UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus Presidente Prudente

MARCO AURÉLIO NERI TORRES

ANÁLISE DAS ILHAS DE CALOR URBANAS EM SÃO LUÍS - MARANHÃO

Presidente Prudente – SP

2022

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus Presidente Prudente

MARCO AURÉLIO NERI TORRES

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Ciência e Tecnologia de Presidente Prudente/SP, como requisito para obtenção do título de Mestre em Geografia.
Área de concentração: Produção do Espaço Geográfico

Orientadora: Profa. Dra. Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim

Presidente Prudente – SP
2022

FICHA CATALOGRÁFICA

T693a

Torres, Marco Aurélio Neri
Análise das ilhas de calor urbanas em São Luís – Maranhão / Marco Aurélio Neri Torres. -- Presidente Prudente, 2023
142 p. : il., tabs., fotos, mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente
Orientadora: Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim

1. Climatologia Urbana. 2. Temperatura. 3. São Luís - Maranhão. I. Título.

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

Essa ficha não pode ser modificada.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Presidente Prudente

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE MARCO AURÉLIO NERI TORRES, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA, DA FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA - CÂMPUS DE PRESIDENTE PRUDENTE.

Aos 04 dias do mês de março do ano de 2022, às 09:00 horas, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de MARCO AURÉLIO NERI TORRES, intitulada **ANÁLISE DAS ILHAS DE CALOR URBANAS EM SÃO LUÍS - MARANHÃO**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Profa. Dra MARGARETE CRISTIANE DE COSTA TRINDADE AMORIM (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Departamento de Geografia / FCT/UNESP - Câmpus de Presidente Prudente, Prof. Dr. RONALDO RODRIGUES ARAÚJO (Participação Virtual) do(a) Depto de Geociências / Universidade Federal do Maranhão, Profa. Dra. MIRIAM RODRIGUES SILVESTRE (Participação Virtual) do(a) Departamento de Estatística / FCT/UNESP - Câmpus de Presidente Prudente. Após a exposição pelo mestrando e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, o discente recebeu o conceito final: APROVADO. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata**,** que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.



PROFA. DRA. MARGARETE CRISTIANE DE COSTA TRINDADE AMORIM

DEDICATÓRIA

A todos os cientistas, professores e aos meus conterrâneos maranhenses, grandes camaradas desse grandioso estado.

A minha avó Zélia (*in memorian*), a minha mãe Izinente, a minha irmã Carol, a minha sobrinha Abynara, a minha esposa Priscilla e ao amor da minha vida toda, minha filha Vitória. Essas são as mulheres e meninas guerreiras que me ensinaram a vencer!

Obrigado por tudo!

AGRADECIMENTOS

A universidade pública e de qualidade, que prepara os cientistas brasileiros para as demandas sociais nas mais diversas esferas, com competência e excelência dos mais altos níveis científicos.

Aos cientistas brasileiros, que batalham há anos com baixos recursos e desenvolvem pesquisas fantásticas e de grande relevância científica e social, que seguem a razão contra todo o negacionismo e totalitarismo da mente de alguns pseudo governantes, pessoas de má índole e mentirosos.

A minha família, pelo apoio incondicional em todos as etapas, em especial: a minha mãe, Izinete; a minha irmã, Carol; a minha sobrinha, Abynara; a minha esposa, Priscilla; a minha filha e dona do maior amor do mundo, Vitória, obrigado por me ensinar muitas coisas nesse 1 ano e 4 meses de vida.

A minha sogra, dona Telma e a minha cunhada, Paloma. Muito obrigado por segurar a barra cuidando da minha filha nos momentos finais de dissertação.

A Fundação de Amparo a Pesquisado do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio financeiro e técnico ratificado através da bolsa de mestrado sob processo FAPESP: 2019/12170-4.

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

Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia de Presidente Prudente, pela oportunidade de estar no meio de pares tão relevantes dentro da ciência geográfica nacional e internacional, pelos estudos e aplicações desenvolvidos nos diversos momentos da vida acadêmica nesses quase três anos.

A minha orientadora, a grande mulher, a grande cientista e grande professora, a Dra. Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim, muito obrigado pelos aconselhamentos científicos em todos os momentos, e por não deixar desamparado em nenhuma das etapas da pesquisa, para mim você é a melhor professora/orientadora da FCT/UNESP de Presidente Prudente.

A todos os integrantes Núcleo de Estudos e Pesquisas Ambientais (NEPA/UFMA), pelo apoio incondicional tanto do ponto de vista de conhecimento, pois nele me estabeleci enquanto pesquisador ainda na graduação, tanto do ponto de vista de disponibilização dos equipamentos técnicos para o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos professores e coordenadores do NEPA que diretamente contribuíram para o desenvolvimento dessa pesquisa, em especial a professora Dra. Zúlimar Márita Ribeiro

Rodrigues, ao professor Dr. Antonio Cordeiro Feitosa, ao professor Dr. José Aquino Júnior e ao professor Ms. Ulisses Denache, muito obrigado.

Aos professores da UFMA que ajudaram na pesquisa da melhor forma possível por meio de aconselhamentos científicos a partir do grande conhecimento na área da climatologia, dentre eles o professor Dr. Juarez Mota Pinheiro e professor Dr. Ronaldo Rodrigues Araújo, estes que também estiveram na banca da minha monografia e hoje também estão enquadrados na banca da minha pesquisa de mestrado.

Aos amigos egressos da UFMA que diretamente me ajudaram seja do ponto de vista científico, seja do ponto de vista emocional para a finalização deste trabalho, em especial Jamile, Daniele, Igor, Leonardo, Paula, Taissa.

A meu compadre Paulo, pelo incentivo todo esse tempo, por ser um grande amigo e agora padrinho da minha filha. Agradeço pelas mais de 50 horas de viagem que você planejou (atrapalhadamente) em 2018 para eu fazer a prova de ingresso no mestrado, tudo isso valeu a pena.

Ao professor Audivan e a Jainara, por todo apoio nas pesquisas de campo e contribuições científicas, vocês são especiais e foram de muita ajuda neste trabalho.

A todos os colegas de mestrado e doutorado ingressantes na turma de 2019, obrigado pela oportunidade de conviver com vocês nesse período na UNESP, vocês são pessoas maravilhosas.

Aos amigos que fiz em Presidente Prudente, em especial Gustavo, Daniele, Nani, Gisele, Gilvan Prates, Ricardo, Matheus, Lucas, Carla Hentz, Carlos Eduardo e dentre muitos outros que não teria espaço para citar aqui, meu muito obrigado.

Ao grupo de trabalho em climatologia urbana e a todo o pessoal do GAIA da UNESP, sem a companhia e ajuda de vocês nada disso seria possível.

Ao corpo editorial da Revista Formação, obrigado pelo aprendizado nessa importante etapa do meu desenvolvimento científico. Também agradeço aos editores chefes, o professor Dr. Eliseu Savério Spósito e ao professor Dr. Carlos Alberto Feliciano (Cacá), pela oportunidade de trabalhar junto e pela troca de conhecimento nas diversas funções da revista.

As pessoas que cederam suas casas para instalação dos sensores e estações meteorológicas durante as pesquisas de campo, por toda a ajuda e comunicação em todo tempo que os equipamentos ficaram nas suas residências. Ao Batalhão de Polícia Militar Ambiental do Maranhão pela disponibilização do espaço, e ao Laboratório de Meteorologia do Núcleo Geoambiental da Universidade Estadual do Maranhão, pela disponibilização de dados da sua estação meteorológica.

A banca de qualificação e a de defesa dessa pesquisa de mestrado, ao professor Dr. Ronaldo Rodrigues Araújo (já citado) e a professora Dra. Miriam Rodrigues Silvestre, obrigado pelas contribuições que ajudaram na finalização da pesquisa.

Ao pessoal da república MASP (Maranhão, São Paulo, Piauí), pela convivência e amizade que levo para toda vida, em especial: Larissa, a loira mais bonita da GEO e pela mulher forte que você é; a Francisco Wendel, vulgo Xicó, também conhecido como idoso, um cara meio rabugento, mas que é super gente boa; a baixinha da Liriane, o que lhe falta em tamanho não falta em vontade de bater papo, a jovem fala pelos cotovelos, além disso, é dona de um coração enorme, dos mais generosos que eu já vi.

A Nicolas, Grabriela e Paulo, pelos momentos bons vividos entre os anos de 2020 e 2021 com companheiros de república, obrigado.

Ao pessoal do grupo "Coffe Time", que depois se transformou em um grupo de viagens para eventos (nunca viajamos), e por fim virou um grupo de fofoca mesmo, em especial: Ana Carolina, Marcia, Thiago Milani, Carol, Mariana, Amanda, Nicolas e Luís, muito obrigado por me permitirem sua amizade, levarei vocês para toda a vida.

Por fim, não se faz nada sozinho, muito menos ciência, obrigado a todos que contribuíram direta e indiretamente para a finalização desta pesquisa de mestrado.

EPÍGRAFE

“Mas, por mercê de Deus, observamos o contrário na Ilha do Maranhão e terras adjacentes do Brasil, situadas precisamente sob a zona tórrida, a dois e meio graus mais ou menos do Equador, para o lado do trópico de Capricórnio, onde, passando o sol duas vezes pelo seu zênite, seria de fato o calor insuportável não fosse a incomensurável providência divina atenuar e temperar tal ardor por meios muitas vezes maravilhosos. Se a temperatura, ou o clima, de uma região depende tão-somente da pureza e da doçura do ar, julgo (o que há de parecer paradoxal a muitos) que não existe lugar no mundo mais temperado e delicioso do que este”.

Claude d'Abbeville

História da missão dos padres capuchinhos na Ilha do Maranhão e terras circunvizinhas (1614)

RESUMO

A presente pesquisa teve como objetivo analisar a formação das Ilhas de Calor Urbana em São Luís, capital do estado do Maranhão, considerando a dinamicidade do espaço urbano, as características físicas e ambientais e as diferentes formas de uso e ocupação da terra. As ilhas de calor podem ser caracterizadas pela diferença de temperaturas de um ambiente rural mais próximo para com os demais ambientes da zona urbana. Para o desenvolvimento da pesquisa foi utilizada a teoria do Sistema Clima Urbano (SCU), proposta por Monteiro (1976), particularmente no subsistema termodinâmico que envolve dados referentes às temperaturas observadas e distribuídas espacialmente na cidade, considerando-se, principalmente, as ilhas de calor urbanas e a estrutura intraurbana. Para que os objetivos fossem atingidos, a pesquisa foi dividida em três etapas diferentes, porém complementares, tais como: identificação e caracterização do ambiente urbano; análise das ilhas de calor superficiais por meio de sensoriamento remoto; e análise das ilhas de calor urbanas atmosféricas a partir de registros das temperaturas em pontos fixos. Foram utilizadas técnicas de Processamento Digital de Imagem de Satélite, estatísticas descritivas para entendimento inicial da dinâmica das temperaturas urbanas, análise das temperaturas para o estudo das intensidades e magnitudes das ilhas de calor atmosféricas. Como resultados, as ilhas de calor superficiais apresentaram maiores temperaturas nas áreas mais densamente construída, e as menores foram registradas nas áreas relacionadas a Unidades de Conservação, Áreas de Preservação Permanente ou áreas que com nível maior de arborização devido aos padrões de habitação. As ilhas de calor atmosféricas apresentaram maiores intensidades no período diurno. No período noturno têm-se um padrão de baixa diferença das intensidades da ICU. As magnitudes encontradas foram de baixa, média, forte e muito forte magnitude, sendo que as de fraca magnitude foram predominantes no período estudado (76,5%).

Palavras-chave: Climatologia Urbana; Temperatura; São Luís - Maranhão.

ABSTRACT

The present research aimed to analyze the formation of Urban Heat Islands in São Luís, capital of the state of Maranhão, considering the dynamics of urban space, the physical and environmental characteristics and the different forms of land use and occupation. The heat islands can be characterized by the difference in temperatures of a closer rural environment to the other environments of the urban area. For the development of the research, the theory of the Urban Climate System (UHS), proposed by Monteiro (1976), was used, particularly in the thermodynamic subsystem that involves data regarding the temperatures observed and spatially distributed in the city, considering mainly the urban heat islands and the intra-urban structure. In order to achieve the objectives, the research was divided into three different but complementary stages, such as: identification and characterization of the urban environment; analysis of surface heat islands through remote sensing; and analysis of atmospheric urban heat islands based on temperature records at fixed points. Satellite Image Digital Processing techniques were used, descriptive statistics for initial understanding of the dynamics of urban temperatures, analysis of temperatures for the study of intensities and magnitudes of atmospheric heat islands. As results, the surface heat islands showed higher temperatures in the most densely built areas, and the lowest were recorded in areas related to Conservation Units, Permanent Preservation Areas or areas that have a higher level of afforestation due to housing patterns. Atmospheric heat islands presented higher intensities in the daytime period. In the nighttime period there is a pattern of low differences in UHI intensities. The magnitudes found were of low, medium, strong and very strong magnitude, being that those of weak magnitude were predominant in the studied period (76.5%).

Keywords: Urban Climatology; Temperature; São Luís - Maranhão.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Relação sistêmica em que o subsistema termodinâmico se estabelece no SCU 35

Figura 2. Perfil da ilha de calor urbana 39

Figura 3. Resumo dos tipos de ICU, suas escalas, processos térmicos, abordagens usadas para modelá-los e técnicas de medição direta e remota utilizadas para observá-las. 41

Figura 4. Ilustração das diferenças que formam os quatro tipos de ICU 41

Figura 5. Mapa de localização do município de São Luís-MA. 43

Figura 6. Mapa de localização da zona urbana de São Luís (Área de Estudo). 44

Figura 7. Mapa de localização da Bacia de São Luís. 47

Figura 8. Divisão da Planície Litorânea Maranhense 47

Figura 9. Geologia da Zona Urbana de São Luís – MA. 47

Figura 10. Mapa de Localização da área de influência do Golfão Maranhense. 47

Figura 11. Unidades Geomorfológicas da zona urbana de São Luís - MA 49

Figura 12. Unidades Geomorfológicas da zona urbana de São Luís - MA 49

Figura 13. Orientação de vertente zona urbana de São Luís - MA 49

Figura 14. Hipsometria da zona urbana de São Luís - MA 49

Figura 15. Planta de evolução da cidade de São Luís entre os anos de 1612 a 1700. 56

Figura 16. Planta da Cidade de São Luís, 1912 60

Figura 17. Mapa da evolução dos bairros da zona urbana de São Luís-MA, 1950 - 2000 64

Figura 18. Mapa de origem de ocupação da zona urbana de São Luís 65

Figura 19. Zoneamento de São Luís. 67

Figura 20. a - Registrador de dados da estação de monitoramento remoto HOBO RX3000; b - Sensor de temperatura do ar / umidade relativa - HOBO U23 Pro v2; c - Sensor de Velocidade /rajada de vento (S-WSB-M003); d - Sensor de Direção do vento (S-WDA-M003); e - Abrigo meteorológico (RS3-B) para sensor de temperatura do ar / umidade relativa; f – Tripé. 77

Figura 21. a - Termohigrômetro HOBO (U10 -003); b - Abrigo meteorológico (RS1) para sensor de temperatura do ar / umidade relativa; c - Abrigo meteorológico (RS4) para sensor de temperatura do ar / umidade relativa; d – Tripé. 78

Figura 22. Sensores e estações instalados em campo. A – Estação Meteorológica HOBO 2 (ponto 1 - Ponta da Areia); B – Sensor HOBO U10-003 com abrigo meteorológico (RS1)

(ponto 3 – Habitacional turu);C - Sensor HOBO U10-003 com abrigo meteorológico (RS4) (ponto 4- Renascença). 79

Figura 23. Adaptação feita nos varais de residências onde se impossibilitou de instalar os sensores com tripés. 80

Figura 24. Adaptação feita em tronco de árvore em área de vegetação arbórea 81

Figura 25. Mapa de uso e ocupação da terra a zona urbana de São Luís 85

Figura 26. NDVI – 23 de junho de 2020 88

Figura 27. Temperatura de Superfície na Zona Urbana de São Luís – 23 de junho de 2020 ... 88

Figura 28. NDVI – 17 de agosto de 2020 89

Figura 29. Temperatura de Superfície na Zona Urbana de São Luís – 17 de agosto de 2020 . 89

Figura 30. Magnitudes das ilhas de calor superficiais na Zona Urbana de São Luís – 23 de junho de 2020 91

Figura 31. Magnitude das ilhas de calor superficiais na Zona Urbana de São Luís – 17 de agosto de 2020 91

Figura 32. Localização dos sensores e estações meteorológicas em São Luís 98

Figura 33. Prancha da variação espaço-temporal das intensidades da temperatura do ar nos 26 pontos de São Luís em relação ao ambiente Rural (Ponto 9) no mês de setembro de 2020. . 118

‘

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Estudos de Clima urbano no Brasil – 1990 a 2010 34

Tabela 2. Crescimento demográfico de São Luís nos séculos XVII, XVII, XIX 59

Tabela 3. Crescimento demográfico de São Luís nos séculos XX e XXI. 62

Tabela 4. Classificação de conformidade ao Índice Kappa. 71

Tabela 5. Relação das classes de uso e o quantitativo das áreas 84

Tabela 6. Quantitativo das áreas em relação as magnitudes das ilhas de calor 93

Tabela 7. Quantitativos de classes de uso da terra e Magnitudes das ICUs - 23 de junho de 2020 93

Tabela 8. Quantitativos de classes de uso da terra e Magnitudes das ICUs - 17 de agosto de 2020 94

Tabela 9. Estatística Descritiva dos dados de temperatura do ar – setembro de 2020 108

Tabela 10. Quantitativo das classes de magnitudes das ICU – setembro de 2020 119

Tabela 11. Magnitudes das ICU por ponto – setembro de 2020 119

Tabela 12. Variação horária das magnitudes da ICU do ponto 23 (Aeroporto) – 94,9% de ICU com fraca magnitude 121

Tabela 13. Variação horária das magnitudes da ICU do ponto 24 (Jardim América) – 47,1% de ICU com média magnitude 122

Tabela 14. Variação horária das magnitudes da ICU do ponto 25 (Cidade Olímpica) – 10,6% de ICU com forte magnitude. 123

Tabela 15. Variação horária das magnitudes da ICU do ponto 20 (Cidade Operária) – 13,5% de ICU com muito forte magnitude. 124

Tabela 16. Variação horária das magnitudes da ICU do ponto 01 (Ponta do Farol) – 26,1% de Ilhas de Frescor 125

LISTA DE ABREVITURAS E SIGLAS

ALCOA/ALUMAR - Consórcio de Alumínio do Maranhão

ASAS - Alta Subtropical do Atlântico SUL

CCM - Complexo Convectivo de Mesoescala

CEF - Caixa Econômica Federal

CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

CHM - Centro de Hidrografia da Marinha

COHAB - Cooperativa Habitacional Brasileira

CPRM - Conselho Nacional de Recursos Minerais

CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

DOL - Distúrbios Ondulatórios de Leste

DPI - Divisão de Processamento de Imagens

EMA - Estações Meteorológicas Automáticas

FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo

GAIA - Grupo de Pesquisa: Interações na Superfície Terrestre, Água e Atmosfera

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICU - Ilha de Calor Urbana

ICUS - Ilha de Calor Superficial

IDHM - Índice de Desenvolvimento Humano Municipal

IEM - Iowa Environmental Mesonet

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPEM - Instituto da Previdência do Estado do Maranhão

