) entre 24 e 34 °C no período seco, entre 25 e 32,5 °C no período intermediário e 23,8 °C e 29,6°C. Quanto a umidade relativa do ar (23e), a oscilação no período seco teve valores entre 92% e 61%, no intermediário entre 95% e 65% e no período úmido entre 100% e 78%.

O ponto do Sacaca, em virtude da grande arborização no raio de 100 metros (33,41%) apresentou temperaturas mais amenas (23c), variando entre 25 °C e 32,5°C na estação seca,

26,2 °C e 31,6°C na estação intermediária, e, entre 24°C e 29,5 °C na estação úmida. A umidade relativa do ar (23f) varia entre 90% e 60% na estação seca, 95% e 65% na estação úmida e entre 100% e 76% na estação úmida. As tabelas 11 e 12 demonstram os resultados obtidos com o teste de Friedman para a temperatura do ar e a umidade relativa do ar, considerando todos os pontos de coleta. Os dados apresentaram significância Estatística.

Tabela 11: Teste de Friedman para os índices de temperatura do ar nos pontos com doze horas de coleta para todos os trabalhos de campo.

Teste de Friedman (Temperatura do ar em °C)								
UNIFAP	Sacaca	Marabaixo	APA do Curiaú	Fazendinha	Lagoa	Terminal	Veiga Cabral	Caixa D'água
29,85	29,25	29,55	29,15	29,25	30,05	30,25	29,69	30,25

- Friedman rank sum test
- Data: Responses
- Friedman chi-squared =277.12, df =8, **p-value <0,0000**

Os maiores índices de temperatura do ar encontrados foram o Terminal Rodoviário (30,25 °C), a Caixa D'água do Buritizal (30,25 °C) e a Lagoa dos índios (30,05 °C). Os que apresentaram menores valores de temperatura do ar foram a Fazendinha (29,25° C), o Museu Sacaca (29,25 °C) e a APA do Curiaú (29,15°C).

Tabela 12: Teste de Friedman para os índices de umidade relativa do ar nos pontos com doze horas de coleta para todos os trabalhos de campo.

Teste de Friedman (umidade relativa do ar em %)								
UNIFAP	Sacaca	Marabaixo	APA do Curiaú	Fazendinha	Lagoa	Terminal	Veiga Cabral	Caixa D'água
79,75	78,37	68,35	76,30	73,87	74,92	71,63	72,22	66,91

- Friedman rank sum test
- Data: Responses
- Friedman chi-squared =524.63, df =8, **p-value <0,0000**

Os maiores índices de umidade relativa do ar ocorreram na UNIFAP (79,75%), o Sacaca (78,37%), a APA do Curiaú (76,30%). Os que apresentaram menores valores foram os do Terminal Rodoviário (71,63%), o do Marabaixo (68,35%) e o da Caixa d'água do Buritizal (66,91%). A figura 24 traz uma melhor dimensão espacial a respeito da ICU.

Inicialmente é importante entender que os pontos que seguem o eixo Sudoeste-Nordeste (nesta ordem) são: Fazendinha, UNIFAP, Caixa D'água do Buritizal, Museu Sacaca, Praça Veiga Cabral, Terminal Rodoviário e a APA do Curiaú. Por sua vez, os pontos que

atravessam os eixos Oeste-Leste (nesta ordem) são: Linha B do Marabaixo, Lagoa dos índios e por fim Praça Veiga Cabral.

As figuras 24 e 25 mostram a disposição, respectivamente, da temperatura do ar e da umidade relativa do ar nos pontos analisados.

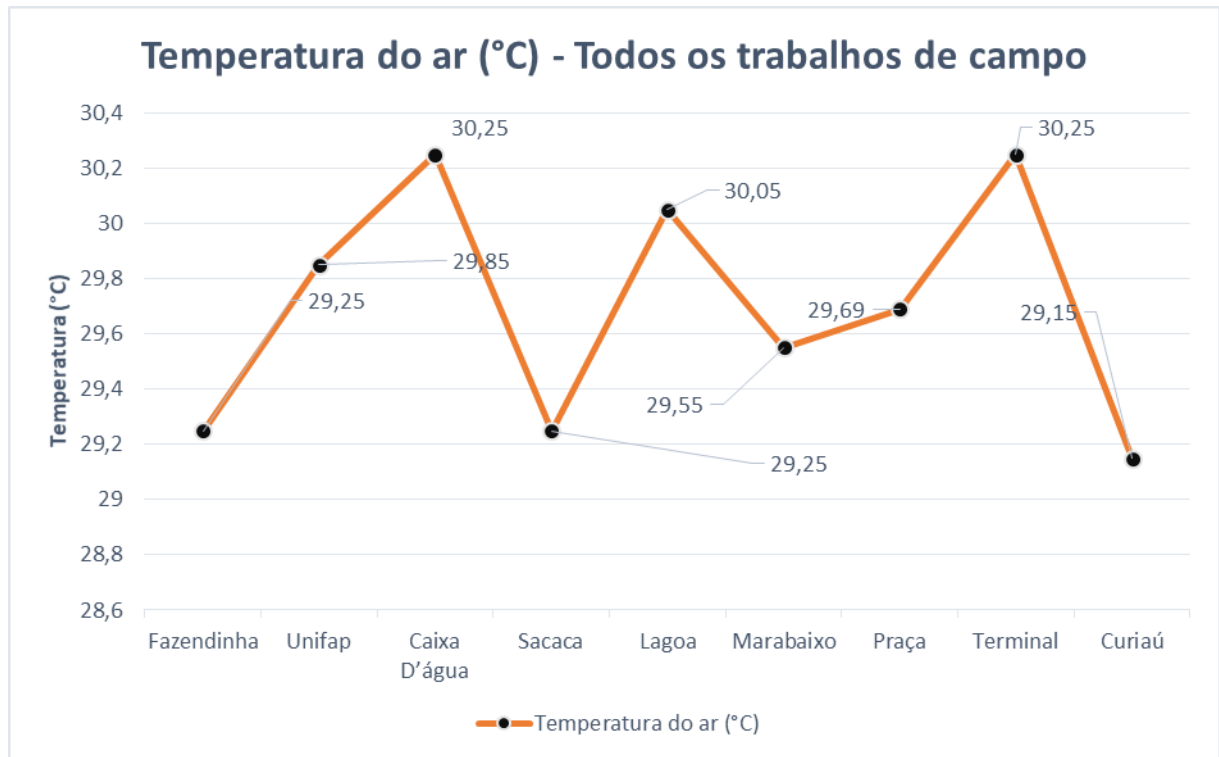


Figura 24: Teste de Friedman referente a temperatura do ar para todos os campos.