LI - Linha de Instabilidade

MAXVER - Máxima Verossimilhança

mEa - Massa Equatorial Atlântica

mEc – Massa Equatorial Continental

mTc – Massa Tropical Continental

NDVI - Normalized Difference Vegetation Index

NUGEO - Núcleo Geoambiental

PIB - Produto Interno Bruto

PPGG - Programa de Pós-Graduação em Geografia

RMGSL - Região Metropolitana da Grande São Luís

SCU - Sistema Clima Urbano

SIG - Sistema de Informação Geográfica

SUDAM - Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia

SUDEMA - Superintendência de Desenvolvimento do Estado do Maranhão

SUDENE - Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste

TEC - Índice de Temperatura Efetiva Corrigida

UC - Unidade de Conservação

UNESP - Universidade Estadual Paulista

USGS - United States Geological Survey

VALE - Companhia Vale do Rio Doce

VCAN - Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis

ZC - Zona Central

ZCIT - Zona de Convergência Intertropical

ZEIS - Zonas Especiais de Interesse Social

ZM - Zonas Mistas

ZPH - Zona de Preservação Histórica

ZR- Zonas Residenciais

ZSA - Zona de Segurança Aeroportuária

ZT - Zona Turística

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Alguns estudos sobre o clima das cidades de autores estrangeiros entre o período de 1900 a 1950 25

Quadro 2. Os enunciados básicos do Sistema Clima Urbano..... 30

Quadro 3. Categorias taxonômicas da organização geográfica do clima e suas articulações com o clima 31

Quadro 4. Articulação dos subsistemas segundo os canais de percepção 32

Quadro 5. Características das formas urbanas em São Luís entre 1612 a 1700 57

Quadro 6. Especificações das estações meteorológicas secundárias utilizadas na pesquisa. ... 75

Quadro 7. Especificações das estações meteorológicas utilizadas. 76

Quadro 8. Especificações do sensor de temperatura e umidade utilizados 77

Quadro 9. Caraterização urbana e ambiental dos pontos fixos 101

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1. Índice Kappa 70
Equação 2. Exatidão Global. 70
Equação 3. Conversão dos níveis de cinza em radiância espectral (Landsat 8). 71
Equação 4. Procedimento de correção atmosférica 72
Equação 5. Conversão dos valores para temperatura Kelvin 73
Equação 6. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada 73
Equação 7. Média Aritmética (x) 82
Equação 8. Mediana (md) 82
Equação 9. Quartis (Q) 82
Equação 10. Desvio Padrão (S) 83
Equação 11. Curtose (k) 83

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Acumulados de precipitação em São Luís - Normal Climatológica de 1981 – 2010 52

Gráfico 2 Temperaturas máximas, médias, mínimas em São Luís - Normal Climatológica de 1981 – 2010 53

Gráfico 3. Intensidade do vento em São Luís - Normal Climatológica de 1981 – 2010.....54

Gráfico 4. Umidade Relativa mensal em São Luís - Normal Climatológica de 1981 – 2010..55

Gráfico 5. Boxplot dos dados – setembro de 2020.....109

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 21
1.1. O estudo do clima das cidades 24
1.2. A Climatologia Geográfica Brasileira 26
1.3. O Sistema Clima Urbano (SCU) 29
1.4. Estudos de clima urbano em São Luís/MA 36
1.5. As Ilhas de Calor Urbanas 38
2. DINÂMICA GEOAMBIETAL E URBANA DE SÃO LUÍS 42
2.1. Localização e Caracterização da Área de Estudo 42
2.2. Aspectos Físicos 44
2.2.1. Geologia e Geomorfologia 44
2.2.2. Vegetação 50
3. 2.2.3 Caracterização Climática 51
3.1. O Processo de Evolução Urbana de São Luís 55
3.1.1. Uso e Ocupação da Terra 65
3. METODOLOGIA 68
4.1. Procedimentos de Coletas de Dados de Sensoriamento Remoto e Processamento Digital das Imagens de Satélites 68
4.2. Processamento Digital de Imagens de Satélite 69
Tabela 4. Classificação de conformidade ao Índice Kappa 71
4.3. Procedimentos de Coleta de Dados Climáticos 74
4.3.1. Coleta de Dados de Estações Secundárias 74
4.3.2. Instalação e Coleta de Dados Primários 75
4.3.3. Tratamento Estatístico 81
4. RESULTADOS 84
5.1. Análise das ilhas de calor superficiais em junho e agosto de 2020 84
5.2. Ilhas de calor atmosféricas 95
5.2.1. Análise de dados por meio de pontos fixos 95
5.2.2. Identificação e Caracterização dos Pontos Fixos 96
5.2.3. Estatística Descritiva dos Dados de Temperatura do Ar – setembro de 2020 .. 104
5.2.4. Análise das ilhas de calor atmosféricas – Setembro de 2020 110
5. CONCLUSÃO 126
REFERÊNCIAS 129

1. INTRODUÇÃO

No século XX o processo de urbanização ocorreu em escala planetária e no Brasil se intensificou principalmente depois da década de 1960. Este processo resultou em várias transformações da paisagem original, propiciando alterações significativas no clima na escala local. Muitos pesquisadores realizaram investigações com o objetivo de avaliar as interferências do processo de expansão territorial urbana na produção do clima urbano, sendo realizados inicialmente em cidades de grande porte, tais como São Paulo, Paris e Cidade do México (AMORIM *et al.*, 2009).

A cidade de São Luís, foco da presente pesquisa sofreu um processo de urbanização recente, iniciado em meados da década de 1960, se intensificou entre os anos de 1970 e 1980, quando ocorreram intensos incentivos de políticas estatais voltadas para a urbanização e industrialização da cidade, com a consolidação de grandes empresas, tais como a antiga estatal Companhia Vale do Rio Doce (VALE), o Consórcio de Alumínio do Maranhão (ALCOA - ALUMAR), a Ferrovia Carajás e o Porto do Itaqui (BURNETT, 2008; FERREIRA, 2014).

A partir desse modelo de urbanização e do crescimento econômico acelerado, e sem as devidas medidas adequadas no que diz respeito ao planejamento ambiental urbano, ocorreu, simultaneamente, intenso processo de periferização caracterizado pela falta de aparatos urbanos para a população com baixa renda. Muitas pessoas migraram para São Luís na esperança de empregos e de melhores condições de vida (DINIZ, 2017).

Atualmente, São Luís possui um ambiente urbano diversificado e desigual, mesclando em sua formação arquitetônica e urbanística os padrões de habitação de áreas fortemente verticalizadas (edifícios de até 15 pavimentos) nos quais estão grande parte dos prédios de alto padrão da cidade centralizados em regiões específicas; áreas residenciais que em sua grande maioria caracteriza-se por edifício de até dois pavimentos; áreas com padrão de edifícios que vão até 5 pavimentos (caraterizados por condomínios de apartamentos de médio porte); áreas de edifícios de alto padrão; áreas de ocupação espontânea (com a mistura de palafitas e espaços ocupados em ambientes de aterros próximos as margens de rios e manguezais) (SÃO LUÍS, 2006).

Tendo em vista esses pressupostos, destaca-se a necessidade de se estudar as transformações que o processo de urbanização provocou na atmosfera urbana de São Luís, gerando ilhas de calor, que são responsáveis pela intensificação do desconforto térmico, dentre outras questões relacionadas à saúde da população (GARTLAND, 2010).

A partir dos anos 2000 pode-se perceber que na cidade de São Luís houve um avanço no número de trabalhos na área da climatologia, sendo alguns deles elaborados dentro de uma perspectiva metodológica que não se incorpora nos estudos relacionados à análise do clima urbano (TORRES *et al.*, 2016) e outros diretamente relacionados a este tema, a exemplo o de Araújo (2001), Almeida (2017), Pinheiro (2018). Entretanto, ainda se fez necessária a produção científica ao se tratar de estudos relacionados especificamente a geração das ilhas de calor urbana, levando-se em consideração a atmosfera próxima da superfície, por meio de medidas em pontos fixos.

Para o diagnóstico das ilhas de calor em São Luís, foi utilizada a teoria do Sistema Clima Urbano (SCU), proposta por Monteiro (1976). Segundo este autor, o clima urbano é definido como "o sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização" (p. 116).

No SCU, Monteiro (1976) sugeriu a adoção de três canais percepção humana, sendo eles: o canal do conforto térmico (subsistema termodinâmico), o canal da qualidade do ar (subsistema físico – químico) e o canal hidrometeórico (impacto meteórico). O subsistema termodinâmico, é um dos mais importantes para a análise do SCU, tendo em vista que ele atravessa toda a estrutura do mesmo, possuindo papel fundamental no balanço de energia líquida do sistema. Com isso, Sant'Anna Neto (2008) destaca que em grande parte dos estudos do SCU os objetivos estão pautados no subsistema termodinâmico, considerando-se, principalmente, as ilhas de calor urbanas, a estrutura intraurbana e o conforto térmico.

Para Amorim (2020), a Ilha de Calor Urbana (ICU) é identificada como uma área com a atmosfera mais quente do que seus arredores (rurais). Ela é calculada pela diferença da temperatura entre o ambiente construído e o não construído no mesmo instante.

Estudos relacionados a ilha de calor urbana são de grande importância dentro da climatologia geográfica, pois é um fenômeno que associa os condicionantes derivados das ações humanas sobre o ambiente urbano, em termos de uso da terra e os condicionantes do meio físico e seus atributos geoecológicos (LOMBARDO, 1985).

Tendo em vista esses pressupostos, verificou-se a real necessidade na cidade de São Luís de uma proposta de estudos das ICU metodologicamente mais aderente a perspectivas de estudos já desenvolvidos em outras regiões do país, com o propósito de se aprimorar as técnicas, e estimular novos procedimentos de análise para as áreas litorâneas do país, e principalmente, para as cidades da região nordeste.

A pesquisa tem por objetivo principal analisar a formação das ilhas de calor atmosférica e superficial na malha urbana de São Luís – MA, considerando a dinamicidade do espaço urbano, as características físicas e ambientais e as diferentes formas de uso e ocupação da terra.

Como objetivos específicos pretende-se:

- ✓ Analisar as temperaturas de superfície nas diferentes áreas intraurbana por meio de imagens termais do satélite Landsat 8 (canal10);
- ✓ Identificar a intensidade das ilhas de calor a partir de registros em pontos fixos;
- ✓ Estudar a influência dos diferentes arranjos da paisagem urbana para a dinâmica da Ilhas de Calor.

A dissertação está organizada em itens e na introdução após uma breve apresentação da pesquisa, são apresentados subitens (1.1 ao 1.5). Neles são tratadas questões referentes a fundamentação teórica, discutindo-se questões referentes ao estudo do clima das cidades, a climatologia geográfica brasileira, ao Sistema Clima Urbano (SCU), os estudos de clima urbano em São Luís e as ilhas de calor urbanas.

O item dois trata da dinâmica geoambiental e urbana da área de estudo. Nele são relacionadas as temáticas sobre os aspectos físicos do sítio urbano, bem como sua geologia e geomorfologia, vegetação, hidrografia e caraterização climática. Sobre a urbanização é dissertado sobre o processo de urbanização de São Luís desde a constituição da cidade até a atualidade, bem como o uso e a ocupação da terra.

O item três faz referência aos materiais e métodos da pesquisa. Neste é discutido o método teórico em que se buscou o aporte para o desenvolvimento da pesquisa, as etapas dos procedimentos metodológicos que se baseiam nas técnicas de processamento digital de imagens de satélite, na coleta de dados secundários das estações oficiais de órgãos e institutos de pesquisa, na coleta dos dados secundários e instalação dos sensores e estações meteorológicas, das técnicas estatísticas e geostáticas utilizadas nas análises.

O item 4 trata exclusivamente da análise dos resultados da pesquisa. Os temas das análises das ilhas de calor superficiais e ilhas de calor atmosféricas são discutidos a partir de metodologias voltadas ao estudo das ilhas de calor urbanas.

1.1. O estudo do clima das cidades

A constituição do povoamento humano ao longo da história ocorreu inicialmente a partir de agrupamentos temporários, depois pela constituição de pequenas vilas até se chegar nas cidades com as características atuais. Nessa perspectiva, as alterações que o Homem faz ao meio geram respostas e transformações na paisagem e nas trocas de energia entre a atmosfera e a superfície.

Uma das principais mudanças relacionadas com as alterações antrópicas é a geração do clima urbano. Segundo Monteiro (1976, p. 116) "o clima urbano é o sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização".

A cidade tem papel fundamental para a produção do clima presente dentro e nos seus arredores, pois a produção social do espaço reflete diretamente nas trocas de energia para com atmosfera em suas diferentes escalas.

A climatologia, ramo do saber que nasceu no seio das ciências exatas, ganhou força nos estudos da Geografia ainda quando a mesma não era reconhecida enquanto ciência, estando muito ligada aos estudos da cosmologia e astrologia terrestre. Nessa época, as caraterísticas do tempo e do clima presentes nas regiões sempre eram destacadas nos levantamentos ambientais realizados pelo globo e evidenciados em muitas notas do período gregos, romanos, das grandes navegações, destacando os climas das diferentes regiões do globo (SANT' ANNA NETO, 2001).

Landsberg (1981) destaca que mesmo no período em que as ciências que compreendiam os estudos da atmosfera, ainda não tinham se tornado parte das ciências modernas, com fidelidade a um método de análise, ou por conta do aprofundamento do rigor científico, o interesse de estudos pelo clima das cidades já existia.

No período pós-revolução industrial, dentro de uma perspectiva da ciência naturalista, o início das pesquisas sobre os climas das cidades se deu no século XIX, quando Luke Howard (1712 – 1864), publicou o primeiro compilado de estudos sobre o clima urbano. A obra ganhou o nome de *The Climate of London* (1833) e nela o autor destacou temas como as diferenças de temperatura entre o ambiente construído (a grande cidade de Londres) com as áreas de entorno (rurais) (LANDSBERG, 1981).

Outras obras também ganharam destaque no século XIX dentro dos estudos em clima das cidades. Destaca-se a obra de Renou (1868), que fez uma pesquisa que retratou a diferença entre os ambientes urbano e rurais de Paris. Segundo Gomes (2017) esta obra tem grande importância e foi um marco nos trabalhos em climatologia urbana, porque trouxe o conceito de

ilhas de calor urbanas. Além das questões já apresentadas, Landsberg (1981) enfatizou o avanço metodológico apresentado por Renou, ao evidenciar a preocupação do autor em destacar as influências da exposição dos termômetros a radiação solar direta, o que por sua vez poderia interferir nos dados apresentados.

No início do século XX, em especial na Europa, onde já se concentravam a maior parte das cidades mais urbanizadas do globo, surgiram outros estudos relacionados ao clima urbano[1]. O quadro 1, traz importantes obras acerca de estudos da climatologia urbana no início do século XX.

Quadro 1. Alguns estudos sobre o clima das cidades de autores estrangeiros entre o período de 1900 a 1950

Autores (as) e ano	**Perspectiva de abordagem da obra**
Wilhelm Schmidt (1917; 1927; 1929)	Clima urbano da cidade de Viena; utilização de veículos para registro de temperatura como medida itinerante.
August Schmauss (1927)	Influência atmosférica da cidade de Munique.
W. Middleton e F. Millar (1936)	Clima Urbano de Toronto (Canadá)
Albert Kratzer (1937)	"DasStadtklima" (O clima das cidades) - as diferenças térmicas entre as áreas urbanas e rurais em várias cidades alemãs.
E. Fukui e N. Wada (1941)	Estudo de Clima urbano nas cidades Tóquio, Osaka, Nagoya (Japão)

Fonte: Adaptado Landsberg (1981), Gomes (2017) e Stewart (2019)

A partir de meados do século XX, depois da segunda guerra mundial, com os avanços metodológicos tanto do ponto de vista de procedimentos e análises, quando de método, ocorreram avanços nos estudos dos climas das cidades.

Dentre os diversos estudos do clima urbano, destacam-se os que foram realizados ou tiveram como ponto de observação as grandes cidades ao redor do globo, tais como: *Chandler (1965),* com a sua obra *"The Climate of London"; Landsberg (1956, 1981),* com as obras *"The Climate of Towns"* e *"The Urban Climate"* respectivamente; Monteiro (1976), com sua obra "O Sistema Clima Urbano", sendo considerado um marco teórico dentro da climatologia brasileira e influenciando muitas outras pesquisas em clima urbano no Brasil; Oke (1978) com

[1] Para melhor analisar o quantitativo de obras em diferentes partes do globo, consultar a obra "STEWART, Iain D. Why should urban heat island researchers study history?. Urban Climate, v. 30, p. 100484, 2019." Disponível em < https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212095519300203 >

a obra *"Boundary Layer Climates"*, que trouxe grandes contribuições metodológicas para o estudo do clima das cidades, em especial no que diz respeito às ilhas de calor e as diferenças das atmosferas urbanas (*urban canopy layer* e *urban bondary layer*). O estudo de Oke (1978) influenciou diretamente boa parte dos trabalhos sobre o clima urbano ao redor do mundo nas décadas que se sucederam.

1.2. A Climatologia Geográfica Brasileira

A construção da climatologia geográfica brasileira remete a um processo que vai desde o final do século XIX, se fortalecendo no século XX, e que se encontra em evolução constante até a atualidade.

Inicialmente a perspectiva da climatologia era próxima aos estudos da Meteorologia (BARROS e ZAVATINNI, 2009; SANT'ANNA NETO, 2015). Sant' Anna Neto (2001, 2015) destaca que no final do século XIX, até por volta de década de 1950, a climatologia brasileira, bem como a climatologia mundial estava interessada nas discussões da análise das classificações climáticas mundiais e regionais. A nível de propostas de classificações regionais no Brasil é evidenciado os estudos de Henrique Morize (1889,1922), Frederico Dranert (1896), Afrânio Peixoto (1908, 1938, 1942), Delgado de Carvalho (1916, 1917, 1926).

A ruptura ocorre a partir da insatisfação de pesquisadores para com os procedimentos e análises realizados no seio da meteorologia, que realizavam análises de cunho físico-matemática sem muita relação com as atividades humanas presentes no espaço.

Nesse contexto, as primeiras críticas a um pensamento determinista em clima passaram a surtir efeitos no Brasil. Afrânio Peixoto (1938) na sua obra "Clima e Saúde: introdução biogeográfica à civilização brasileira" trouxe questões que envolviam o clima dos lugares e sua relação com a saúde da população, combatendo as noções que alguns pesquisadores como Hunginton (1915) tinham sobre as concepções climáticas e a "inferioridade" das populações em diferentes regiões do globo (SANT'ANNA NETO, 2001, 2015).

A construção de críticas mais contundentes ao constructo em que a climatologia do final de século XIX e meados do século XX se baseava foi realizada por um sociólogo chamado Maximilien Sorre (1951), responsável pelo rompimento epistemológico na ciência geográfica climatológica. Sorre trouxe apontamentos teóricos a partir de sua obra *Fondements de la Géographie Humaine.* Para Sant'Anna Neto (2015) as bases teóricas propostas por Sorre influenciaram uma gama de estudos em geografia e climatologia que foram desenvolvidos posteriormente, provocando uma verdadeira revisão conceitual sobre os estudos de tempo e

clima introduzindo o conceito de complexo climático. Sorre afirmava que o ritmo e a sucessão dos tipos de tempo é que deveria interessar para as análises geográficas.