A figura 24, detalha que os pontos do Terminal Rodoviário (30,25°C), da Caixa d'água do Buritizal (30,25°C) e a Lagoa dos índios (30,25°C), áreas mais urbanizadas, respectivamente 44,65%, 76,87% e 36,43%, apresentam os maiores índices de temperatura. Enquanto isso, os pontos da APA do Curiaú (29,15° C) e do Sacaca (29,25 °C), áreas mais vegetadas, respectivamente de 54,36% e 33,41%, apresentam os menores índices, considerando o raio de 100 metros a partir do sensor.

Conforme figura 25, os pontos que apresentam maiores índices de umidade relativa do ar são a UNIFAP (79,75%), o Museu Sacaca (78,37%) e a APA do Curiaú (76,3%). Os que apresentam os menores índices são o Terminal Rodoviário (71,63%), a Linha B do Marabaixo (68,35%) e a Caixa D'água do Buritizal (66,91%). A umidade relativa do ar é um elemento meteorológico fundamental para entender o conforto térmico da região, pois quanto maior for a quantidade deste elemento, a região tende a ser mais fresca termicamente.

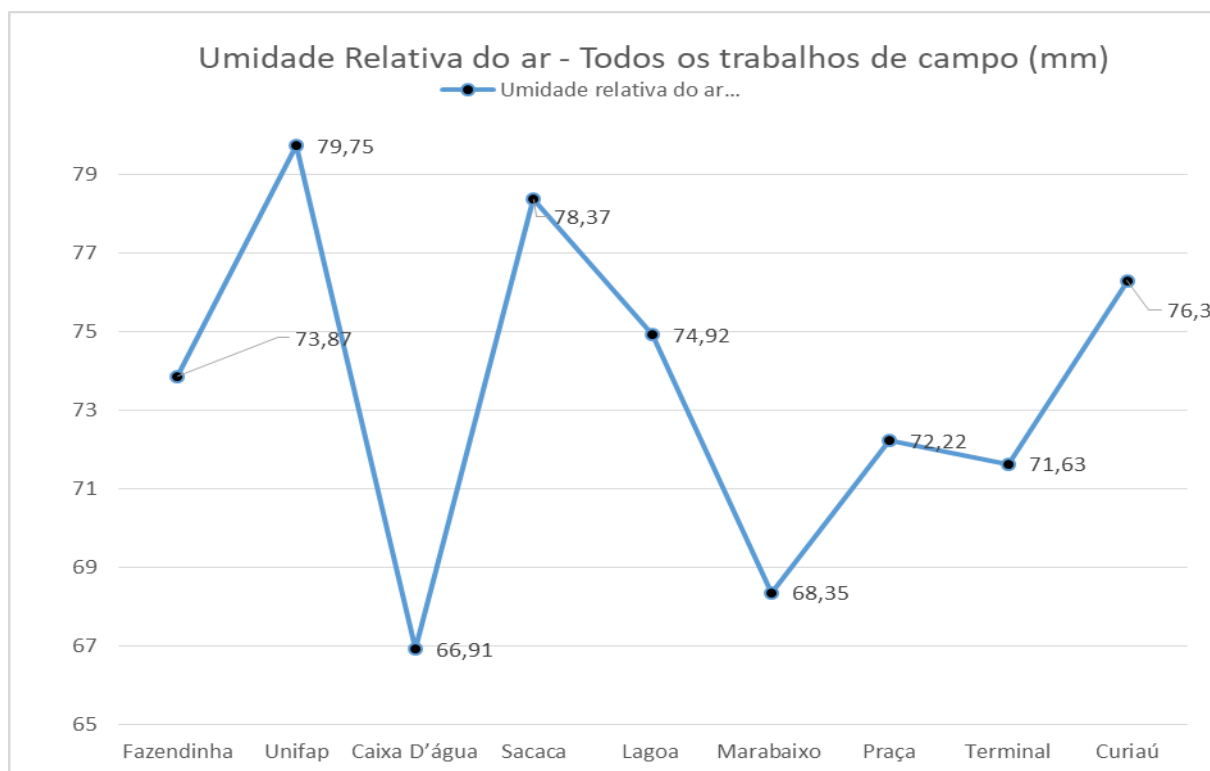


Figura 25: Teste de Friedman referente a Umidade relativa do ar para todos os campos.

A Caixa d'água do Buritizal está localizada em uma área de recreação (praça) é uma área bem urbanizada e o trânsito de veículos nesta região é intenso, em especial na Rua Santos Dumont e na Avenida Pedro Lazarino, apresentando uma superfície predominantemente cimentícia e asfáltica no seu entorno, com algumas gramíneas. A porcentagem de vegetação encontrada por meio da MAXVER é a menor de todos os pontos (5,39%), e não há porcentagem de água, o que justifica este ponto apresentar os menores índices de umidade relativa do ar (66,91%) e as maiores temperaturas da cidade (30,25 °C).

A região do Terminal Rodoviário, por sua vez, apresenta densidade urbana, com uma área residencial contendo edifícios de dois a três pavimentos, com um trânsito de veículos intenso, visto que é o principal caminho para acessar Bairros populosos da Zona Norte da cidade de Macapá, como o Novo Horizonte e o Jardim Felicidade I e II, além da BR-210 que dá acesso aos demais municípios do Estado. Quanto a umidade relativa do ar, este ponto apresenta o terceiro menor índice (71,63%). Ambas as variáveis se justificam pelo alto índice de área urbana (44,65%) e de solo exposto (48,55%), que é responsável pela redução do vapor d'água, além do baixo índice de vegetação e a inexistência dos corpos hídricos, o que possivelmente torna esta região uma das mais termicamente desconfortáveis da cidade.

A Lagoa dos Índios, apresentou a terceira maior temperatura registrada, considerando os três trabalhos de campo (30,05 °C), dada a cobertura do solo ser composta de asfalto e

cimento e, embora o trânsito seja leve dentro do Campus, fora dele é intenso pela Rodovia Duca Serra, importante ligação entre os Municípios de Macapá e Santana, além de bairros importantes que representam o vetor de expansão Oeste da cidade, como o Marabaixo e o Goiabal. Este ponto representa um aspecto de metade urbano (pelas instalações da faculdade) e metade vegetado (pela forte presença de árvores de pequeno, médio e grande porte no entorno da Lagoa).

Considerando doze horas de coleta, as menores temperaturas foram registradas na Fazendinha (29,15 °C), que embora tenha uma urbanização crescente, como apontado por Silva (2016) e Silva (2017), e apresente as maiores temperaturas quando são considerados os pontos com dez dias de coleta, o que pode ser explicado pelas brisas fluviais do Rio Amazonas, localizadas próximas a este ponto. O trânsito de veículos é considerado leve.

Outro destaque é o Museu Sacaca, que apresentou o segundo menor índice, junto com a Fazendinha, de temperatura do ar (29,25 °C), justificada pela presença de vegetação (33,41%) e de água (9,49%), ligada a existência de um pequeno Canal de drenagem em seu interior. Esta região é uma área verde localizada na Zona central da cidade, apresentando trânsito moderado em seu entorno, especialmente na Avenida Feliciano Coelho, e uma ocupação do solo parecida com a Lagoa dos Índios, pois apresenta uma consolidada e maior área urbana ao seu redor (54,41%) em comparação com outros pontos. Mesmo com esta área urbanizada, a presença de vegetação e de corpos hídricos, garante o segundo maior índice de umidade relativa do ar encontrado (78,37%). Possivelmente, se houvesse uma menor densidade urbana neste ponto, os índices de temperatura do ar poderiam ser os menores da cidade.

A APA do Curiaú, por sua vez, apresenta a menor temperatura registrada (29,15 °C), em virtude da presença de vegetação, de campos abertos periodicamente alagados e, da baixa cobertura asfáltica e de pequenas construções, ligadas a Rodovia AP-70 que integra alguns distritos de Macapá, como o Abacate e o Lontra da Pedreira, e pelos bares utilizados pelos banhistas, que os procuram nos finais de semana e feriados. Apesar disso o trânsito é considerado leve. O maior índice de vegetação (54,36%) e maior cobertura de corpos hídricos de todos os pontos analisados (14,01%), favorecem este ponto a ser o terceiro com maior umidade relativa do ar registrada (76,30%).

A UNIFAP, ponto que apresentou maior umidade relativa do ar (79,75%), apresenta diversos elementos no seu entorno e na sua superfície: algumas vias asfaltadas, edificações (blocos do campus), árvores de pequeno, médio e grande porte, além de uma superfície gramada. O trânsito de veículos é considerado leve. Embora no raio de 100 metros deste

ponto, os índices de vegetação sejam de 16,85%, além desse raio apresentam grandes arbustos e árvores de pequeno e médio porte, o que explica o porque deste ponto apresentar a quarta maior temperatura (29,85 °C), ao invés da primeira ou segunda maior, mesmo com 47,74% de área urbana.

Outro ponto que apresenta umidade relativa do ar baixa é a Linha B do Marabaixo (68,35%) que, muito embora, esteja afastada da zona central da cidade e de suas vias de maior movimento, apresenta uma baixa cobertura hídrica (0,16%) e de vegetação (17,56%). Conforme Oliveira et al. (2005), esta baixa umidade relativa do ar neste ponto se explica pela grande presença de solo exposto no ponto analisado (80,60%), o que reduz a quantidade de vapor d'água. Este ponto está atualmente localizada próximo ao vetor de expansão urbana oeste, em uma das regiões que apresentaram maior crescimento urbano na capital amapaense, sendo identificadas algumas impressões, principalmente com a construção de novas habitações na área.

A Praça Veiga Cabral, embora tenha apresentado o quarto maior índice de temperatura do ar (29,69 °C) e a quarta menor umidade relativa do ar (72,22%) de todos os pontos analisados, portanto, não se destacando em nenhum dos índices, possui alguns aspectos interessantes a serem analisados: O primeiro é que este ponto apresenta o maior índice de área urbana aferido por meio da MAXVER (87,70%), um baixíssimo índice de vegetação encontrado (8,50%), trânsito muito movimentado e uma inexistente cobertura de corpos hídricos, considerando o raio de 100 metros a partir do sensor. Essas características seriam suficientes para caracterizar esta área como o principal ponto de ICU de Macapá. Todavia, a influência das brisas fluviais com a proximidade do Rio Amazonas (ponto mais próximo de todos, aproximadamente 200 metros), tornou este ponto mais confortável termicamente do que a Caixa D'água do Buritizal, o Terminal Rodoviário e a Linha B do Marabaixo.

Então, após análise dos índices de temperatura do ar e umidade relativa do ar, já se pode deduzir algumas questões: quanto a temperatura do ar, os pontos da Caixa D'água do Buritizal e do Terminal Rodoviário representam pontos de ilha de calor em relação aos outros analisados. No sentido Oeste-Leste, a ilha de calor é representada pelo ponto da Lagoa dos Índios (30,05 °C).

Assim sendo, dadas as características do solo identificadas anteriormente, os picos de ilha de calor ocorrem na Caixa D'água do Buritizal (Zona Sul), na Lagoa dos Índios (Zona Oeste) e no Terminal Rodoviário (Zona Norte).