Antes da metade do século XX, no estado de São Paulo foi produzida por Ary França (1945) a primeira tese de doutorado sobre climatologia urbana no Brasil, intitulada "Estudo sobre o clima da Bacia de São Paulo". Segundo Sant 'Anna Neto (2001, p. 129), o trabalho de Ary França "trouxe importantes contribuições metodológicas que marcaram profundamente os trabalhos que se seguiram por mais de duas décadas".

Com todas as influências acerca das novas mudanças e paradigmas em que os geógrafos viviam naquela época, começaram a surgir os trabalhos de um eminente geógrafo, até então no início de sua carreia científica. O professor Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro é conhecido como o principal expoente da chamada escola de Climatologia Geográfica Brasileira (SANT'ANNA NETO 2001, 2015; ZAVATTINI, 2000; ZAVATTINI, BOIN, 2013; MENDONÇA 2015; BORSATO, 2016).

A construção do pensamento "Monteriano" acerca de uma climatologia que se preocupasse mais com as questões geográfica da análise do clima, se deu pelo desinteresse do mesmo a respeito da climatologia apresentada nos programas de graduação da época, uma climatologia intimamente ligada a meteorologia, com análises estatísticas voltadas ao estudo dos elementos climáticos de forma separada e desarticulada (MONTEIRO 1999, 2009, 2015).

Os avanços teóricos da obra de Monteiro ocorreram principalmente a partir da análise de dois outros estudiosos. O primeiro, como destacado, foi Sorre (1951), que articulou o conceito de complexo climático e fez as primeiras indagações a respeito do ritmo. O segundo, e contemporâneo do autor, foi Pierre Pédélaborde que produziu uma perspectiva teórica pautada na identificação das massas de ar e dos tipos de tempo (SANT'ANNA NETO, 2001, 2015).

Todavia, a obra de Monteiro se distanciava da obra de Pédélaborde por uma questão de abordagem conceitual, conforme afirma Sant'Anna Neto (2015, p. 48):

> Entretanto, a leitura que Monteiro realizou a partir da obra de *Sorre*, sobre os fundamentos genéticos e dinâmicos do clima, o levaria a uma concepção bastante diferente daquela preconizada por *Pédélaborde*, pois, enquanto este se preocupava com a totalidade dos tipos de tempo, Monteiro se interessava mais pelo mecanismo de encadeamento sequencial desses tipos, ou seja, pelo ritmo.

Nascia assim uma proposta inovadora no que diz respeito a análise geográfica do clima que influenciou grande parte dos trabalhos em climatologia (feita por geógrafos) no Brasil.

Monteiro (1971), em um avanço fundamental em sua obra "Análise Rítmica em Climatologia", se afastou de qualquer critério de avaliação por meio dos totais anuais, estes tão usados na ciência meteorológica. Insistiu também na decomposição da análise cronológica em tempo para os níveis diários e até mesmo horários.

> [...] só a análise rítmica detalhada a nível de tempo, revelando a gênese dos elementos climáticos pela interação dos fenômenos e fatores, dentro de uma realidade regional, é capaz de oferecer parâmetros válidos à consideração dos diferentes e variados problemas geográficos dessa região. (MONTEIRO, 1971, p.12).

A partir década de 1970, a escola de climatologia geográfica baseada no estudo do clima como proposto a partir dos estudos propostos por Monteiro (1971), que analisa o clima a partir da "sucessão dos tipos de tempo", e a ênfase do ritmo climático para as pesquisas da climatologia feita por geógrafos, surgem novas perspectivas desenvolvidas por muitos autores na área da climatologia. Nesse sentido, Sant´Anna Neto (2001, 2008, 2015) e Zavatinni (1998, 2000), afirmam que a climatologia geográfica enquadrada na perspectiva Monteriana reuniu uma densa demanda de estudos feitas por Monteiro e seus seguidores nas décadas que se sucederam.

Conforme supracitado, destacam-se alguns estudos[2] relacionados com a produção da climatologia geográfica após 1970, muitos destes influenciados pela perspectiva Monteriana nas suas mais diversas ramificações. Dentre alguns, pode-se citar Lombardo (1984), Danni-Oliveira (1987, 1999), Sant' Anna Neto (1990, 1995), Zavatinni (1983, 1990), Mendonça (1995) Amorim (2000), dente outros.

A partir dos anos 2000, outra teoria surge no seio da climatologia com foco nos estudos feitos pelos geógrafos. Trata-se da Geografia da Clima, proposta por Sant'Anna Neto (2001).

Para tanto, Sant' Anna Neto (2008, p. 59), ao defender sua perspectiva teórica, diz que a teoria Monteriana "sustenta-se a partir do tripé: ritmo climático – ação antrópica -impacto ambiental". Sendo assim, a abordagem Monteiro se torna limitada no que se refere as análises que tecem as relações entre a reprodução do clima no seio social.

[2] Vale destacar que existe uma grande gama de estudos relacionadas à perspectiva Monteriana até o presente momento. Nesse sentido, para melhor avaliação das pesquisas sugere-se a leitura de obras mais complexas relacionadas ao estudo da climatologia geográfica brasileira, tais como Sant' Anna Neto (2001, 2014). Não cabe a nós detalhar de forma mais expressiva esses estudos.

Algumas pesquisas[3] a nível nacional fazem uso da perspectiva da geografia do clima, e analisam as condições de vida das populações das cidades e suas relações com a vulnerabilidade socioespacial, com as condições de risco climático e com o conforto térmico. Dentre essas pesquisas, pode-se citar: Araújo (2014), Armond (2018), Fante (2019), Rampazzo (2019), Teobaldo Neto (2019).

1.3. O Sistema Clima Urbano (SCU)

No ano de 1976, o professor Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro, que como já destacado anteriormente, foi o responsável pela criação da nomeada, posteriormente, escola de climatologia geográfica brasileira, publicou a obra "Sistema Clima Urbano", resultado da sua tese de Livre Docência defendida na Universidade de São Paulo. Essa obra foi um marco conceitual nas obras de climatologia urbana no Brasil e no mundo, pois trouxe uma concepção teórica e metodológica para o estudo do clima das cidades.

Monteiro (1976), se baseou na Teoria Geral dos Sistemas proposta por Berthalanffy (1975), para propor o SCU. Esse sistema visa compreender a estruturar climática da cidade.

> O S.C.U visa compreender a organização climática peculiar da cidade e, como tal, é centrado essencialmente na atmosfera, que, assim, é encarada como operador. Toda a ação ecológica natural e as associações ao fenômeno da urbanização constituem um conjunto complexo sobre qual o operador age. Por isso, tudo que não é atmosférico e que se caracteriza no espaço urbano, incluindo o homem e os demais seres vivos, constituem elementos do sistema, estruturando-se em partes que, através de suas relações, definem atributos espaciais. Assim, esse conjunto complexo e estruturado constitui o operando do sistema, pela sua natureza é um tipo especial de operando, que não é estático ou passivo (MONTEIRO, 1976, p. 119).

Nesse sentindo, o SCU é um sistema de interações entre os meios físicos e sociais. Monteiro (1976, p. 120) diz que a comunidade social urbana age de forma direta ou indireta dentro do sistema, e conforme o autor "[...] pelo seu desempenho na transformação de energia, entrada e pelas modificações na estrutura urbana, e, consequentemente, naquela que aqui nos interessa".

Para Monteiro (1976), o SCU é regido por uma sequência de 10 proposições que interagem e dinamizam o sistema no qual o autor define como enunciados básicos. Os fatores

[3] A Geografia do Clima, por ser uma teoria que surge nos anos 2000 a partir das evoluções teóricas obtidas por Sant' Anna Neto (2001), ainda não possui uma grande gama de estudos que se comparem a perspectiva Monteriana. Nesse sentido, a maioria das pesquisas citadas se adequam a formulação teórica da Geografia do Clima e trazem também as compartimentações teóricas da climatologia geográfica dentro da perspectiva Monteriana.

que regulam toda a proposição teórica do SCU e que para o autor é tratado como uma "ideia reguladora" tendem a dinamizar a abordagem e demonstrar um "conteúdo informativo". O quadro 2 demonstra os 10 enunciados básicos referentes ao SCU:

Quadro 2. Os enunciados básicos do Sistema Clima Urbano

Ordem	Definição
1º	"O clima urbano é um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização". (p. 116)
2º	"O espaço urbanizado, que se identifica a partir do sítio, constituí o núcleo do sistema que mantem relações íntimas com o regional imediato em que se insere". (p. 117)
3º	"O S.C.U. importa energia através do seu ambiente, é sede de uma sucessão de eventos que articulam diferenças de estados, mudanças e transformações internas, a ponto de gerar produtos que se incorporam ao núcleo e/ou são exportados para o ambiente, configurando-se como um todo de organização complexa que se pode enquadrar na categoria dos sistemas abertos". (p.118)
4º	"As entradas de energia, no S.C.U., são de natureza térmica (oriundas da fonte primária de energia de toda a Terra - o Sol), implicando componentes dinâmicos inequívocos determinados pela circulação atmosférica, e decisiva para a componente hídrica englobada nesse conjunto". (p.120)
5º	"A avaliação dessa entrada de energia no S.C.U. deve ser observada tanto em termos quantitativos como, especialmente, em relação ao seu modo de transmissão". (p.121)
6º	"A estrutura interna do S.C.U., não pode ser definida pela simples superposição ou adição de suas partes (compartimentação ecológica, ou funcional urbana), mas somente por meio da íntima conexão entre elas". (p. 122)
7º	"O conjunto-produto do S.C.U. pressupõe vários elementos que caracterizam a participação urbana no desempenho do sistema. Sendo variada e heterogênea essa produção, faz-se mister uma simplificação classificadora que deve ser constituída através de canais de percepção humana". (p. 124)
8º	"A natureza urbana do S.C.U. implica em condições especiais de dinamismo interno consoante o processo evolutivo do crescimento e desenvolvimento urbano, uma vez que várias tendências ou expressões formais de estrutura se sucedem ao longo do processo de urbanização". (p. 125)
9º	"O S.C.U. é admitido como passível de autorregularão, função essa conferida ao elemento homem urbano que, na medida em que o conhece e é capaz de detectar suas disfunções, pode através do seu poder de decisão, intervir e adaptar o funcionamento do mesmo, recorrendo a dispositivos de reciclagem e/ou

	circuitos de retroalimentação capazes de conduzir o seu desenvolvimento e crescimento seguindo metas preestabelecidas". (p. 126)
10º	"Pela possibilidade de interferência autorreguladora, acrescentam-se ao S.C.U., como sistema aberto, aquelas propriedades de entropia negativa pela sua própria capacidade de especialização dentro do crescimento através de processos adaptativos, podendo ser qualificado, assim, como um sistema morfogenético". (p. 127)

Fonte: Adaptado de Monteiro (1976)

A cidade é um elemento modificador da atmosfera local e nela se insere as demais escalas climáticas. Monteiro (1976, p. 118), afirmou que "O clima local se insere em climas sub-regionais, regionais e zonais, como pode ser subdividido até aos microclimas. A cidade tanto se integra em níveis superiores como se divide em setores, bairros, ruas, casas, ambientes internos etc.". O quadro 3, elaborado por Monteiro (2009), demonstra as relações entre as diferentes escalas do clima e suas interações com o clima urbano. Nele é representado as ordens de grandeza em relação às unidades de superfície de análise, às escalas cartográficas, os espaços climáticos no que diz respeito à grandeza, e o espaços urbanos.

Quadro 3. Categorias taxonômicas da organização geográfica do clima e suas articulações com o clima

Ordens de Grandeza	**Unidades de Superfície**	**Escalas Cartográficas de Tratamento**	**Espaços Climáticos**	**Espaços urbanos**
II	milhões de km	1:45.000.000 1:10.000.000	Zonal	--
III	milhões de km	1:5.000.000 1:2.000.000	Regional	--
IV	centenas de km	1:1.000.000 1:500.000	Sub-regional (fáceis)	Megalópole, Grande área metropolitana
V	dezenas de km	1:250.000 1:100.000	Local	Área Metropolitana Metrópole
VI	centenas de km	1:50.000 1:25.000	Mesoclima	Cidade Grande, bairro ou subúrbio de metrópole
--	dezenas de metros	1:10.000 1:5.000	Topoclima	Pequena cidade, fáceis de bairro, subúrbio de bairro

--	metros	1:2.000	Microclima	Grande Edificação Habitação Setor de Habitação

Fonte: Adaptado de Monteiro (2009, p.29).

O SCU é baseado em subsistemas que remetem a canais de percepção humana, os quais são os Subsistema Termodinâmico (canal do Conforto Térmico), Subsistema Físico-Químico (canal da Qualidade do Ar) e o Subsistema Hidrometeórico (Canal do Impacto Meteórico).

Segundo Monteiro (1976), os canais de percepção oferecem uma visão sistêmica dos climas das cidades, nos quais são demonstradas as hierarquias e as funcionalidades nos níveis de resolução do sistema, e que segundo o autor, mesmo que os canais visem uma articulação em diferentes níveis, nunca estão dissociados uns dos outros, tendo como o básico a articulação ente eles.

O quadro 4 demonstra a relação das articulações desses subsistemas, a caracterização de cada nível de resolução e as relações sistêmicas do SCU.

Quadro 4. Articulação dos subsistemas segundo os canais de percepção

Subsistemas/ Canais/ Caracterização	**Termodinâmico (Conforto Térmico)**	**Físico-Químico (Qualidade Do Ar)**	**Hidrometeórico (Impacto Meteórico)**
Fonte	Atmosfera Radiação Circulação Horizontal	Atividade urbana Veículos automotores Indústrias Obras - limpeza	Atmosfera Estados Especiais (Desvio Rítmicos)
Trânsito do Sistema	Intercâmbio de operador e operando	De operando ao operador	Do operador ao operando
Mecanismo de Ação	Transformação no sistema	Difusão através do sistema	Concentração no sistema
Projeção	Interação núcleo e ambiente	Do núcleo ao ambiente	Do ambiente ao núcleo
Desenvolvimento	Contínuo (permanente)	Cumulativo (Renovável)	Episódico (eventual)
Observação	Meteorológica especial (t. De campo)	Sanitária e Meteorológica Espacial	Meteorológica e hidrológica

Correlações Disciplinares E Tecnológicas	Bioclimatologia Arquitetura Urbanismo	Engenharia Sanitária	Engenharia Sanitária e infraestrutura urbana
Produtos	“Ilha de calor” Ventilação Aumento de precipitação	Poluição do ar	Ataques a integridade urbana
Efeitos diretos	Desconforto e redução do desempenho humano	Problema sanitários Doenças respiratórias, oftalmológicas etc.	Problemas de circulação de comunicação urbana
Reciclagem adaptativa	Controle do uso do solo tecnologia e conforto habitacional	Vigilância e controle dos agentes de poluição	Aperfeiçoamento da infraestrutura urbana regularização fluvial do solo
Responsabilidade	Natureza e homem	Homem	Natureza

Fonte: Adaptado de Monteiro (1976, p.162).

Para monteiro (1976), o principal subsistema é o termodinâmico, pois ele atua diretamente influenciando todos os outros, e atravessando todos os domínios do sistema. Conforme afirma o autor,

> Dentro do esquema do S.C.U., esse canal atravessa toda a sua estrutura, pois que é o insumo básico, é transformado na cidade e pressupõe uma produção fundamental no balanço de energia líquida atuante no sistema. O uso do solo, a morfologia urbana, bem como suas funções, estão intimamente implicados no processo de transformação e produção (MONTEIRO, 1976, p. 163).

No que se refere aos canais de percepção humana proposto por Monteiro (1976), a grande maioria dos estudos está diretamente relacionada ao subsistema termodinâmico. Mendonça (2015) ao analisar os trabalhos sobre o clima urbano no Brasil, entre os anos de 1990 a 2010, dentro da perspectiva do SCU, destaca que entre 1990 a 2000 os trabalhos relacionados ao subsistema termodinâmico são duas vezes maiores ao relacionados aos outros subsistemas (hidrometeórico e físico-químico). Entre 2001 a 2010 os estudos que envolvem o subsistema termodinâmico são três vezes maiores do que os dois outros subsistemas juntos. A tabela 1 demonstra os estudos de clima urbano no Brasil entre os anos de 1990 e 2010.

Tabela 1. Estudos de Clima urbano no Brasil – 1990 a 2010

Subsistemas	1990/2000	2001/2010	Total
Subsistemas Termodinâmico	77	108	**185**
Subsistemas Hidrometeórico	40	14	54
Subsistemas Físico-Químico	20	15	35
Totais	137	137	**274**

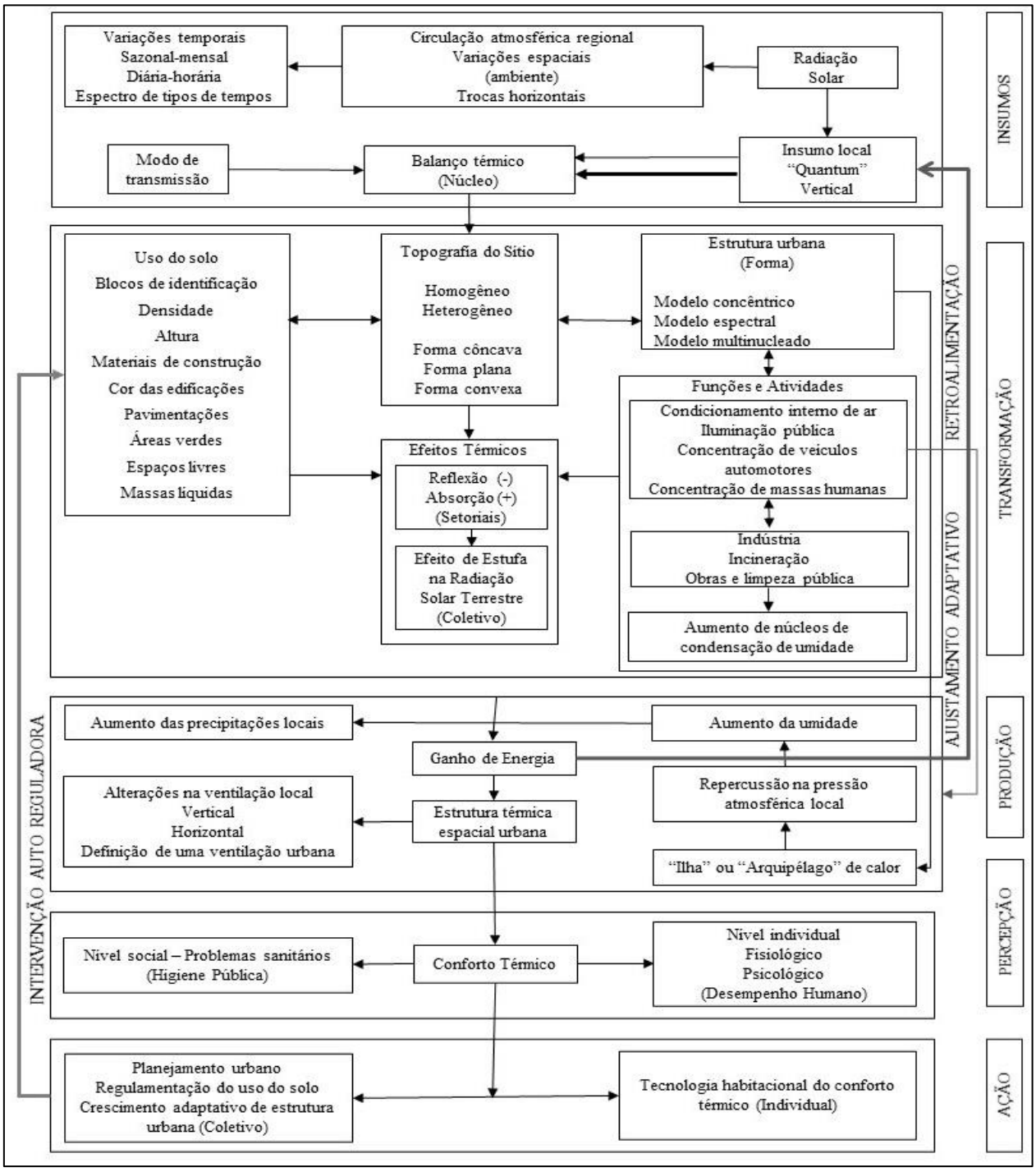
Fonte: Adaptado de Mendonça (2015, p. 162)

Conforme pode ser observado, os estudos que envolvem o subsistema termodinâmico têm grande importância nos estudos de clima urbano que seguem a proposta do SCU no Brasil.