Quanto a umidade relativa do ar os pontos com probabilidade de serem os mais desconfortáveis termicamente, baseados nos pontos analisados são, no sentido Sudoeste-

Nordeste: a Caixa D'água do Buritizal e o Terminal Rodoviário, enquanto que no sentido Oeste-Leste, pelas características do solo, a menor umidade relativa do ar é a Linha B do Marabaixo.

Assim sendo, os dados reforçam como regiões mais problemáticas, do ponto de vista térmico, os pontos da Caixa d'água do Buritizal e do Terminal Rodoviário.

Os resultados encontrados corroboram com dados obtidos por Costa et al. (2013b), em que altos índices de atividade antrópica e baixos níveis de vegetação tiveram temperaturas maiores, após fazerem uma análise da cidade de Santarém-PA.

6.7.1 Análise geral da cobertura vegetal e da urbanização na temperatura do ar em Macapá no período seco.

Considerando o período seco, serão feitas algumas análises específicas, sobre a influência das áreas mais vegetadas e das áreas mais urbanizadas, em relação a temperatura do ar, dado os efeitos da ICU serem mais intensificados, conforme aferido por Costa et al. (2013a). A figura 26, demonstra uma correlação, considerando a influência da cobertura vegetal, em relação a temperatura do ar.

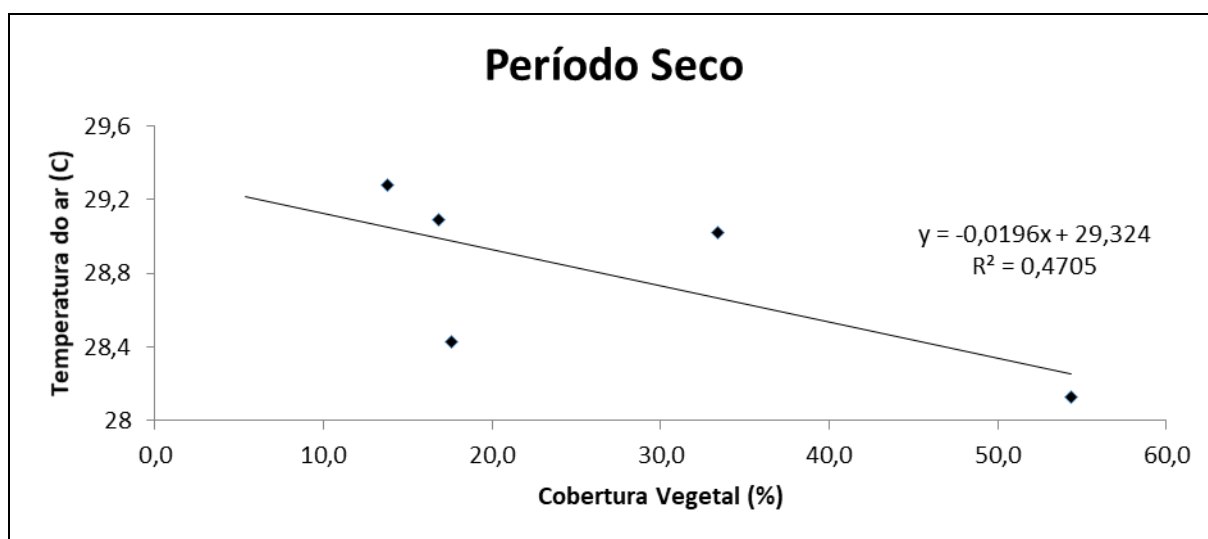


Figura 26: Correlação entre a temperatura média diária do ar e a porcentagem de vegetação na zona urbana de Macapá-AP.

Conforme indicado na figura 27, quando são testadas as regressões entre as temperaturas médias, máximas e mínimas do ar com a cobertura vegetal existente na cidade, apresentam coeficiente de determinação (R^2) na ordem de 0,47, e, indica ainda que a variação ou taxa de diminuição das temperaturas médias e mínimas decresce em torno de -1,9% para cada aumento percentual de arborização. Neste sentido, Silva Junior et al. (2013b),

demonstraram no estudo realizado na cidade de Santarém-PA, que a vegetação possui grande influência nos padrões de uso do solo urbano, com um coeficiente de determinação na ordem de 80%. A figura 27 indica também uma correlação, porém tendo como parâmetro a urbanização em relação a temperatura do ar.

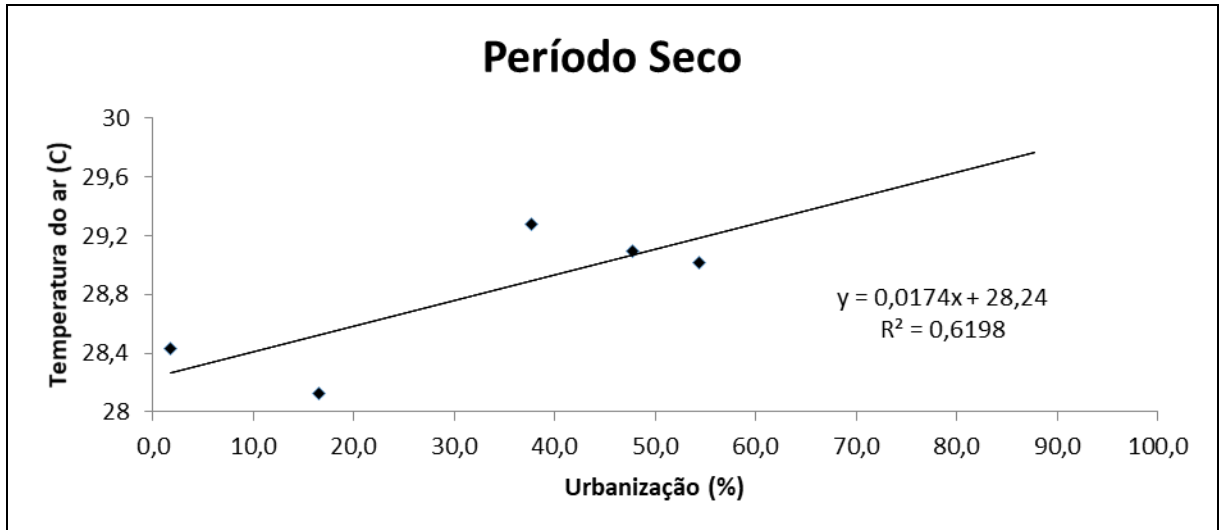


Figura 27: Correlação entre a temperatura média diária do ar e a porcentagem de urbanização na zona urbana de Macapá-AP para o período seco.