O SCU é um sistema aberto que visa a troca de relações os diversos elementos e escalas dentro do sistema. Monteiro (1976) na produção de sua teoria, elaborou um quadro explicativo (Figura 1), onde se se buscou mostrar de forma simplificada as relações sistêmicas e lineares que acontecem no SCU no subsistema termodinâmico.

A caracterização desses elementos dentro do subsistema termodinâmico (figura 1) se dão da seguinte forma: 1 – Entradas e Insumos, que é considerada como força inicial do sistema é nele que se configura a possibilidade de operação dinâmica dentro do sistema, dentre eles podem-se destacar as variações temporais, a circulação atmosférica regional e a radiação solar. 2 – Transformação, sendo o fenômeno que produz as mudanças dentro do sistema; 3 – Saída, sendo reunião dos elementos do sistema e suas finalidades; 4 – Retroalimentação, que é a comparação e aperfeiçoamento dos padrões pré-estabelecidos e o aperfeiçoamento contínuo de todo processo dentro do SCU; 5 – o Ambiente que é caracterizado por todo o meio que o SCU é estabelecido.

Figura 1. Relação sistêmica em que o subsistema termodinâmico se estabelece no SCU



Fonte: Monteiro (2009, p.162)

1.4. Estudos de clima urbano em São Luís/MA

A maioria dos trabalhos relacionados a produção de conhecimento que envolve o clima urbano, seja no mundo ou no Brasil, foi inicialmente realizado nas grandes áreas urbanas.

Amorim (2009) destacou que inicialmente os trabalhos relacionados ao clima urbano se centravam nas grandes metrópoles urbanas, como cidade do México, Londres, Nova York, São Paulo, dentre outras. Na realidade das cidades brasileiras, esse panorama também não foi diferente. Mendonça (2015) mostrou que os fatores de urbanização diferenciada no Brasil, levaram a uma grande concentração de estudos relacionados ao clima urbano mais diretamente relacionado as regiões Sul e Sudeste do país.

Conforme Zanella e Moura (2013), a baixa produção de pesquisa em clima urbano no Nordeste do País, se dá em grande parte pelo pouco número de programas de Pós-Graduação na área de Geografia, os quais pudessem abarcar pesquisas mais robustas sobre o tema.

Torres *et al.* (2016), ao analisarem os estudos de clima local no Maranhão, indicaram que o baixo número de trabalhos está diretamente relacionado a falta de grupos de pesquisas em climatologia geográfica em São Luís e no estado do Maranhão como um todo. O referido autor, ao analisar o banco de dados monográficos dos cursos de Geografia da Universidade Federal do Maranhão (UFMA) e da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), encontrou um baixo número de trabalhos relacionados aos estudos de clima urbano.

Nesta perspectiva, ao se analisar recentemente os trabalhos relacionados a temática a partir da pesquisa em bases diversas (Banco de Teses da Capes, Google Scholar), realizou-se um levantamento de trabalhos de clima urbano em São Luís. Foram localizados 6 trabalhos de graduação, mestrado e doutorado, relacionados com a perspectiva do estudo do clima urbano em São Luís.

Existe também um trabalho, que para Araújo (2001), é considerado o marco inicial de pesquisas relacionadas ao clima urbano em São Luís, realizada por Tarifa e Vasconcelos (1982, apud Araújo 2001). Neste trabalho, os autores analisaram em formato de artigo as relações do conforto térmico e o clima urbano da cidade, utilizando a avaliação por meio do índice de temperatura efetiva corrigida (TEC) (ZANELLA e MOURA, 2013).

Após o trabalho supracitado, não se encontram registros (pelo menos publicados) de pesquisas relacionadas ao Clima Urbano de São Luís entre as décadas de 1980 a 1990. A partir dos anos 2000, os primeiros trabalhos frutos de pesquisas mais robustas, relacionadas a dissertações e teses e em alguns casos monografias, começaram a surgir em São Luís.

Araújo (2001), apresenta a sua pesquisa de mestrado intitulada “O Processo de Urbanização na Produção do Clima Urbano de São Luís – Maranhão”. A pesquisa analisou como a forma urbana na cidade influenciou na variável temo-higrométrica da área de estudo. O autor fez uso de 4 pontos de análise dentro do que considerou como a zona urbana. As análises foram feitas por meio de estudos episódicos em dias específicos em diferentes períodos do ano, tendo em vista que o instrumental de sensores automáticos, que registraram dados não era tão comum para a época.

Trinta (2007), com a obra intitulada “Análise bioclimática do bairro do Renascença II São Luís-MA: realidade e perspectiva do conforto térmico em espaços externos”, fez uma análise bioclimática do Bairro do Renascença de São Luís, área de maior verticalização da cidade. O objetivo da pesquisa foi avaliar as transformações morfológicas da área para com as influências no microclima e arquitetura bioclimática. Nesta pesquisa foram levantados modelos preditivos bioclimáticos que envolviam o conforto e o estresse térmico.

Leite (2008) apresentou a dissertação “Alteração da verticalização urbana frente ao processo de ventilação de avenidas litorâneas: o caso da avenida litorânea em São Luís/MA”. A pesquisa fez uma análise das influências da verticalização na principal avenida litorânea da capital ludovicense, trazendo dados coletados a partir de medições de campo em períodos específicos, tendo como principal elemento de análise o vento, sua direção, velocidade e intensidade. Fez-se também o uso de modelagem para simulação de cenários futuros que envolvem a relação de usos e ocupação da terra e suas relações para com os padrões de ventilação na área de estudo.

Araújo (2014) defendeu a tese de doutorado intitulada “Clima e vulnerabilidade socioespacial: uma avaliação dos fatores de risco na população urbana do município de São Luís (MA)”. A pesquisa trata das condições de vulnerabilidade social da população da área urbana de São Luís e sua relação com o conforto térmico, analisando como esses fatores implicam na saúde das populações consideradas mais vulneráveis. Analisou também as condições dos materiais construtivos e suas influências nas temperaturas internas e externas das habitações estudadas. Buscou também investigar as relações dos condicionantes apresentados com as possíveis doenças circulatórias do grupo de estudo analisado.

Almeida (2016), com sua pesquisa intitulada “Uso de geotecnologias nos estudos de clima urbano: aplicação do Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento na análise multitemporal da temperatura da superfície terrestre na Ilha do Maranhão”, analisou a evolução do uso e ocupação da terra frente ao aumento da temperatura de superfície. A pesquisa utilizou

dados que envolvem o processamento digital de imagens de satélite da família Landsat (5 – TM, 8 - OLI/TIRS), através de suas bandas termais, bem como as relações das temperaturas de superfície e índices de vegetação. Os dados foram analisados em uma escala temporal de 30 anos.

Araújo (2017), disserta sobre a "Verticalização e Impactos Microclimáticos: o caso da Península da Ponta D'Areia, município de São Luís -MA". No estudo a autora faz uma análise da evolução das temperaturas de superfície por meio dos satélites Landsat 5 e Landsat 8 na região da Ponta D'Areia, uma das áreas de grande verticalização caracterizada por edifícios de alto padrão na cidade. Ficou constatado que a área sofreu grandes alterações a partir dos anos 2000, e que os maiores valores observados estão relacionados a análise da imagem de 2014, o que mostra a íntima relação com a alta urbanização e verticalização da área para com o aumento das temperaturas de superfície.

Pinheiro (2018), em sua tese "Clima Urbano de São Luís do Maranhão", fez uso da proposta metodológica do SCU de Monteiro (1976). O estudo realizou uma análise dos três canais de percepção da teoria Monteriana (subsistema termodinâmico, hidrometeórico e físico-químico). A pesquisa utilizou dados diversos que envolvem estações meteorológicas, pluviômetros, imagens termais de satélite e sensores que medem a qualidade do ar. No que se refere ao canal termodinâmico, a pesquisa analisou o processo de aumento da temperatura de superfície por imagens termais e a temperatura do ar da cidade por meio transectos móveis.

1.5. As Ilhas de Calor Urbanas

Dentro dos estudos do clima das cidades, uma das principais formas de representação e percepção das mudanças dentro da atmosfera urbana são as ilhas de calor. Para Amorim (2020), a ilha de calor urbana é identificada como uma área com a atmosfera mais quente do que seus arredores (rurais). Sua intensidade é calculada pela diferença da temperatura entre o ambiente construído e o não construído no mesmo instante.

Para Amorim *et al.* (2009) as ICU são a expressão mais concreta da mudança do balanço de energia da cidade. Ela se manifesta por diversos fatores, que envolvem as características físicas, tais como a densidade das construções, o potencial energético, material construtivo, a emissividade, e relacionados as atividades urbanas diversas.

Gartland (2010) diz que as ilhas de calor urbana não devem ser consideradas apenas como um fenômeno que se manifesta principalmente por conta do desconforto térmico das

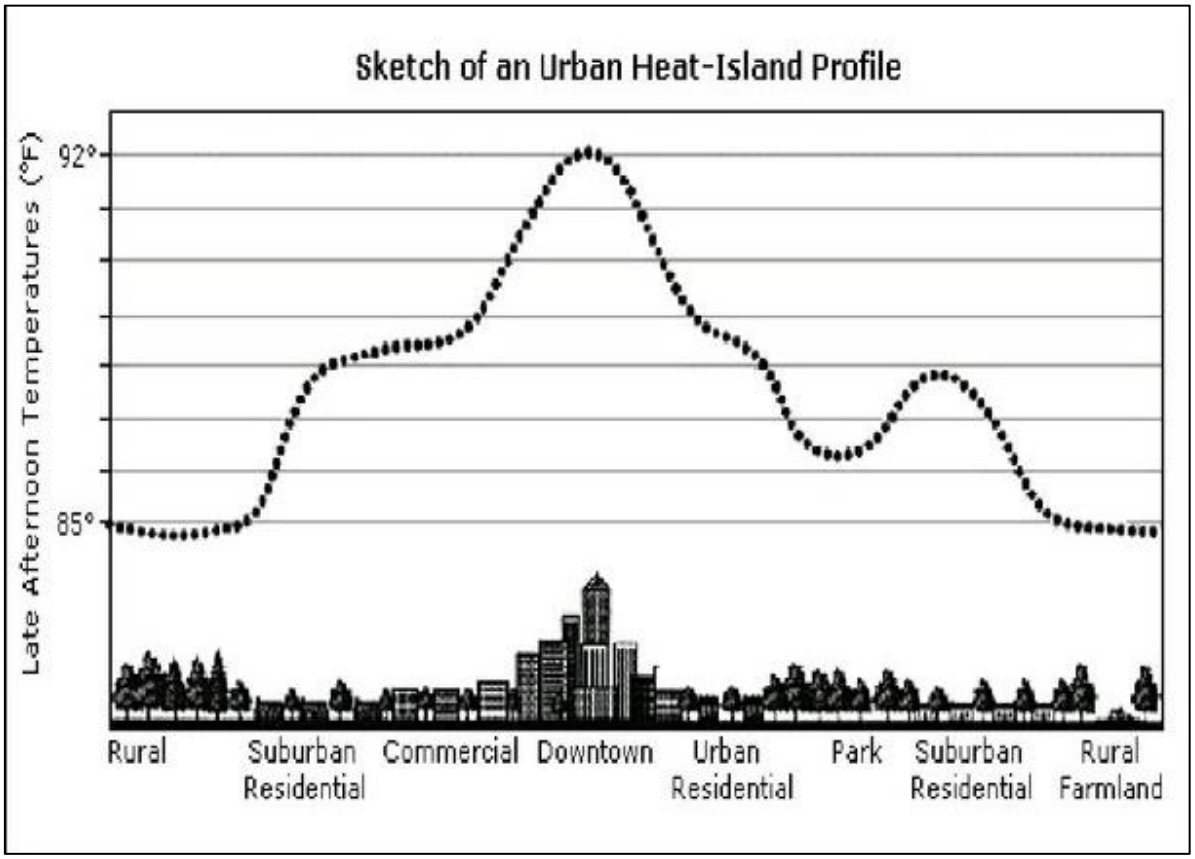
populações, e sim como um elemento que afeta diretamente a saúde das populações, podendo ocasionar casos de morbidade e inclusive mortalidade.

Estudos relacionados a ilha de calor urbana são de grande importância dentro da climatologia geográfica, pois a ilha de calor é um fenômeno que associa os condicionantes derivados das ações humanas sobre o ambiente urbano, em termos de uso da terra e os condicionantes do meio físico e seus atributos geoecológicos (LOMBARDO, 1985).

Analisar a formação de ilhas de calor no ambiente urbano requer entender as características e disposição dos elementos urbanos, assim como os tipos e cores dos materiais utilizados nas edificações, a tendência de verticalização do espaço, presença de áreas verdes e arborização nas ruas e quintais (VIANA *et al.*, 2004; AMORIM *et al.*, 2009).

A produção da ilha de calor na cidade, é representado por Oke (1978) E Oke *et al.* (2017), através do perfil clássico da ICU e a figura 2, demonstra esse perfil. Vale destacar que esse perfil pode variar de acordo com as condições do sítio urbano e características ambientais diversas das cidades.

Figura 2. Perfil da ilha de calor urbana



Fonte: Disponível em < https://www.researchgate.net/publication/319175378>

As pesquisas sobre ilhas de calor estão ligadas as mais diversas áreas do saber. Fialho, Fernandes e Correia (2019) em revisão de literatura, identificaram estudos relacionados às ICU no âmbito das Ciências Ambientais, Sensoriamento Remoto, Engenharia Civil, Geologia e Geografia Física.

Amorim (2020, 2019) destaca que para os estudos das ilhas de calor, existem várias técnicas utilizadas na atualidade em diferentes cidades e sobre diferentes perspectivas, tais como as análises por meio de pontos fixos, análise por meio da temperatura de superfície utilizando dados de sensores remotos e transectos móveis. Fialho, Fernandes e Correia (2019) ao destacar as técnicas de pesquisa para as ICU dizem que não existe uma predominância de procedimento específico, que irá depender do material técnico disponível, variáveis ambientais e disponibilidade do pesquisador para o encaminhamento do estudo.

A literatura mais recente demonstra que existem três tipos de ilhas de calor urbanas, sendo que a primeira é caracterizada pelas ilhas de calor superficiais, no qual os principais estudos estão relacionados, principalmente, às técnicas de sensoriamento remoto e o processamento da banda termal de imagens de satélite para que se obtenha a temperatura de superfície (OKE *et al*, 2017). A segunda diz respeito à ilha de calor atmosférica inferior (*urban canopy layer*), que se forma entre o nível do solo e o nível médio dos telhados. Para estes casos as temperaturas são medidas por meio de transectos móveis e pontos fixos, utilizando-se estações meteorológicas (OKE *et al*, 2017). O terceiro tipo de ilha de calor é o da atmosfera superior (*urban boundary layer*), que diz respeito ao limite superior da camada urbana estendendo-se até a atmosfera livre, relacionando-se a camada da atmosfera que é influenciada pela cidade e seus atributos (OKE *et al*, 2017).

Oke *et al.* (2017), considerou também um quarto tipo de ICU, denominada de subsuperficial (*Subsurface urban heat island*), que faz referência as diferenças entre os padrões de temperatura no subsolo da cidade, incluindo os construídos, em relação ao subsolo rural. É importante ressaltar que por essa tipologia ser muito nova, ainda não se encontram muitos trabalhos relevantes sobre a temática. As figuras 3 e 4 trazem o resumo das ICU destacadas.

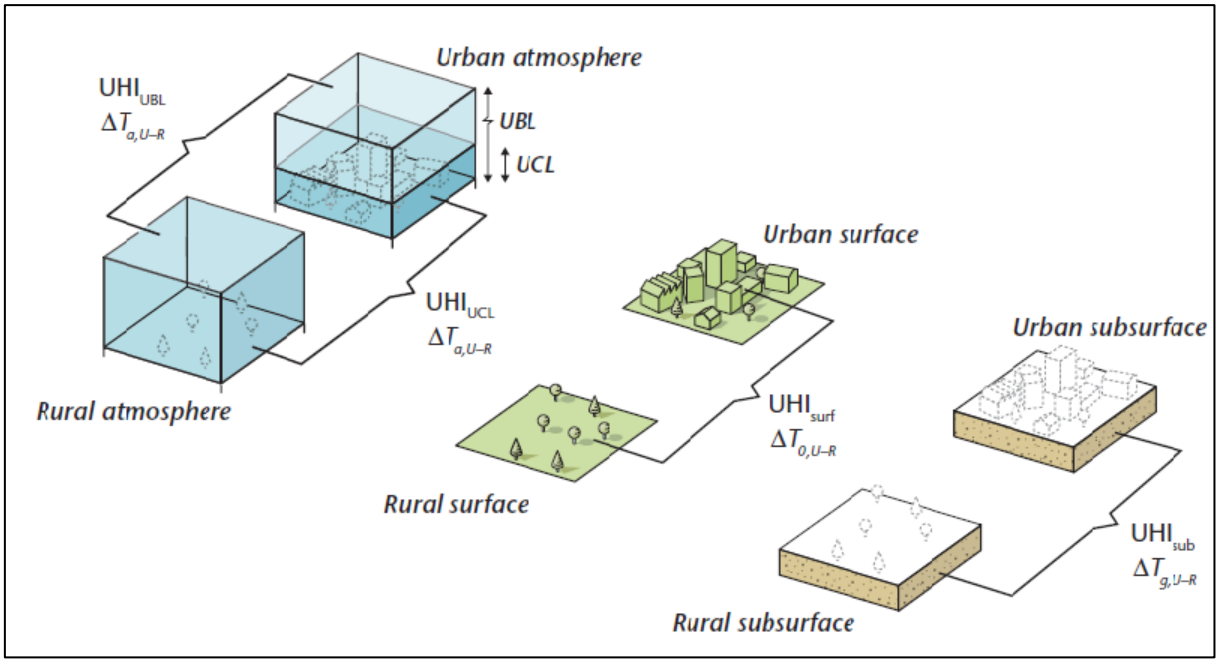
Figura 3. Resumo dos tipos de ICU, suas escalas, processos térmicos, abordagens usadas para modelá-los e técnicas de medição direta e remota utilizadas para observá-las.

Table 7.1 Summary of UHI types, their scales, causative thermal processes, approaches used to model them and direct and remote measurement techniques used to observe them. Also see Section 3.1, Figure 3.9.

Section	UHI type	Scale	Processes	Models	Direct measurement	Remote sensing
7.2	**Surface heat island** (UHI_{Surf})	Micro	Surface EB	Surface EB and equilibrium surface temperature	Temperature sensors attached to surface	Satellite/ aircraft sensors
7.3	**Canopy layer heat island** (UHI_{UCL})	Local	Surface EB and EB of UCL air volume	Canopy and RSL scheme incl. interactions with subsurface and overlying BL	Temperature sensors at fixed points, arrays and mobile in UCL and rural SL	Mini-sodar(!), mini-lidar
7.4	**Boundary layer heat island** (UHI_{UBL})	Local and meso	EB at top of RSL and BL EB	BL scheme incl. interaction with RSL/surface and free atmosphere	Temperature sensors mounted on aircraft, balloons and tall towers	Sodar, lidar, RASS profiler
7.5	**Subsurface heat island** (UHI_{Sub})	Local	Subsurface Energy Balance (EB)	Heat (water) diffusion in solid	Temperature sensors within substrate	-

Fonte: Adaptado de Oke *et al.* (2017, p.198)

Figura 4. Ilustração das diferenças que formam os quatro tipos de ICU



Fonte: Adaptado de Oke *et al.* (2017, p.199)

2. DINÂMICA GEOAMBIETAL E URBANA DE SÃO LUÍS

Nesse item serão tradados os aspectos geográficos, físico/ambientais e urbanos da área de estudo. O primeiro trata da localização e contexto geográfico da área de estudo, bem como os critérios estabelecidos para a sua delimitação. O segundo trata especificamente das características físicas da área, levando em conta a sua geologia, geomorfologia, caracterização climática, uso e ocupação da terra. O terceiro trata dos estudos da evolução urbana e as modificações de suas formas espaciais até chegar ao contexto que se conhece hoje na cidade.

2.1. Localização e Caracterização da Área de Estudo

A pesquisa está situada dentro dos limites do município de São Luís-MA, mais especificamente em sua zona urbana. São Luís é uma cidade que se localiza na região nordeste do Brasil, sendo a capital do estado do Maranhão.

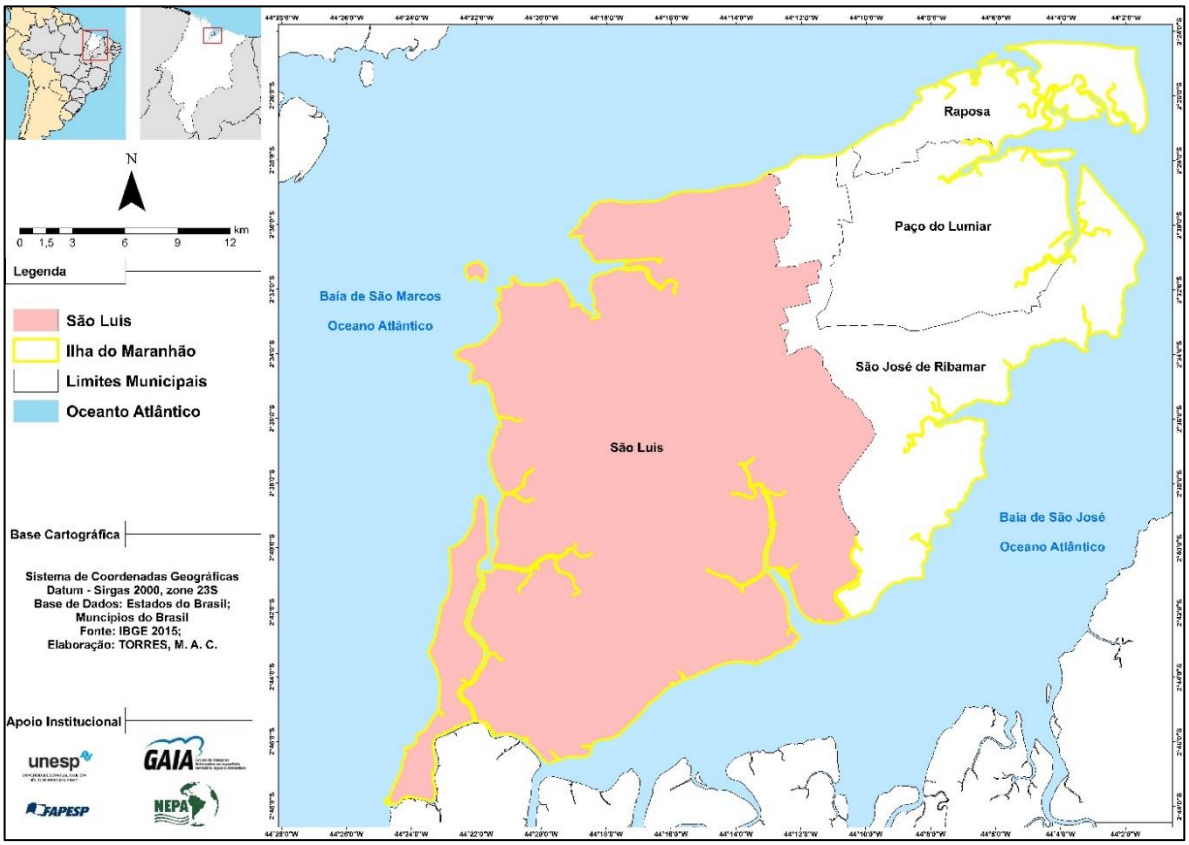
O município (Figura 5) tem seus limites dentro dos domínios ambientais da Ilha do Maranhão, que possui outros três municípios, sendo eles: Paço do Lumiar, São José de Ribamar e Raposa (IBGE, 2011).

A capital ludovicense se limita ao norte com o oceano Atlântico, a oeste com a baía de São Marcos, a leste com o município de São José de Ribamar e ao sul com o estreito dos Mosquitos, que é um canal de maré que separa as baías de São Marcos a oeste e a de São José a leste da ilha. Se configura dentro da mesorregião do Norte Maranhense, e dentro da microrregião da Aglomeração Urbana de São Luís (IBGE, 2011ª).

O município possui população de 1.014.837 habitantes (IBGE, 2011ª). Em termos de estimativas populacionais, segundo o IBGE (2019) possui em torno de 1.101.884 habitantes e está entre as cidades mais populosas do Brasil, ocupando a 15ª posição do ranking nacional. Dentre as cidades mais populosas da região nordeste, ocupa o 4º lugar, estando atrás apenas das capitais de Recife (1.645.727 hab.), Fortaleza (2.669.342 hab.) e Salvador (2.872.347 hab.).

A área urbana de São Luís, se configura como a principal cidade da Região Metropolitana da Grande São Luís (RMGSL), criada pela lei complementar nº 174, de 25 de maio de 2015, sendo que a RMGSL abrange outros 13 munícipios. A cidade de São Luís é a principal responsável pelas formas de urbanização dentro da Ilha do Maranhão, fazendo com que as outras cidades da RMGLS, em grande parte, funcionem a partir de uma relação de dependência econômica do grande centro urbano (BARBOSA *et al.*, 2014).

Figura 5. Mapa de localização do município de São Luís-MA.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do IBGE (2015).

São Luís possui densidade demográfica de 1.215,69 hab/km², com área de unidade territorial de 582,974 km². Tem em sua economia um PIB per capita de R$ 27.226,41, e Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,768, que em relação as demais capitais brasileiras é considerado baixo, ocupando o 18º lugar em relação as demais capitais do Brasil. Quanto ao IDHM, não é muito diferente, estando em 24º lugar dentre as 27 capitais do Brasil.

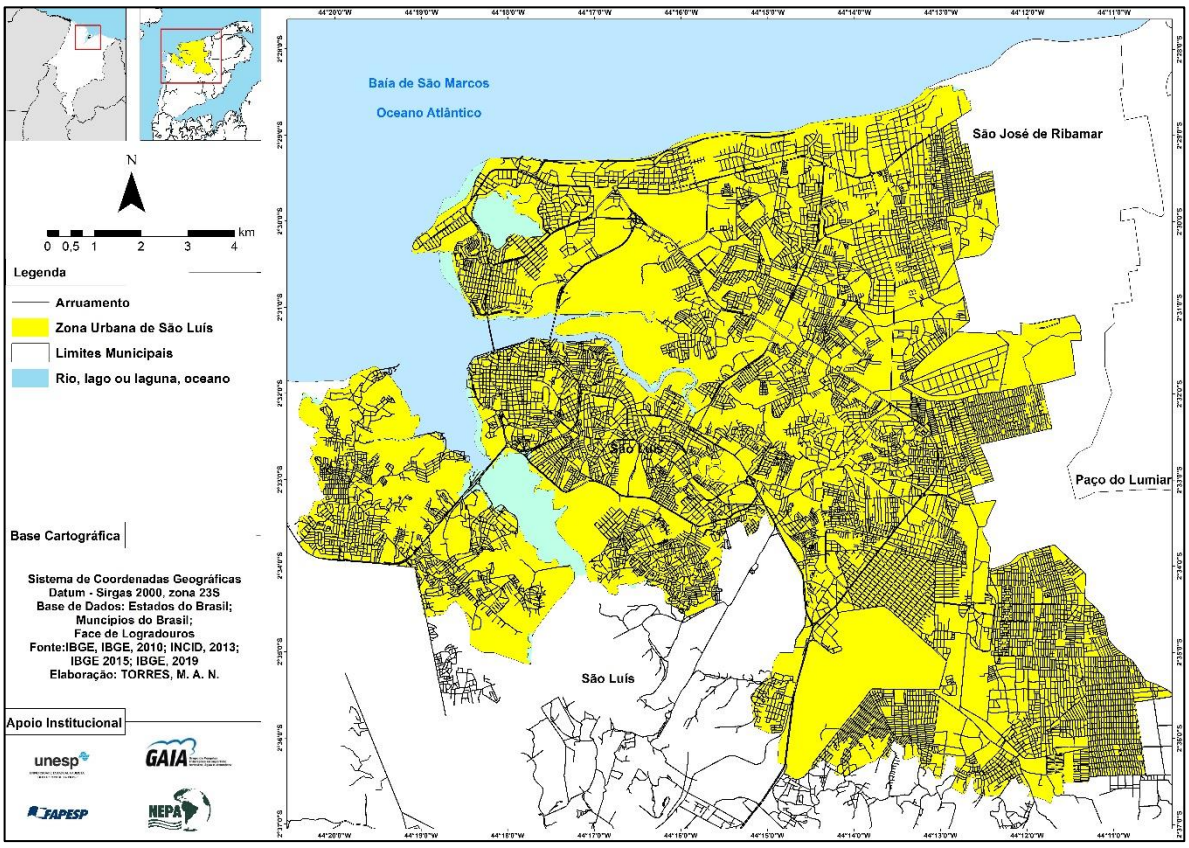
A presente pesquisa foi realizada dentro do recorte espacial da zona urbana de São Luís. Alguns trabalhos anteriores, que já discutiram o clima urbano da cidade, usaram diferentes delimitações da zona urbana. Araújo (2001) utilizou o recorte espacial dentro do setor centro e leste da cidade, não especificando necessariamente uma zona propriamente urbana; Araújo (2014) usou a classificação de setores censitários urbanos disponibilizados pelo IBGE (2011); Pinheiro (2018) usou como referência a classificação zona urbana, baseado na lei 3.253, de 29 de dezembro de 1992, que dispõe sobre o zoneamento, parcelamento, uso e ocupação da cidade.

Deste modo, foram realizadas pesquisas de clima na área urbana de São Luís, que se utilizaram de diferentes recortes territoriais no urbano. No presente trabalho buscou-se uma

delimitação da área urbana, agregando dados oficiais dos institutos gestores e principalmente, o perfil de ambientes construídos com representatividade dentro do urbano.

Contudo, para a delimitação da área de estudo foram utilizados dados referentes aos bairros urbanos delimitados pela Instituto da Cidade, Pesquisa e Planejamento Urbano e Rural – INCID (2010), além de ajustes vetoriais realizados a fim de que se pudesse melhor compreender a realidade urbana, através da análise espacial da densidade de ambientes construídos. A Figura 6 mostra a delimitação da zona urbana de São Luís (foco da pesquisa), elaborada seguindo os critérios pré-estabelecidos.

Figura 6. Mapa de localização da zona urbana de São Luís (Área de Estudo).



Fonte: Elaborado pelo autor agregando dados de análise própria e IBGE (2019, 2015); INCID (2013).

2.2. Aspectos Físicos

2.2.1. Geologia e Geomorfologia

Toda a compartimentação geológica do estado do Maranhão é representada por diferentes unidades geológicas, com predominância de material de origem sedimentar e

também presença de estruturas ígneas e metamórficas no seu território (FEITOSA, 1996; LOPES e TEIXEIRA, 2012).

Toda a área da Ilha do Maranhão, e consequentemente a cidade de São Luís, está sobreposta ao domínio litológico da bacia sedimentar de São Luís. Esta bacia é caraterizada por ser do tipo *rifit* e se desenvolveu a partir de esforções tectônicos ocorridos no cretáceo superior, durante a abertura da margem atlântica em praticamente toda a região equatorial do Brasil. Toda sua história deposicional é pré-cretácea e se originou por meio de depósitos sedimentares provenientes da bacia do rio Parnaíba, a qual possuía ligação física até o paleozóico (CARVALHO, 2001; MOHRIAK, 2003; SANTOS e CARVALHO, 2009).

A Bacia de São Luís (Figura 7) limita-se ao norte com a plataforma continental, ao sul pelo Arco-Ferrer urbano Santos, a leste pelo Alto (*Horst*) do Rosário e no seu limite a oeste, tem-se ao Arco do Tocantins. Possui espessura de aproximadamente 4.500 m, que abrangem rochas paleozóicas, mesozóicas e cenozóicas. A bacia ocupa uma área de aproximadamente 33.000 km² (RODRIGUES *et al.*, 1994; FEITOSA, 1996; CARVALHO, 2001; SILVA, 2012)

Como pode ser observado na figura 8, e de acordo com a lito estratigrafia, dentro do município de São Luís, existem quatro unidades geológicas. São elas: a formação Itapecuru, o Terciário paleógeno, a formação Barreiras, e o grupo Açuí, (RODRIGUES *et al.*, 1994, PEREIRA, 2006; SILVA, 2012)

A formação Itapecuru é dividida entre o Membro Pisamítico e o membro Alcântara, todos os dois de Idade Cretácea. A formação é caracterizada por rochas que na sua maioria é representada por arenitos finos, folhelhos e siltitos (RODRIGUES *et al.*, 1994; SILVA, 2012).

O terciário Paleógeno é representado por um sistema de plataformas rasas, e de planícies de maré. Tem idade pertencente ao cretáceo superior e é representado por rochas como arenitos e siltitos de cor avermelhada, róseas e esbranquiçados, além de arenitos de tons róseo e esbranquiçados (RODRIGUES *et al.*, 1994; PEREIRA, 2006).

A formação Barreiras compreende a grande parte do volume emerso da bacia de São Luís e consequentemente do volume emerso da capital ludovicense. Rodrigues *et al.* (2014) diz que essa formação possui idade tércio-quaternária. Conforme Pereira (2006, p. 68) os "sedimentos da Formação Barreiras são areno-argilosos de coloração róseo avermelhada, siltitos maciços de cores amarela a ocre, ferruginizados e, ocasionalmente, conglomeráticos, desorganizados". O grupo Açuí compreende o sistema de planícies costeiras, os depósitos marinhos e eólicos, os sedimentos inconsolidados de mangue e aluviões fluviais. Essa formação é a mais recente em relação as demais, e possui idade quaternária (RODRIGUES *et al.*, 1996).

O Conselho Nacional de Recursos Minerais (CPRM, 2013) em contrapartida a proposta de Rodrigues *et al.* (1994)[4] estabeleceu 4 principais unidades geológicas no município (Figura 9), as quais são a Formação Itapecuru, a Formação Barreiras, a formação Açuí e os Depósitos Litorâneos.

O estado do Maranhão, tem sua geomorfologia atrelada a esforços tectônicos que geraram formas do relevo diferenciadas em todo o território, que em grande parte são de origem sedimentar, onde predominam a dissecação do relevo por meio de processos erosivos diversos (FEITOSA,1990; FEITOSA,1996, DANTAS *et al.*, 2013).

Todo o litoral do estado se situa dentro domínio Geomorfológico da Planície Litorânea do Maranhão. Este possui uma extensão de aproximadamente 640 km, e se estende no sentindo oeste-leste deste a extremidade da foz do rio Gurupi no extremo oeste, fazendo divisa com o estado do Pará, até a foz do rio Parnaíba no extremo leste, na divisa com o estado do Piauí (FEITOSA, 2006; DANTAS *et al.*, 2013).

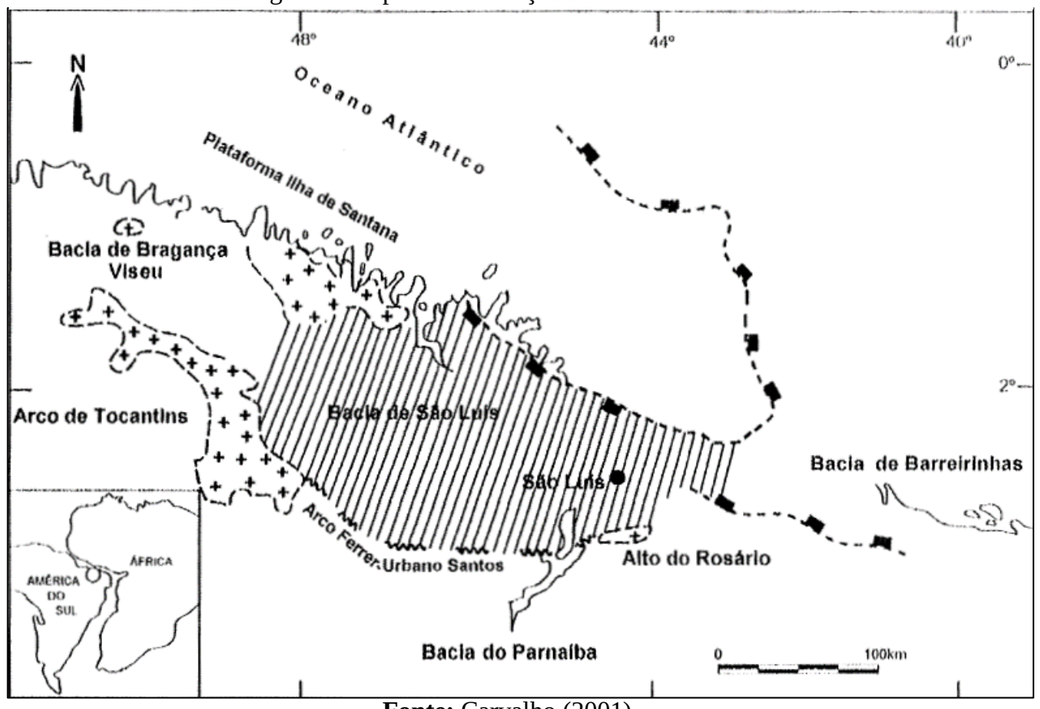
A faixa litorânea do estado (figura 8) possui características ambientais diferenciadas, e que acabam por justificar a divisão em diferentes unidades geoambientais, sendo elas: o Litoral Ocidental, o Litoral Oriental e o Golfão Maranhense (EL ROBINI *et al.*, 2006; FEITOSA, 2006).