Conforme a figura 27, quando são testadas as regressões entre as temperaturas médias, máximas e mínimas do ar com os elementos da estrutura urbana, como as edificações, ruas asfaltadas e calçamento, verifica-se que o valor do coeficiente de determinação (R^2) gira em torno de 61%, indicando que aproximadamente dois terços do aumento de temperatura dos pontos são explicados pelo aumento percentual de áreas urbanas. Além disso, como já esperado, o aumento da área urbana acarreta em um aumento da temperatura do ar, sendo que, cada porcentagem de aumento de área urbana, indica que há um aumento aproximado de 1,7% na temperatura. Este mesmo padrão, embora com intensidades diferentes, também foi observado por Silva Junior (2012b) na cidade de Belém-PA, tendo o coeficiente de determinação de 65%.

7 CONCLUSÕES

A partir dos dados de longa duração, que cumprem a função de entender temporalmente o que aconteceu em Macapá desde 1968 até 2018, buscou-se executar um diagnóstico espacial da sazonalidade da ICU, por meio de dados locais de curta duração obtidas por sensores, que aferem a sazonalidade da temperatura do ar e da umidade relativa do ar, em três trabalhos de campo, a partir de nove pontos com diferentes características de uso do solo.

Nas séries de longa duração, obteve-se alguns índices climáticos de temperatura com significância estatística, que indicaram o aumento dos dias (TX90p) e noites quentes (TN90p) e a redução dos dias (TX10p) e noites frios (TN10p), indicando que Macapá está se tornando mais quente. Enquanto isso, dada a precipitação ter um padrão espacial mais indefinido do que a temperatura, tais índices não obtiveram significância estatística, exceto quando considerado p-valor $<0,1$ para o parâmetro de precipitação diária (RX1day). Percebe-se que há correlação entre o aumento de dias e noites quentes com a redução da vegetação (de 25,02 % para 17,20% entre 1990 e 2017) e o aumento de área urbana (de 24,11% para 37,84% no período citado) como indicado pela MAXVER e de certa forma com o NDVI e o NDBI, pois a vegetação provoca a evapotranspiração, sombreamento e ainda o resfriamento local.

Após análise dos três trabalhos de campo, verificou-se que no período chuvoso a temperatura do ar na comparação entre os pontos periféricos e urbanos apresentou mais homogeneidade do que nos períodos secos, isto devido à maior porcentagem de umidade no ar o que tende a diminuir a presença da ICU. Apesar disso, as áreas mais vegetadas, em especial com menor presença de edificações, tendem a apresentar menores temperaturas do ar. No período seco, essas diferenças tendem a se acentuar indicando que a vegetação influi no padrão de temperatura do ar urbano.

Neste sentido, verificou-se certa influência dos tipos de uso do solo, principalmente na sazonalidade horária de temperatura do ar no campo seco, que teve maiores índices nos pontos mais urbanizados do que as áreas mais vegetadas nos horários noturnos, pelas características de perda de calor mais lentas das áreas com mais edificações e asfaltamento.

Desta forma, os pontos de 10 dias de coleta no campo seco, a Fazendinha apresentou as maiores temperaturas do ar, devido ao baixo nível de vegetação e alto índice de área urbana e solo exposto. Por sua vez, a APA do Curiaú apresentou as menores temperaturas dado o maior índice de vegetação e o menor de área urbana. O Museu Sacaca também apresentou menores temperaturas do ar entre 06:00 e 15:00, dado o alto índice de vegetação, e, também a

maior temperatura do ar entre 18:00 e 21:00, pela maior porcentagem de área urbana. O Marabaixo apresentou ganhos e perdas repentinas de temperatura do ar dado a grande presença de solo exposto (80,60%), o que evidencia a interferência do uso do solo nos padrões de temperatura, mesmo que no campo intermediário e seco outros fatores regionais e globais possam ser mais significantes estatisticamente.

Considerando todos os nove pontos de coleta, com doze horas de duração, verificou-se que há espacialmente duas grandes ilhas de calor na cidade, a Caixa D'água do Buritizal na Zona Sul e o Terminal Rodoviário na Zona Norte, isto em virtude do alto índice de área urbana existente nestas áreas e o baixo nível de vegetação. Por sua vez, o Sacaca e a APA do Curiaú representam ilhas de frescor na cidade de Macapá.

Dessa forma tanto a urbanização quanto a vegetação interferem na temperatura do ar da cidade, principalmente no período seco. A urbanização, como a pesquisa demonstrou, apresentou uma correlação linear com relação ao aumento da temperatura do ar, apresentando um coeficiente de determinação de 61,98%. A vegetação também apresentou uma correlação linear, porém negativa, pois a temperatura do ar tende a diminuir quanto mais aumenta os níveis de vegetação, apresentando um coeficiente de determinação na ordem de 47,05%.

Apesar dessas correlações lineares, verificou-se que nos trabalhos de campo seco e intermediário não tiveram significância estatística quando analisada a temperatura do ar, e, mesmo que no campo úmido tenha tido significância estatística, deduz-se que outro fator possui maior interferência do que o padrão urbano e de vegetação na temperatura do ar local. Neste sentido, destaca-se a proximidade da cidade ao Rio Amazonas, em que a formação da ICU sofre uma suavização devido as brisas fluviais. Apesar disso, considerando os três trabalhos de campo juntos e o trabalho de campo úmido, para a temperatura do ar, obteve-se significância estatística.