Toda a área da planície litorânea do Maranhão é modelada a partir de processos marinhos e fluviomarinhos. El Robini *et al.* (2006, p. 3) afirma que esses processos "[...] dão origem às praias, mangues, vasas, pântanos, apicuns, lagunas e falésias, enquanto na área de fluxo indireto, maré dinâmica, ocorrem os pântanos e campos inundáveis".

A cidade de São Luís está situada no contexto geomorfológico do Golfão Maranhense. Conforme Ab'Saber (1960), esse ambiente é caraterizado por constituir uma originalidade geográfica, se diferenciando dos demais domínios geomorfológicos em forma de Golfo no litoral do Brasil. É constituído pelas reentrâncias estuarinas da região central do Litoral do Maranhão. Feitosa (2006) estabelece confrontantes geomorfológicos as Baías de Cumã, São José, São Marcos e do Tubarão (Figura 10).

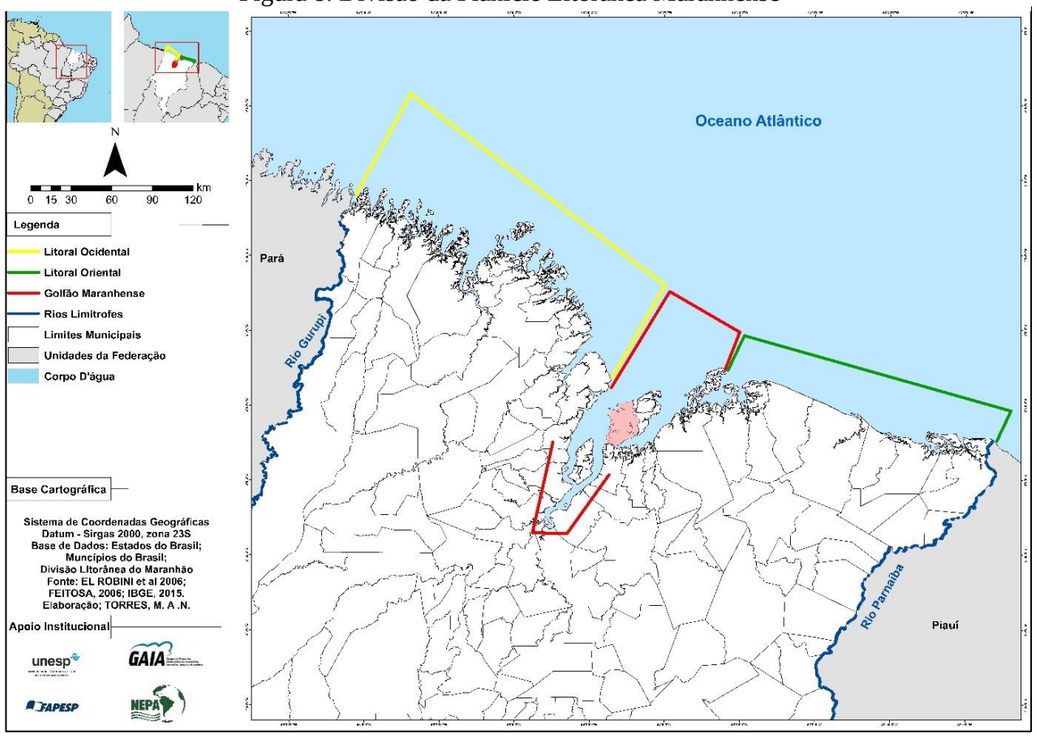
[4] A CPRM (2013) não considera a formação do terciário Paleogeno destacado por Rodrigues et al. (1992). O motivo é que sua área de afloramento é muito reduzida mediante as outras formações, fincando impossível de ser demonstrada na escala de levantamento geocartográfico demonstrado na figura 8.

Figura 7. Mapa de localização da Bacia de São Luís.



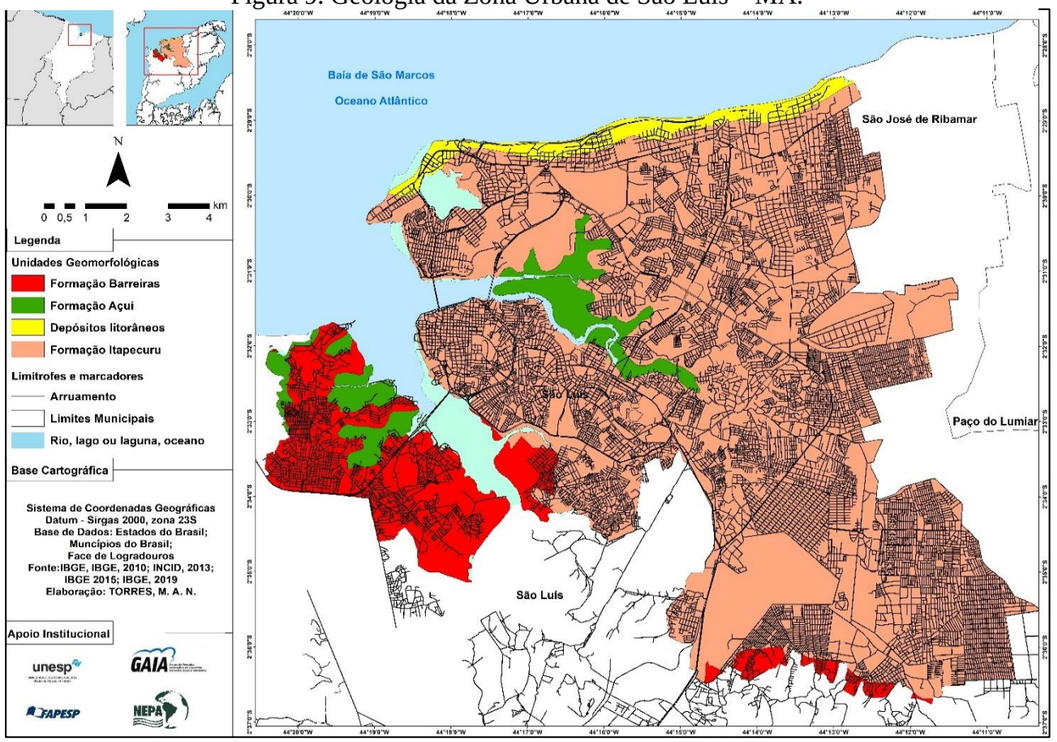
Fonte: Carvalho (2001).

Figura 8. Divisão da Planície Litorânea Maranhense



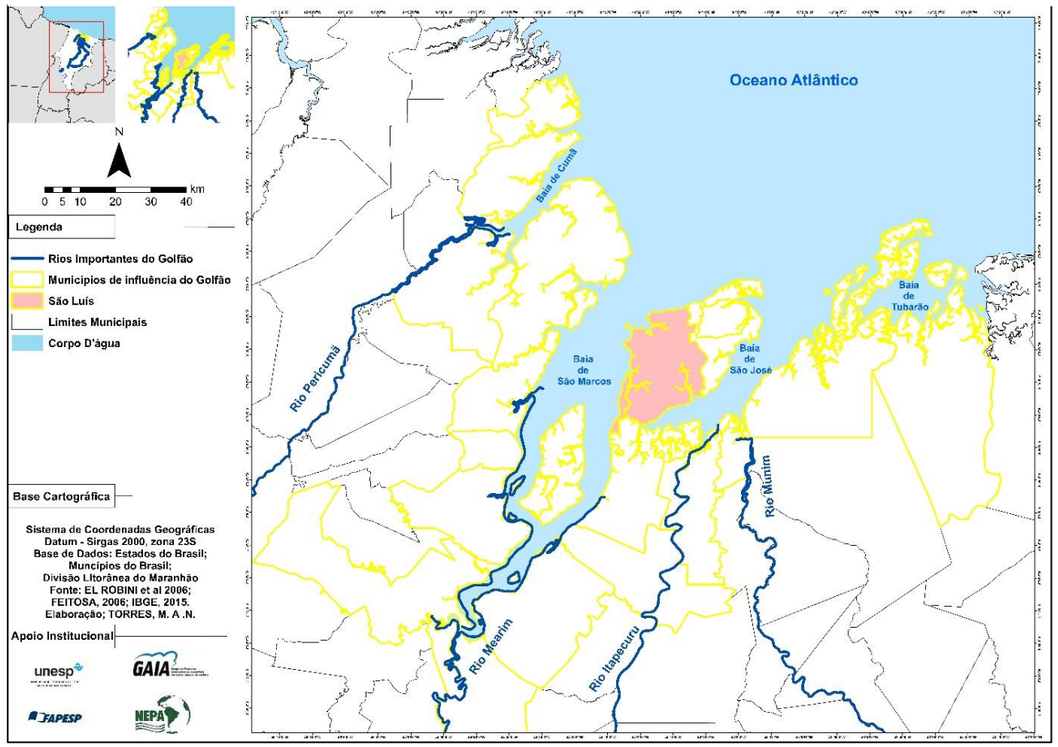
Fonte: Adaptado de EL-Robrini *et al.* (2006), Feitosa (2006), e elaborado a partir de dados do IBGE (2015).

Figura 9. Geologia da Zona Urbana de São Luís – MA.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da CPRM (2013)

Figura 10. Mapa de Localização da área de influência do Golfão Maranhense.



Fonte: Elaborado a partir de Ab'Saber (1960), Feitosa (2006), e elaborado a partir de dados do IBGE (2015).

A dinâmica paisagística do Golfão Maranhense é representada pelas amplas influências dos condicionantes climáticos, oceanográficos e geológicos, resultando assim em áreas em que sua história deposicional e erosiva reflete esses fatores.

A ilha do Maranhão se traduz em uma junção de grandes partes das unidades geomorfológicas do Golfão Maranhense, sendo criada a partir da erosão fluvial dos rios maranhenses, os rios Mearim e Itapecuru (FEITOSA, 1996; FEITOSA, 2006, DANTAS *et al.*, 2013).

Silva (2012) divide as feições Geomorfológicas da Ilha do Maranhão (no qual está delimitado a cidade de São Luís) entre as formas agradacionais e denundacionais. As agradacionais são os apicuns, praias e dunas, paleodunas, planície de maré, Planície Fluvial, terraços. As denundacionais são os tabuleiros com topos planos, Colinas esparsas, e as formas de vertentes. A representação das formas geomorfológicas presentes na Ilha do Maranhão (São Luís, Paço do Lumiar, São José de Ribamar e Raposa).

Todavia, segundo o IBGE (2019), a Geomorfologia da zona urbana de São Luís (Figura 11) se traduz em duas unidades geomorfológicas predominantes. A primeira diz respeito as áreas rebaixadas, compostas pelas planícies aluviais, fluviomarinhas, denominada por litoral de mangues e rias. A segunda diz respeito as áreas mais elevadas, conhecidas por tabuleiros costeiros maranhenses.

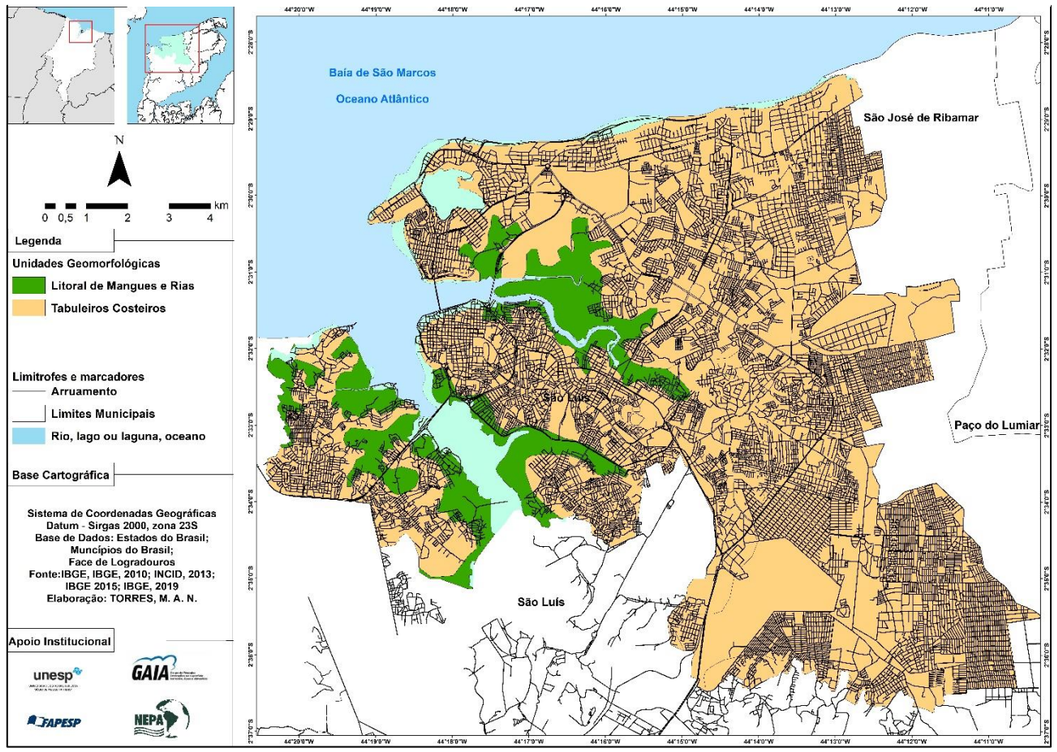
Sobre a declividade, ela foi adquirida através do modelo adaptado da Embrapa (2018), que classifica a declividade entre plana (0 – 3 graus), suave ondulado (3 - 8 graus), ondulado (8 – 20), forte ondulado (20 – 45)[5], conforme pode ser demonstrado na Figura 12.

O gradiente altimétrico da zona urbana São Luís não é tão acentuado. A hipsometria do município varia do nível de base 0 (faixa de influência litorânea) até os 65 metros, com maior cota altimétrica nos altos dos tabuleiros com topos planos na parte leste da área de estudo. A Figura 13 demonstra o mapa hipsométrico de São Luís e seus diferentes gradientes de altitude.

A Figura 14 demonstra a orientação das vertentes para a área de estudo, na qual foram geradas as direções norte, nordeste, leste, sudeste, sul, sudoeste, oeste e noroeste.

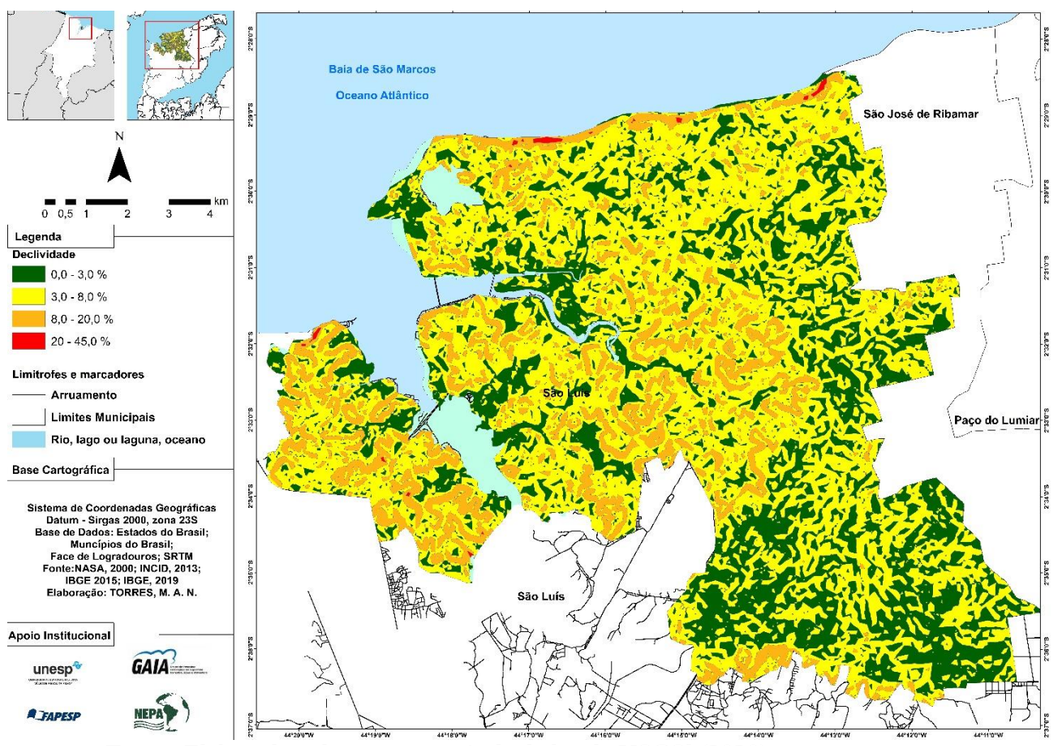
[5] A classe de declividade de forte ondulado está principalmente relacionada as falésias localizadas na linha costeia mais ao norte. Outros pontos no interior da zona de estudo estão relacionados a áreas de grande erosão.

Figura 11. Unidades Geomorfológicas da zona urbana de São Luís - MA



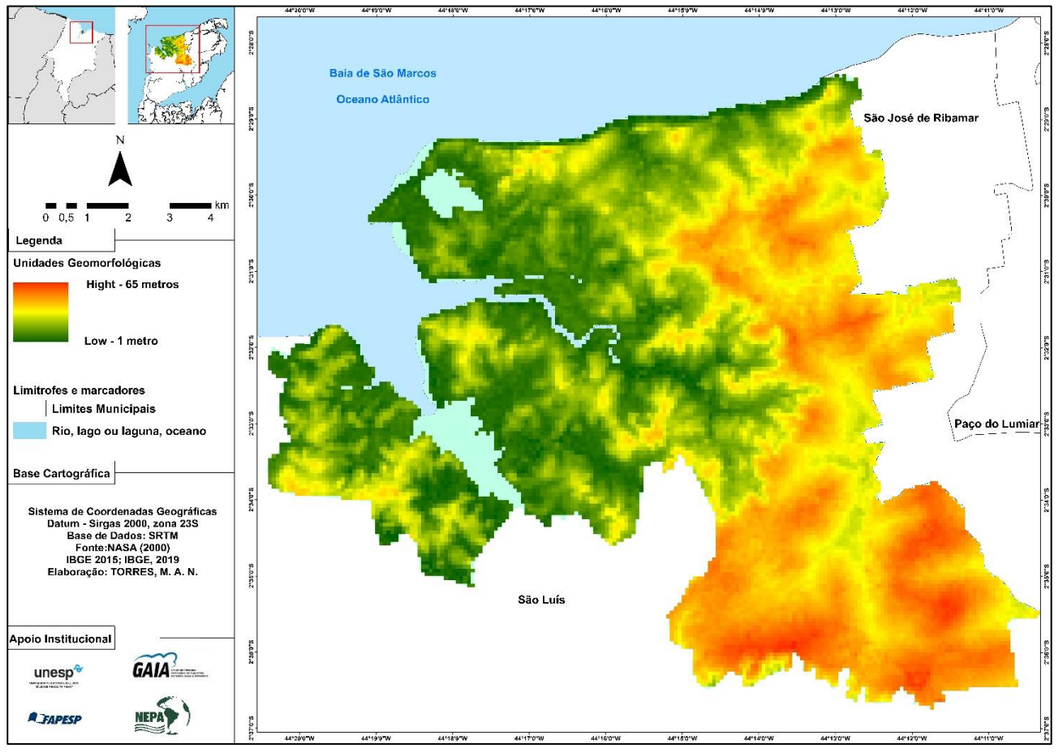
Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do IBGE (2019)

Figura 12. Declividade da zona urbana de São Luís - MA



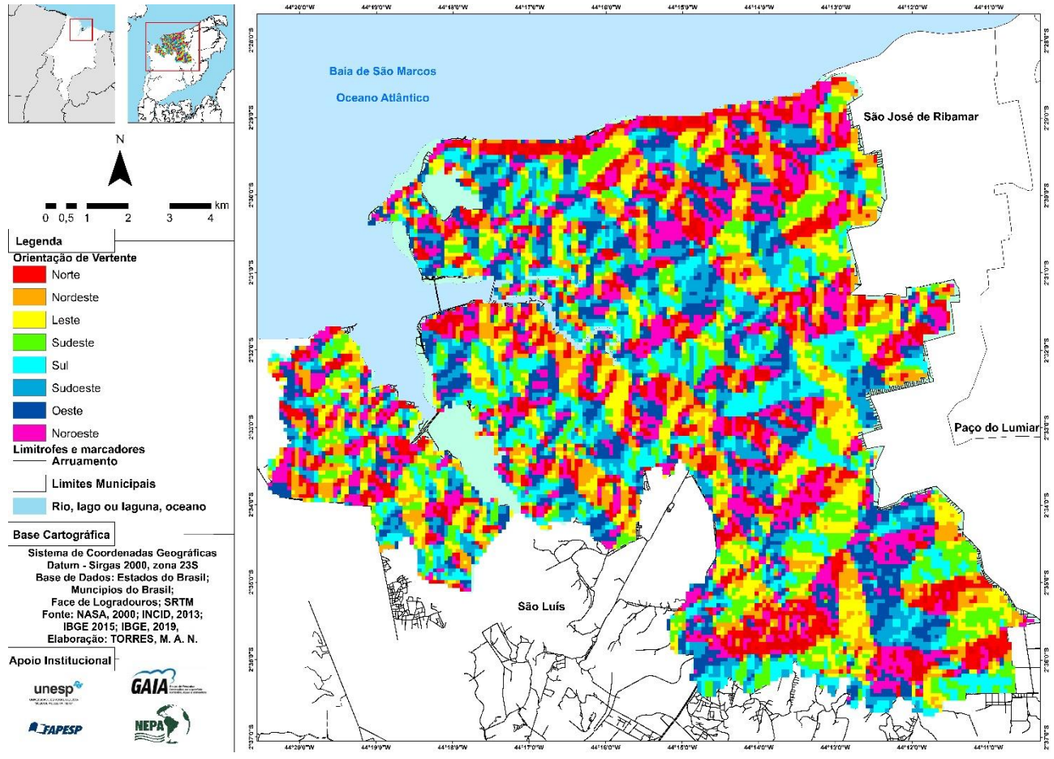
Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da USGS[a] (2020)

Figura 14. Hipsometria da zona urbana de São Luís - MA



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da USGS[a] (2020)

Figura 13. Orientação de vertente zona urbana de São Luís - MA



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da USGS[a](2020)

2.2.2. Vegetação

A cidade de São Luís, por sua localidade possui atributos vegetacionais distintos. Conforme afirma Ab'Saber (2003), a área em que se configura a cidade de São Luís pode ser considerada como uma área de transição morfoclimática. Sendo assim, traz atributos ambientais e, dentre eles, de vegetação, tanto de caraterísticas do ambiente amazônico como do cerrado.

Quanto aos tipos de vegetação[6] existentes, pode-se afirmar que São Luís possui vegetação diversificada a exemplo dos complexos vegetacionais do tipo florestal com predominância de palmáceas (babaçu, ariri, buriti, juçara); plantas frutíferas diversas e Manguezais (FEITOSA, 1996; CORDEIRO *et al*, 2015).

Quanto as tipologias vegetacionais, a cidade, bem como toda a ilha do Maranhão possui classes vegetacionais de porte arbóreo e arbustivo, o qual estão relacionados ao tipo de vegetação de origem natural e secundária.

A vegetação de origem natural ou com pouca interferência antrópica são localizadas nas áreas de preservação permanente (APP) e nas Unidades de Conservação de Uso Sustentável e de Proteção Integral. A vegetação de origem secundária, as quais tem muita interferência humana, estão dispostas em áreas como parques, áreas desmatadas, área de pastagem e agricultura (localizada principalmente na área rural) além de restingas a apicuns. Estas últimas são vegetações costeiras muito comuns nessa região do Brasil (CORDEIRO, *et al.* 2015; FEITOSA 1990, 1996)

A partir da década de 1970, o crescimento demasiado da cidade fez São Luís perder uma grande porcentagem de sua vegetação. As maiores perdas foram das classes vegetacionais de porte arbóreo. Em muitos casos, a supressão esteve relacionada diretamente a áreas de ocupações espontâneas, a novos condomínios habitacionais promovidos pelo estado e a grande especulação imobiliária proporcionada pelos detentores do capital dos grandes incorporadores que exploram o parcelamento da terra em São Luís (CORDEIRO *et al.*, 2015)

Dados do Mapbiomas (2020) demonstram que a cidade de São Luís teve a redução de mais de 30% da sua área florestal entre os anos de 1985 a 2021. Em contrapartida, no mesmo período, houve o aumento de mais de 50% das áreas não vegetadas relacionadas a infraestrutura urbana.

[6] O objetivo da pesquisa não é caracterizar de forma mais detalha as diferentes tipologias e classes vegetacionais presentes na área de estudo e sim de trazer ao leitor uma ideia de relação sobre as principais classes observadas bem como os seus usos diversos. Para melhor análise do tema, recomenda-se os estudos de *Cordeiro et al.* (2015), Farias Filho (2010).

3. 2.2.3 Caracterização Climática

São Luís está situada dentro de uma zona em que o regime climático se manifesta de forma bem peculiar, sendo classificada, predominantemente, pelo clima quente com chuva de verão do tipo Aw, segundo a classificação realizada por Dubreuil *et al.* (2018). Possui altos índices de radiação solar que se refletem em temperaturas médias elevadas (FEITOSA, 1997).

A cidade possui regularidade térmica durante todo ano, apresentando duas estações bem definidas pelo regime pluviométrico, quando se tem uma estação chuvosa e outra seca ou de estiagem. Logo, não existem os ciclos sazonais climáticos da primavera, verão, outono e inverno (FEITOSA, 1990; ARAÚJO, 2001, ARAÚJO, 2014; PINHEIRO, 2015; PINHEIRO, 2018).

O período chuvoso é caracterizado por precipitações elevadas e concentradas que ocorrem no período de janeiro a junho. O período de estiagem ocorre entre os meses de julho a dezembro, quando a precipitação diminui, chegando a níveis muito baixos ou até meses com ausência de precipitação, tendo assim o aumento das temperaturas (mínimas, máximas e médias) e da velocidade do vento, e decréscimo da umidade relativa (FEITOSA, 1990; ARAÚJO, 2014; PINHEIRO, 2018).

As precipitações na cidade de São Luís estão principalmente relacionadas ao sistema atmosférico denominado como Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (ARAÚJO, 2014), que segundo Cavalcanti *et al.* (2009) é o sistema atmosférico que mais influência as precipitações nos continentes Sul-Americano, Africano e Asiático. Nesta região, a zona de convergência intertropical migra sazonalmente. Nos anos considerados normais, ela migra entre 14º N e 2º S e nos anos chuvosos a ZCIT pode atingir até 5ºS. Além de influenciar diretamente na precipitação de São Luís, a ZCIT influência também, diretamente, toda a região Norte e Nordeste do país. Destaca-se também, a importância das Linhas de Instabilidade (LI), outro sistema atmosférico responsável pela marcha das precipitações em São Luís (ARAÚJO, 2014).

Conforme Cohen *et al.* (2009), as LIs são sistemas que ocorrem basicamente na costa norte-nordeste da América do Sul, com tendências a se propagar para o interior do continente. Ferreira e Mello (2005) evidenciam que as LIs são caracterizadas por nuvens provocadoras de chuva do tipo cúmulos organizadas em forma de linha, e que podem atuar na região nordeste do Brasil, principalmente entre os meses de fevereiro a março, podendo sofrer um forte incremento da ZCIT.

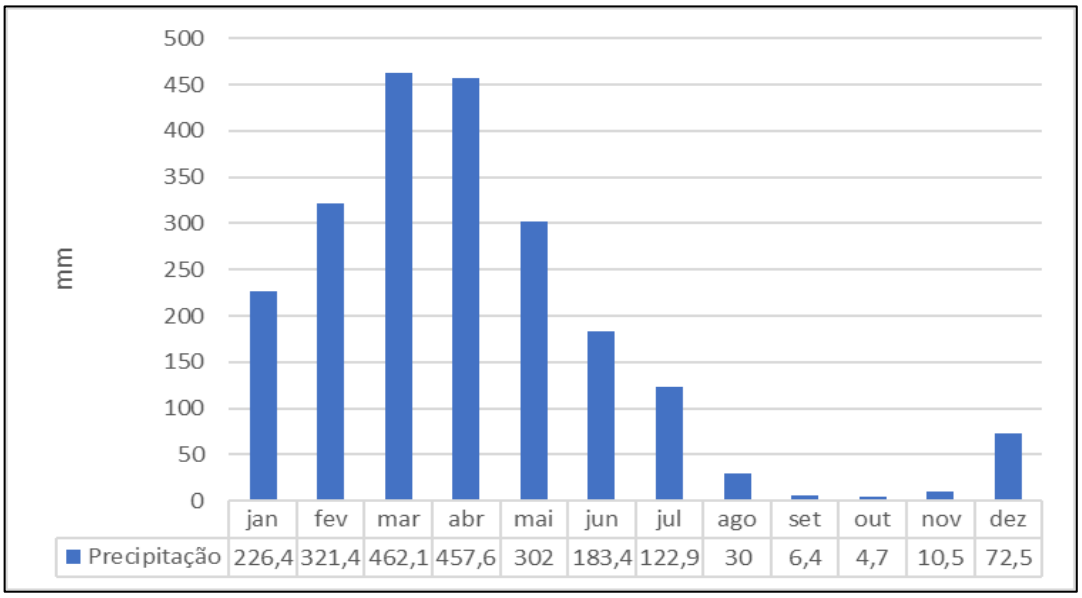
Os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) também atuam na região e se formam a partir da área de influência da Zona de Convergência dos Alísios nas proximidades da Linha

do Equador. Possui deslocamento de leste para oeste, do oceano para o continente. Esse fenômeno provoca o aumento da pluviosidade, porém, seus episódios não ocorrem em um período específico de meses, mas durante o ano todo, sejam eles no período chuvoso ou no seco (PINHEIRO, 2018).

Existe a atuação dos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), que também são responsáveis pelas precipitações em determinado períodos do ano, sendo sistemas que apresentam centros de pressão muito baixos originados na alta troposfera, provocando ausência de nuvens, baixa umidade e temperatura elevadas no seu centro e alta umidade e precipitações em suas bordas

A pluviosidade possui acumulado anual médio de 2.199 mm, sendo os meses de março e abril os mais chuvosos, com 462,1 mm e 457,6 mm, respectivamente, enquanto o mês de outubro é o que apresenta menor precipitação, com média de 4,7 mm (Gráfico 1) (INMET, 2018).

Gráfico 1. Acumulados de precipitação em São Luís - Normal Climatológica de 1981 – 2010



Fonte: INMET (2018)

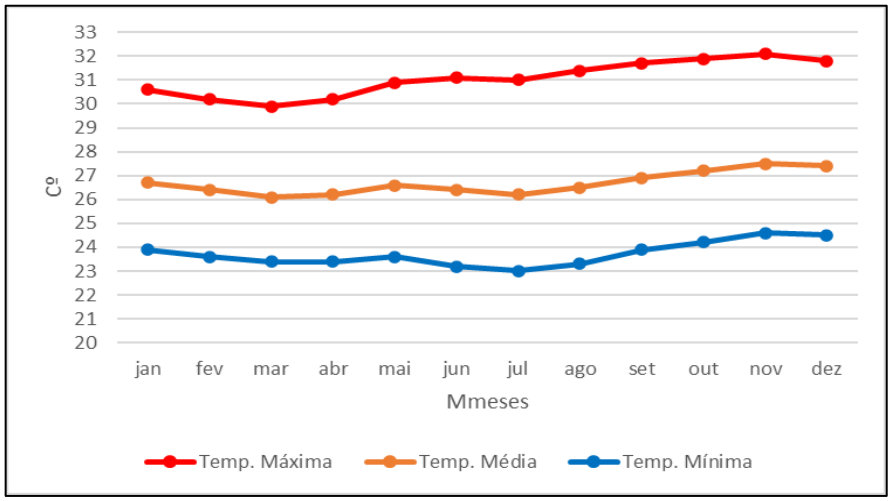
Nos meses em que se concentra o período seco, se observa uma baixa nos níveis de precipitação e decréscimo da umidade relativa, que se contrapõe com o aumento gradativo das temperaturas e da velocidade do vento. Neste período (entre julho a dezembro), há a atuação de três massas de ares, dentre elas a Massa Equatorial Atlântica (mEa), que se caracteriza por ser um sistema de baixa pressão gerado pela borda sul da ZCIT e também por uma porção da Alta

Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). A Massa Equatorial Continental (mEc), sendo uma cédula de divergência dos alísios, que se centra na porção centro-sul da planície amazônica, e tem como características elevadas temperaturas nas proximidades do equador além da alta umidade. A terceira delas é a é a Massa Tropical Atlântica (mTa), que tem seu centro de ação na ASAS no Atlântico Sul, muito influente no Brasil, principalmente nordeste do país, é caracterizada por ser uma massa de ar de grande gradiente de com caraterísticas de tempo quente e úmidos (NIMER, 1964; NIMER, 1979 MENDONÇA e DANI-OLIVEIRA, 2007; BORSATO, 2016).

Com relação às normais climatológicas (1981-2010), a temperatura média anual é de 26,7°C, sendo os meses de novembro e dezembro os mais quentes e março e julho os de menores temperaturas (INMET, 2018).

O gráfico 2 demonstra a representação das temperaturas durante todo o ano. Percebe-se uma leve queda de temperatura durante o primeiro semestre, época em que a precipitação é destacada de forma mais intensa e por si só é um amenizador das temperaturas. No segundo semestre a temperatura sofre aumentos gradativos ocasionados principalmente pela queda nos acumulados das precipitações. As amplitudes variam de 30,2 ºC a 32,1 °C para as máximas, 26, 1 °C a 27,5ºC para as médias e 23,0 °C a 24,6 ºC para as mínimas. Destaca-se então uma baixa amplitude térmica durante todos os períodos do ano, o que segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2007) é muito comum nessa região do Brasil, sendo ocasionada principalmente pelas caraterísticas de clima quente e úmido.

Gráfico 2 Temperaturas máximas, médias, mínimas em São Luís - Normal Climatológica de 1981 – 2010



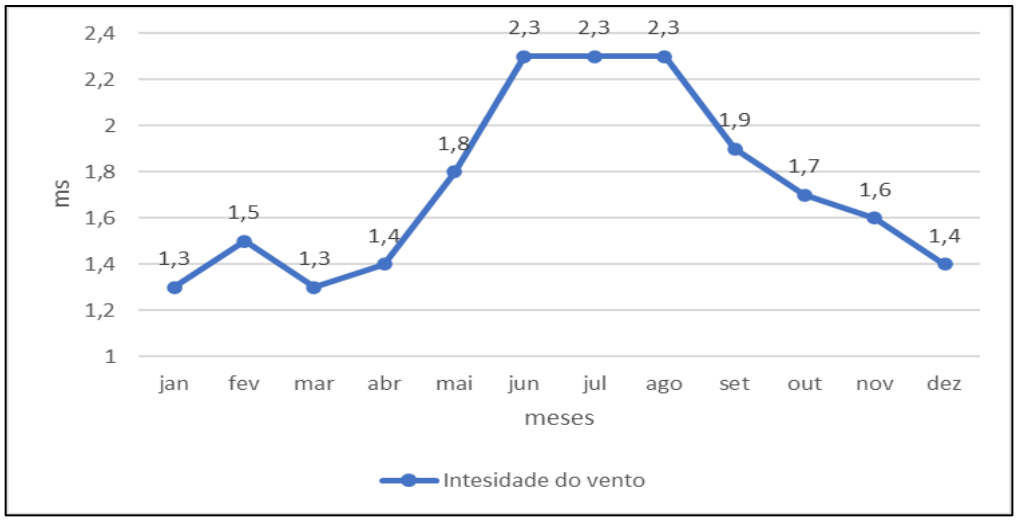
Fonte: INMET (2018)

Os ventos predominantes em praticamente todos os períodos dos anos são os de direção nordeste, sendo seguida pela direção leste, salve as excepcionalidades climáticas produzidas por eventos extremos (INMET, 2018). A direção do vento na região é caracterizada pela influência dos alísios em conjunto com as brisas terrestres e marinhas (PINHEIRO, 2018).

A intensidade dos ventos varia pouco (Gráfico 3), sendo menor no primeiro semestre e sofre um aumento que se inicia no final do primeiro semestre e se mantem até o mês de agosto, ao decair de forma gradativa no resto do segundo semestre. Esta é muito relacionada com a influência da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), sendo um sistema de alta pressão com giro anticiclônico, é responsável também pelo aumento das intensidades do vento durante o período. (FERREIRA e MELLO, 2005; DEGOLA, 2013; PINHEIRO, 2018).

O gráfico 3 mostra a intensidade vento do para a área de estudo.

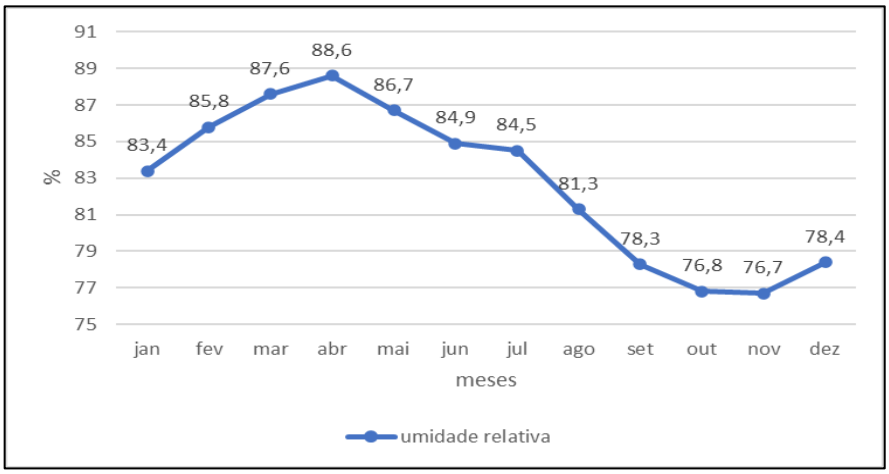
Gráfico 3. Intensidade do vento em São Luís - Normal Climatológica de 1981 – 2010



Fonte: INMET (2018)

A umidade relativa é elevada durante todo o ano, estando em grande parte do ano acima dos 80%. Isso ocorre devido às caraterísticas da circulação atmosférica regional bem como dos efeitos da maritimidade na região, que atrelados aos altos valores de insolação durante todo o ano, influência na evaporação potencial dos grandes corpos d'agua e consequentemente nos valores de umidade relativa do ar (MENDONÇA e DANI-OLIVEIRA, 2007; INMET, 2018; PINHEIRO, 2018). O gráfico 4 demonstra os valores de umidade para São Luís.