Desta forma, será importante a execução de novos trabalhos que investiguem a influência das brisas marítimas, bem como dos efeitos de mesoescala e macroescala, pois estes podem ter maior interferência nos padrões da temperatura do ar e umidade relativa do ar na cidade de Macapá, do que as áreas urbanas e vegetadas.

Estudos futuros mais específicos sobre o conforto térmico, incluindo a utilização de cartas psicrométricas, tendem a trazer mais clareza sobre as interferências da ICU, baseada nos padrões climatológicos temporais e espaciais, sobre a população da capital amapaense.

8 REFERÊNCIAS

- ALEXANDER, L. V (2016). Global observed long-term changes in temperature and precipitation extremes: a review of progress and limitations in IPCC assessments and beyond. **Weather and climate extremes**, 11, 4–16. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wace.2015.10.007>.
- ARYA, S. P (2001). **Introduction to Micrometeorology**, 2ª ed. California: Academic Press, 420 p.
- BARBOSA, P. H. D.; COSTA, A. C. L.; CUNHA, A. C.; SILVA JUNIOR, J. A. (2015). Variabilidade de elementos meteorológicos e de conforto térmico em diferentes ambientes na Amazônia brasileira. **Revista Brasileira de climatologia**, vol 17. p. 98-118. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v17i0.43048>.
- CARVALHO, G. M (2013). **Crescimento urbano e perda de áreas verdes em Macapá: riscos e possibilidades de proteção**. 73 f. Monografia (Graduação em Ciências ambientais) – Universidade Federal do Amapá, Departamento de Meio Ambiente e Desenvolvimento, Macapá.
- CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; DIAS, P. L. S.; SILVA, M. G. A. J. (Orgs). (2009). **Tempo e Clima no Brasil**. Oficina de Textos. 463 p.
- COLTRI, P. P.; FREITAS, S.; DEMETRIO, V. A.; FERREIRA, N. J. (2008). Changes in land cover and use affect the local and regional climate in Piracicaba, Brazil. **Journal of Urban and Environmental Engineering**, v. 2, p. 68-74. <http://dx.doi.org/10.4090/juee.2008.v2n2.068074>.
- COLUNGA, M. L.; CAMBRÓN-SANDOVAL, V. H.; SUZÁN-AZPIRI, H.; GUEVARA-ESCOBAR, A. and LUNA-SORIA, H. (2015), “The role of urban vegetation in temperature and heat island effects in Querétaro city, Mexico”, **Atmosfera**, Vol. 28 No. 3, pp. 205–218. <http://dx.doi.org/10.20937/atm.2015>.
- COSTA, A. C. L.; SILVA JUNIOR, J. A.; CUNHA, A. C.; FEITOSA, J. R. P.; PORTELA, B. T. T.; SILVA, G. G. C.; COSTA, R. F (2013a). Índices de conforto térmico e suas variações sazonais em cidades de diferentes dimensões na Região Amazônica. Recife: **Revista Brasileira de Geografia Física**, V. 06. N. 03, 478-487. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v6.3.p478-487>.
- COSTA, A. C. L.; UCHOA, P. W.; SILVA JUNIOR, J. A.; CUNHA, A. C.; FEITOSA, J. R. P. (2013b). Variações termo-higrométricas e influências de processo de expansão urbana em cidade equatorial de médio porte. Itumbiara: **Brazilian Geographical Journal**, V.4, N. 2, p. 615-632. Jul; dec.
- CRÓSTA, A. P (1993). **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**, Campinas: UNICAMP, ed. rev.
- CUNHA, A. C.; STERNBERG, L. S. L (2018). Using stable isotopes ^{18}O and ^2H of lake water and biogeochemical analysis to identify factors affecting water quality in four estuarine

Amazonian shallow lakes. **Hydrological Processes**, v. 32, p. 1188-1201. <https://doi.org/10.1002/hyp.11462>.

DASHKHUU D; KIM J. P; CHUN J. A; LEE W (2015). Long-term trends in daily temperature extremes over Mongolia. **Weather and Climate Extremes**, 8:26–33. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wace.2014.11.003>.

FANGER, P. O. (1972). **Thermal confort: Analysis and Applications in Environmental Engineering**. New York: McGraw-Hill.

FERNANDES, E. M. G. P (1999). **Estatística aplicada**. Braga: Universidade do Minho, p. 211-215.

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A (1998). Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. **Acta amazônica** 28(2): 101-126. <https://doi.org/10.1590/1809-43921998282126>.

GARTLAND, L. (2010). **Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. Tradução: Gonçalves, S. H. Oficina de Textos. 248p.

GROTT, S. L.; FURTADO, R. N.; FACANHA, E. B.; CUNHA, H. F. A.; CUNHA, A. C. (2018). Variação espaço-sazonal de parâmetros da qualidade da água subterrânea usada em consumo humano em Macapá-AP, Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, p. 645-654. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522018162018>.

HALIMATOU, A. T.; KALIFA T.; KYEI-BAFFOUR N. (2017). Assessment of changing trends of daily precipitation and temperature extremes in Bamako and Ségou in Mali from 1961-2014. **Weather and climate extremes**, 18: 8-16. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wace.2017.09.002>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) (2010). **Censo demográfico**.

IMRAN, H. M.; KALA, J.; NG, A. W. M.; MUTHUKUMARAN, S (2019). Effectiveness of vegetated patches as Green Infrastructure in mitigating Urban Heat Island effects during a heatwave event in the city of Melbourne. **Weather and Climate Extremes**. V. 25. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wace.2019.100217>.

JEROME, G; SINNETT, D.; BURGESS, S.; CALVERT, T.; MORTLOCK, R. (2019). A framework for assessing the quality of green infrastructure in the built environment in the UK. **Urban Forestry & Urban Greening**. V. 40, p. 174-182. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2019.04.001>.

JIMÉNEZ-MUÑOZ, J. C.; MATTAR, C.; BARICHIVICH, J.; SANTAMARÍA-ARTIGAS, A.; TAKAHASHI, K.; MALHI, Y; SCHRIER, G. van der. (2016). Record-breaking warming and extreme drought in the Amazon rainforest during the course of El Niño 2015–2016. **Scientific Reports**, 6, 33130. <http://dx.doi.org/10.1038/srep33130>.

KEGGENHOFF, I.; ELIZBARASHVILI, M.; KING, L (2015). Recent changes in Georgia's temperature means and extremes, Annual and seasonal trends between 1961 and 2010. **Weather and climate extremes**, 8: 34– 45. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wace.2014.11.002>.

KEGGENHOFF, I.; ELIZBARASHVILI, M.; AMIRI-FARAHANI, A.; KING, L (2014). Trends in daily temperature and precipitation extremes over Georgia, 1971-2010. **Weather and climate extremes**, 4, 75-85. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wace.2014.05.001>.

KRUGER, E. L.; ROSSI, F. A. (2015). Quantificação da ilha de calor de Curitiba considerando aspectos de estabilidade atmosférica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 4, p. 394-404. <https://doi.org/10.1590/0102-778620130093>.

KUHN, P. A. F.; CUNHA, A. C.; PEREIRA, M. J.; SARAIVA J. M. B (2010). Previsão Numérica Operacional no Estado do Amapá Utilizando o BRAMS. In: CUNHA, A. C.; SOUZA; E. B. de; CUNHA, H. F. A. (Org.). **Tempo, Clima e Recursos Hídricos: Resultados do Projeto REMETAP no Estado do Amapá**. 1ed. Macapá - AP: Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá - IEPA, v. 1, p. 61-82.

LEAL FILHO, W.; ICAZA, L. E.; EMANCHE, V. O.; AL-AMIN, A. Q (2017). An Evidence-Based review of impacts, strategies and tools to mitigate urban heat island. **International Journal of environment res. Public health**. v. 14(12). <https://doi.org/10.3390/ijerph14121600>.

LI, X.; WU, T.; LIU, K.; LI, Y.; ZHANG, L. (2016). Evaluation of the Chinese Fine Spatial Resolution Hyperspectral Satellite TianGong-1 in Urban Land-Cover Classification. **Remote sensing**. V. 8, 438, p. 1-17. <http://dx.doi.org/10.3390/remote8050438>.

MENDONÇA, F. A. (1994). **O clima e o Planejamento Urbano de Cidades de Porte Médio e Pequeno: proposição metodológica para estudo e aplicação à cidade de Londrina, PR**. Tese (Doutorado em Geografia Física), Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

MONTEIRO, C. A. F. (1976). **Teoria e Clima Urbano**. 181 f. Monografia (Graduação em Geografia) – Universidade de São Paulo, Instituto de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, São Paulo.

MOLION, L. C. B (1987). Climatologia dinâmica da região amazônica: Mecanismos de precipitação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 2, n. 1, p. 107-117.

NDETTO, E. L.; MATZARAKIS, A. (2015). Urban atmospheric environment and human biometeorological studies in Dar es Sallam, Tanzania. **Air quality atmosphere and Health**, v. 8, n.2, p. 175-91, 2015. <https://dx.doi.org/10.1007/s11869-014-0261-z>.

OKE, T. R. (1987). **Boundary Layer Climates**. 2ª ed. p.460.

OKE, T. R.; TASLER, R.; OLSSON, L. E (1991). The tropical urban climate experiment (TRUCE) **Energy and Buildings**, v. 15, n. 1-2, p. 67-73. [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(90\)90117-2](https://doi.org/10.1016/0378-7788(90)90117-2).

OLIVEIRA, M. L.; RUIZ, H. A.; COSTA, L. M.; SCHAEFER, C. E. G. R. (2005). Flutuações de temperatura e umidade do solo em resposta à cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 4, p. 535-539. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662005000400015>.

PORTILHO, I. S. (2010). **Áreas de ressaca e dinâmica urbana em Macapá/AP**. VI Seminário Latino-Americano de Geografia Física, Coimbra.

RIBEIRO, R. J. C.; BAPTISTA, G. M. M.; BIAS, E. S. (2007). **Comparação dos métodos de classificação supervisionada de imagem Máxima Verossimilhança e Redes Neurais em ambiente urbano**. Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril. INPE, p. 5471-5478.

ROSAS, G.; GUBLER, S.; ORIA, C.; ACUÑA, D.; VAN GEIJTENBEEK, D.; JACQUES, M.; KONZELMANN, T. LAVADO, W.; MATOS, A.; MAUCHLE, F.; ROHRER, M.; ROSSA, A.; SCHERRER, S. C.; VALDEZ, M.; VALVERDE, M.; VILLAR, G.; VILLEGAS, E. (2016). Towards implementing climate services in Peru – The project CLIMANDES. *Climate Services*. 4: 30– 41. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cliser.2016.10.001>.

ROTH, M (2007). Review of urban climate research in (sub) tropical regions. *International Journal of Climatology*, v. 27, p. 1859–1873. <http://dx.doi.org/10.1002/joc.1591>.

SANTOS, E. R. C. (2012). Urbanização e Rede Urbana na Amazônia Setentrional Amapaense/AP. *Revista Formação*, n. 19, volume 2, p. 107 -131, jul. /dez. <https://doi.org/10.33081/formacao.v2i19.1720>.

SANTOS, K. P. C.; CUNHA, A. C.; SOUZA, E. B.; COSTA, A. C. L. (2012). Índices de Tendências Climáticas Associadas à “ilha de calor” em Macapá-AP. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, v. 23, p. 1-16.

SANTOS, C. A. C.; OLIVEIRA, V. G. (2017). Trends in extreme climate indices for Pará State, Brazil. *Revista Brasileira de Meteorologia*. V; 32, n.1. <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778632120150053>.

SILVA, A. P. N (2016). **Ilha de calor urbana: diagnóstico e impactos no microclima da região metropolitana de Macapá- AP**. 129f. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Universidade de Campina Grande, Campina Grande.

SILVA, A. N. B. (2010). **Índices de extremos climáticos e tendências de precipitação anual e sazonal na Amazônia Oriental**. 133f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal do Pará, Belém.

SILVA, E. C. (2017). A urbanização em Macapá após a criação do Estado do Amapá: Expansão urbana e desigualdade socioespacial. *Ciência Geográfica*. Vol. XXI (2), jan/dez.

SILVA JUNIOR, J. de A (2012). **Avaliação de parâmetros micrometeorológicos, do conforto e da percepção térmica na área urbana da cidade de Belém-PA**. 137f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal do Pará, Belém.

SILVA JUNIOR, J. de A.; COSTA, A. C. L.; PEZZUTI, J. C. B.; COSTA, R. F.; GALBRAITH, D (2012). Análise da Distribuição Espacial do Conforto Térmico na Cidade de Belém, PA no Período Menos Chuvoso. Recife: *Revista Brasileira de Geografia Física*, V. 02, 218-232.

SILVA JUNIOR, J. A.; COSTA, A. C. L.; PEZZUTI, J. C. B.; COSTA, R. F.; SOUZA, E. B. (2012a). Relações entre as percepções térmicas e índices de conforto térmico dos habitantes de uma cidade tropical na Amazônia Oriental. Itumbiara: **Brazilian Geographical Journal**, V.3, N. 2, p. 395-407.

SILVA JUNIOR, J. de A.; COSTA, A. C. L.; PEZZUTI, J. C. B.; COSTA, R. F.; GALBRAITH, D. (2012b). Análise da Distribuição Espacial do Conforto Térmico na Cidade de Belém, PA no Período Menos Chuvoso. Recife: **Revista Brasileira de Geografia Física**, V. 02, 218-232.

SILVA JUNIOR, J. A.; COSTA, A. C. L.; PEZZUTI, J. C. B.; COSTA, R. F.; RODRIGUES, H. J. B. (2013a). Sazonalidade de elementos meteorológicos da área urbana e periférica na cidade de Belém, PA. Itumbiara: **Brazilian Geographical Journal**, V.4, N. 2, p. 650-662.

SILVA JUNIOR, J. A.; COSTA, A. C. L.; PEZZUTI, J. C. B.; COSTA, R. F. (2013b). Variabilidade espacial do conforto térmico e a segregação social do espaço urbano na cidade de Belém-PA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 4, 419-428.

SOUZA, A. C. M. (2014). **Análise do planejamento urbano de um espaço em transformação: As cidades de Macapá e Santana na perspectiva do desenvolvimento local**. 121f. Dissertação (Mestrado Integrado em Desenvolvimento Regional) – Universidade Federal do Amapá, Macapá.

SOUZA, D. O.; ALVALÁ, R. C. S (2014). Observational evidence of the urban heat island of Manaus city, Brazil. **Meteorological Applications**, v. 21, n. 1, p. 186-193. <https://doi.org/10.1002/met.1340>.

SOUZA, W. M.; AZEVEDO, P. V. (2009). Avaliação das tendências das temperaturas em recife-PE: mudanças climáticas ou variabilidade. **Revista de Engenharia Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 462-472.

TAVARES, J.P.N (2014). Características da climatologia de Macapá-AP. **Caminhos de Geografia** - revista on-line. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/viewFile/26031/14965>. Acesso: 12 abr. 2018.

VARQUES, A. C. G.; KANDA, M. (2018). Global Urban Climatology: A meta-analysis of air temperature trends (1960-2009). **Climate and atmospheric Science**, v. 1, 1:32. <https://doi.org/10.1038/s41612-018-0042-8>.

VIANELLO, R. L. e ALVES, A. R (2012). **Meteorologia Básica e Aplicações**. Editora Universidade Federal de Viçosa – UFV. Viçosa-MG. 460 p.

WANG, W.; LIU, K.; TANG, R.; WANG, S. (2019). Remote sensing image-based analysis of the urban heat island. Effect in Shenzhen, China. **Physics and Chemistry of the Earth**. V. 110, p. 168-175. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pce.2019.01.002>.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION - WMO (2012). **Guide to meteorological instruments and methods of observation**. 8. nd. Geneva: WMO.

ZANZARINI, F. V.; PISSARRA, T. C. T.; BRANDÃO, F. J. C.; TEIXEIRA, D. D. B. (2013). Correlação espacial do índice de vegetação (NDVI) de imagem Landsat/ETM+ com atributos do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. V. 17, n. 6, p 608-614. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000600006>.

ZHA, Y.; GAO, J.; NI, S. (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 24, n. 3, p. 583–594. <https://doi.org/10.1080/01431160210144570>.

ZHANG, X.; STEENEVELD, G.; ZHOU, D.; DUAN, C.; HOLTSLAG, A. A. M. (2019). A diagnostic equation for the maximum urban heat island effect of a typical Chinese city: A case study for Xi'na. **Building and environment**. V. 158. P 39-50. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.05.004>.

ZHANG, X.; YANG, F (2004). **RClimDex (1.0) User Guide**. Climate Research Branch Environment Canada. Downsview (Ontario, Canada), 22p.

ZHAO, C.; WANG, W; XING, W. (2012). Regional analysis of extreme temperature indices for the Haihe river basin from 1960 to 2009. **Procedia Engineering**, 28, 604–607. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.776>.

ZHOU, B.; RYBSKI, D.; KROPP, J. P. (2017). The Role of city size and urban form in the surface urban heat island. **Scientific Reports**, v. 7, 1:4791. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04242-2>.

ZHU, R., WONG, M. S.; GUILBERT, E., CHAN, P. W. (2017). Understanding heat patterns produced by vehicular flows in urban areas. **Scientific Reports**, v. 7, 1:16309. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-15869-6>.