Gráfico 4. Umidade Relativa mensal em São Luís - Normal Climatológica de 1981 – 2010



Fonte: INMET (2018)

3.1. O Processo de Evolução Urbana de São Luís

A localidade onde foi instalada a cidade de São Luís, ganhou interesse dos franceses, após as missões dos corsários franceses que em 1555, ao tentarem se instalar na cidade do Rio de Janeiro, a "França Antártida", acabaram sendo expulsos pelos portugueses. Sendo assim, no ano de 1612, o francês *Daniel de La Touche* organizou uma expedição para o local a pedido da Rainha Mãe de seu país. Chegou à Ilha do Maranhão e no dia 08 de setembro daquele mesmo ano, estabeleceu o primeiro núcleo de assentamento na ilha, fundando o forte de São Luís que viria a ser também o nome da cidade, que por sua vez, foi uma homenagem ao monarca francês daquela época, o rei Luís XIII (D'ABBEVILLE, 1975; MEIRELES, 2001; CARDOSO, 2011).

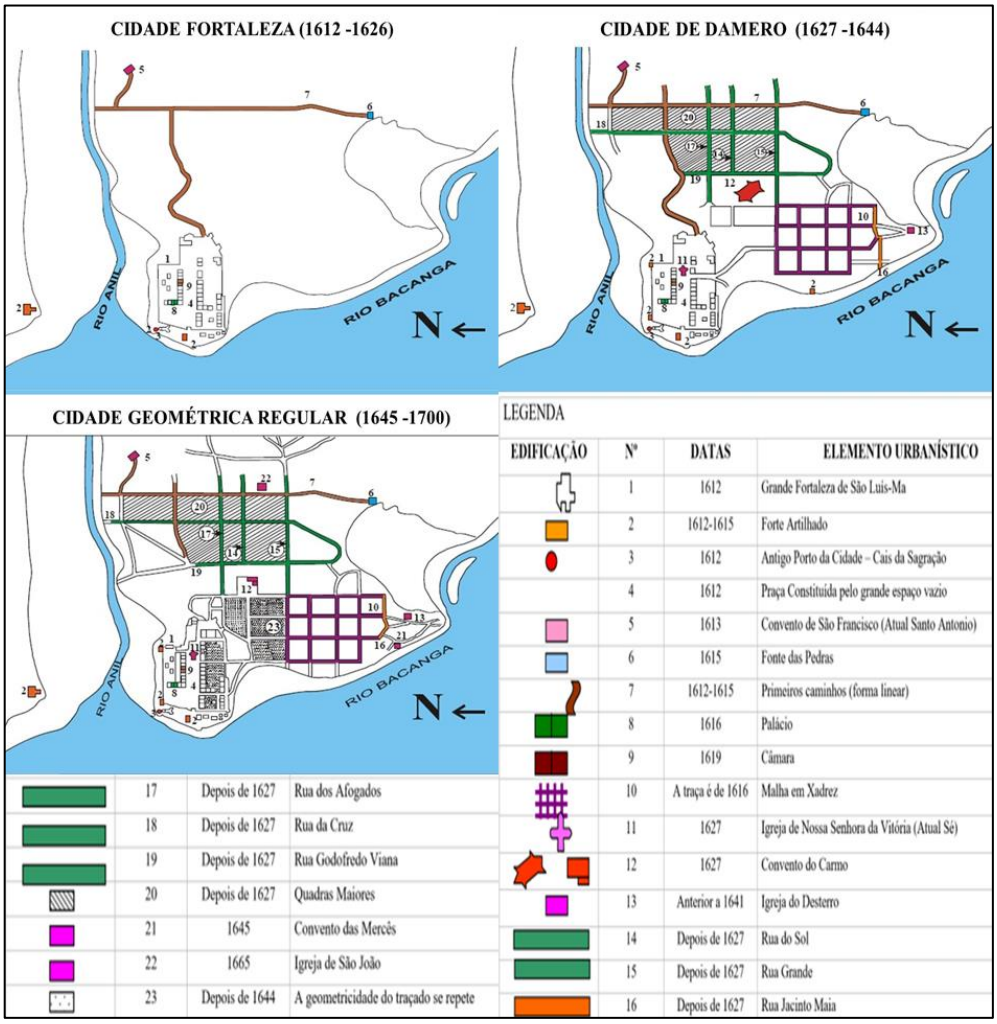
Até então, o povoamento da cidade era feito nas proximidades das margens da foz do Rio Anil e Bacanga, sendo inicialmente estabelecido um forte estratégico na parte baixa da região, que tendo em vista a grande dinâmica das marés seria uma vantagem militar aos franceses que ali se instalaram (FERREIRA, 2014).

Durante o período colonial no Brasil, ainda no século XVII, a cidade de São Luís passou por povoamentos de outras nações, que não a portuguesa, pois pelo Tratado de Tordesilhas, tinha o "direito legal" sobre as terras não só da Ilha do Maranhão, onde situa-se São Luís, mas sim de toda Capitânia do Grão-Pará. Sendo assim, além dos franceses que foram expulsos por volta de 1615, no ano de 1640, o território também foi ocupado por holandeses, sendo necessário dois anos de batalha para que fosse possível a retomada da cidade pela coroa portuguesa (FERREIRA, 2014).

De início, a cidade possuía duas frentes de ocupação, uma na parte mais alta cercada por muralhas, estando lá as igrejas e o setor administrativo. Outra na parte baixa, estando lá um forte, chamado de forte de São Luís (FERREIRA, 2014).

Nesse mesmo período, conforme visto em Zenkner (2002), as alterações das formas urbanas fizeram a cidade se transformar de uma cidade fortaleza (1612 -1626) em uma cidade em *damero*[7] (1627-1644), e por fim em uma cidade geométrica regular (1645 – 1700). É nesse contexto que se consolidou a hegemonia do domínio português da área, imprimindo para toda a região, características próprias da arquitetura urbana, muito baseada no que se pensava na capital portuguesa na época. A figura 15 mostra a evolução da cidade entre os períodos de 1612 a 1700, e o quadro 5 demonstra as características da morfologia urbana.

Figura 15. Planta de evolução da cidade de São Luís entre os anos de 1612 a 1700.



Fonte: Adaptado de Zenker (2002)

[7] - A forma de traçado em *damero*, pode também ser chamada xadrez rígido. Tem como características o padrão da morfologia e desenvolvimento urbano desenhados em forma de xadrez, que irão apresentar quarteirões quadrados ou também retangulares.

Quadro 5. Características das formas urbanas em São Luís entre 1612 a 1700

TIPO DE CIDADE E PERÍODO	CARACTERÍSTICAS DAS FORMAS URBANAS
Cidade fortaleza (1612 -1626)	Evolução da cidade restrita aos muros da fortaleza; sistema de defesa de fortes; apenas uma ligação com as alocações externas a muralha (cais da cidade, forte).
Cidade em *damero* (1627-1644)	Rompimento da ocupação no núcleo da fortaleza e início da expansão da cidade para leste; traçado ortogonal das ruas; núcleos de ocupação influenciados pelo direcionamento das igrejas; surgimento do primeiro e segundo núcleo de ocupação, os quais são o núcleo da Igreja e Convento do Carmo, e o núcleo da Praia Grande.
Cidade Geométrica Regular (1645 – 1700)	Constituição de diferentes eixos de ocupação, agora totalmente influenciados pelos direcionamentos das paróquias na cidade; surgimento de quadras no interior da antiga fortaleza e nas proximidades dos seus muros, além da própria incorporação da fortaleza pelo crescimento urbano do restante da cidade; consolidação do terceiro núcleo de ocupação no sentido sul, sendo chamado de núcleo das Mercês.

Fonte: Elaborado a partir de Zenker (2002)

No século XVIII, São Luís passou por um contraste em relação ao século anterior. A economia da cidade funcionava em face a lógica mercantil da exportação de açúcar, porém, em relação as outras cidades do nordeste, este tipo de atividade econômica não trouxe tanta prosperidade quanto as demais cidades do nordeste. Há de se destacar, que nesse século em específico, a mão de obra escrava aumentou substancialmente tanto no Maranhão como na capital ludovicense, havendo assim uma redução grande da mão de obra indígena, seja em regime de "parcerias firmadas" ou por meio da escravidão. Nesse contexto, não houve grandes alterações e incrementos nos serviços urbanos para o período, e a população era composta por militares, pessoas da burocracia mercantil e os operários de ofício, no qual são os ferreiros, carpinteiros, alfaiates, dentre outros (FERREIRA, 2014).

No que se refere à produção do espaço urbano, este ocorria seguindo as marchas de ocupação impostas pelas aberturas de novos templos da igreja católica, além de alguma

intermediação proposta pelo senado da Câmara da época (ZENKNER, 2002; FERREIRA, 2014).

No século XVIII, embora não seja possível afirmar uma data precisa, foi criado o primeiro bairro da capital maranhense, conhecido como Praia Grande. Esse bairro teve sua origem relacionada às boas condições portuárias e ao perfil econômico mercantil da época. O bairro da Praia Grande foi importante, pois revelaria a junção entre o ordenamento econômico e padronização da cidade, conforme descrito por Ferreira (2014, p. 31) ao descrever que "[...] os interesses comuns que articulam o estado e os detentores de capital; o primeiro precisa organizar e estruturar a cidade; para tanto, viabiliza as ações necessárias para a ação do segundo (reprodução) e, assim, ambos auferem benefícios".

A partir do ano de 1752, com o estabelecimento do estado do Grão-Pará e Maranhão, novos padrões econômicos se desenvolveram em toda a região, tendo como centro desse processo a capital ludovicense. Com o estabelecimento de novas rotas comerciais com a Europa, influenciando novos padrões de exportações de mercadorias para o velho mundo, entre elas o algodão e o açúcar, ajudaram a motivar o favorecimento econômico da cidade até 1772, quando o estado foi novamente dividido em Estado do Grão-Pará e Rio Negro e Estado do Maranhão e Piauí, sendo este último com sede da capital em São Luís (MEIRELES, 2001; FEITOSA e TROVÃO, 2006; CARDOSO, 2011; FERREIRA, 2014).

Com o fim da Companhia do Grão-Pará e a abertura dos portos brasileiros, outros processos também foram responsáveis pelo desenvolvimento econômico da cidade no período supracitado. Como exemplo, se tem a relação comercial empreendida pela abertura do livre comércio para com as "nações amigas", tais como Inglaterra e a França, a partir da abertura de casas comerciais na cidade, que ocorreu devido à forte reprodução do capital influenciado pelo comércio internacional. Os britânicos eram responsáveis pelo controle do comércio de algodão, além do transporte marítimo, já os francos, eram responsáveis pelo comércio de artigos de luxo derivados da Europa, tais como perfumes, relógios, joias, dentre outros (FERREIRA, 2014).

A partir dos novos padrões econômicos, a cidade começou a evoluir frente a preocupação com a estética urbana. No século XIX, com a influência das cidades europeias, o movimento sanitarista presente no mundo também se fez presente na São Luís. Medidas de que visavam novos padrões sanitários foram realizadas por meio da publicação de decretos denominados como códigos de postura, que por sua vez, foram responsáveis por medidas de alterações na morfologia urbana da cidade, impedindo construções de taipa, nas áreas centrais, além de promover a separação social da cidade (RODRIGUES, 2014).

São Luís, que se restringia ao desenvolvimento dos aparatos urbanos ainda que de forma tímida, possuía pouco desenvolvimento horizontal do ponto de vista da sua morfologia urbana.

A população da cidade que estava em constante crescimento demográfico, no início do século XIX, chegou a ficar entre as quatro maiores cidades brasileiras devido ao seu quantitativo populacional, sendo que na metade do mesmo século, chegou a ocupar o 9º lugar em relação as demais grandes cidades (FERREIRA, 2014).

Rodrigues (2014), contextualizou que fatores como as diversas epidemias de moléstias que assoaram a cidade ludovicense no século XIX, contribuíram para barrar o crescimento da população no mesmo século. A tabela 2 demonstra a evolução demográfica da população em São Luís até o século XIX.

Tabela 2. Crescimento demográfico de São Luís nos séculos XVII, XVII, XIX

Século	População
XVII	10.000
XVIII	17.000
XIX	29.475

Fonte: Recenseamento do Brasil em 1872; Sinopse do recenseamento de 31 de dezembro de 1900; Ferreira, 2014.

Depois dos períodos imperiais e colônias, a partir da premissa do capitalismo moderno, São Luís começou a ganhar grande destaque no cenário nacional ainda no final do século XIX e início do século XX.

O estado do Maranhão, pós-abolicionista, experimentou um enquadramento de atividades econômicas que se voltou para o mercado internacional, sendo o centro de articulação na sua capital.

A cidade ao final do século XIX, do ponto de vista econômico, se portava em igualdade com as principais cidades brasileiras da época, como Rio de Janeiro, Salvador, São Paulo e Minas Gerais, devido ao seu grande desenvolvimento e produção industrial presentes naquele período.

A forte produção de algodão oriunda do interior do estado deu incentivo para o surgimento da indústria de tecelagem, criando-se assim diversas fábricas na capital, período este em que a cidade viria a ser conhecida como a “Manchester do Norte”, devido a grande

produção industrial atrelado ao beneficiamento do algodão (CARVALHO, 2009; SANTOS e TAVARES, 2011; CARVALHO e CUTRIM, 2015).

Contudo, a indústria de tecelagem instaurada no Maranhão, não conseguiu competir por muito tempo com outras grandes potências do mesmo setor a nível mundial, como por exemplo, aquelas localizadas no Reino Unido e nos Estados Unidos. Isso ocorreu em grande parte por conta da inferioridade dos equipamentos técnicos, da dificuldade do escoamento da produção, da não modernização da economia e da falta de interesse da gestão federal. Esta última, em grande parte não se voltou para os assuntos nas regiões norte e nordeste do Brasil.

Nas primeiras décadas do século XX, a cidade ainda funcionava na dependência do centro (antigo centro histórico português), onde estavam instauradas as elites governamentais, tanto da esfera pública quanto do contexto econômico da cidade. Não se tinha ao certo, uma perspectiva de crescimento urbano na época, a não ser, como destaca Ferreira (2014), sobre as lógicas de ocupação atreladas ao "caminho grande", antigo eixo de expansão da cidade que ligava as comunidades mais afastados no interior da ilha no sentido oeste/leste. A figura 16 mostra a ocupação do sítio urbano da cidade na segunda década do século XX.

Figura 16. Planta da Cidade de São Luís, 1912



Fonte: Biblioteca Nacional Digital, disponível em: <http://objdigital.bn.br/objdigital2/acervo_digital/div_cartografia>

Entre as décadas de 1920 até as décadas de 1960, a cidade de São Luís e o próprio estado do Maranhão passaram por um período de inexpressividade econômica do ponto de vista nacional e internacional, que em tempos de capitalismo moderno, sem conseguir se firmar entre as cidades de livre fluxo e produção do capital, não se desenvolveu em comparação com as demais cidades brasileiras (SILVA, 2008).

Ocorreram incentivos federais a partir da década de 1940, oriundos de projetos que fomentavam o desenvolvimento regional do estado do Maranhão, e por consequência a capital ludovicense. Como exemplo, destacam-se a injeção de recursos pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), e pela Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM). Porém, mesmo com esses investimentos, houve pouco desenvolvimento econômico e urbano na capital (MOREIRA, 2013).

A forma mais diversificada da urbanização da capital maranhense se intensificou em meados de 1960, a partir de projetos estaduais de desenvolvimento econômico, que em semelhança com os grandes projetos nacionais foram influenciados pela criação da Superintendência de Desenvolvimento do Estado do Maranhão (SUDEMA), abrangendo então projetos de alterações viárias e de transportes em todo o estado, gerando também fortes impactos em São Luís (MEIRELES, 2001; MOREIRA, 2013).

Nas décadas de 1970 e 1980 a expansão urbana da cidade tomou diferentes direcionamentos, os quais podem-se destacar a flexibilização e acúmulo de capital, a grande expansão horizontal da cidade e o início da expansão vertical. Nessas décadas, intensos incentivos de políticas estatais voltados para a urbanização e industrialização da cidade, assim como a consolidação de grandes empresas, tais como a antiga estatal Companhia Vale do Rio Doce (VALE), o Consórcio de Alumínio do Maranhão (ALCOA - ALUMAR), a Ferrovia Carajás e o Porto do Itaqui, ajudaram São Luís a se enquadrar no contexto diversificado de economia dentro dos padrões internacionais (BURNETT, 2008; MOREIRA 2013; FERREIRA, 2014; SANTOS, 2015).

Novos conjuntos urbanísticos e de habitações para áreas mais periféricas da capital foram criados a partir da produção estatal de habitações, objetivando novos padrões de ocupação para áreas de interesse pouco exploradas, visando também a expansão horizontal da cidade. Dentre esses conjuntos, pode-se destacar as ações da Cooperativa Habitacional Brasileira (COHAB) e cooperativas entre (1971 – 1980) e Instituto da Previdência do Estado do Maranhão (IPEM) e Caixa Econômica Federal (CEF) (1981 – 1991), além de propostas de desenvolvimento habitacional mais recentes proporcionadas pelo governo federal, como os programas habitacionais “Minha Casa Minha Vida”. Na primeira e segunda década do século

XXI, este último programa, se destacou como grande fomentador da expansão horizontal de grandes conjuntos habitacionais na cidade e, atrelados a esse isso, consequentemente, ao aumento do desenvolvimento horizontal da malha urbana (SANTOS e TAVARES, 2011; FERREIRA, 2014).

A partir desse modelo de urbanização e do crescimento econômico acelerado, sem as medidas de planejamento ambiental adequado, iniciou-se um intenso processo de periferização caracterizado pela falta de aparatos urbanos e condições de renda inferior, resultado de migrações de populações das mais diversas origens que se estabeleceram na esperança de empregos e melhorias das condições de vidas.

Entre 1960 a 1980 parte da população de São Luís era resultante de imigrantes do interior do estado. Esses buscavam melhores condicionantes sociais e econômicos, porém, em muitos casos essas populações foram submetidas a situações adversas, tendo como área de habitação as "Vilas" que se formariam na cidade resultante da falta de planejamento e políticas públicas voltadas para o crescimento demográfico da cidade (DINIZ, 2017). A tabela 3 demonstra o crescimento populacional da cidade entre os anos de 1940 a 2010, período em que o censo demográfico passou a ser realizado pelo do IBGE e com periodicidade decenal.

Tabela 3. Crescimento demográfico de São Luís nos séculos XX e XXI.

Censo	População Rural	Crescimento pop.rural (%)	População Urbana	Crescimento Pop.Urbana (%)	População Total	Crescimento Pop.Total (%)
1940	--	--	--	--	86.546	NA[2]
1950	--	--	--	--	119.785	38,41%
1960	20.472	NA[8]	137.820	NA[2]	158.292	32,15%
1970	59.974	192,96%	205.512	49,12%	265.486	67,72%
1980	202.041	236,88%	247.392	20,38%	449.433	69,29%
1990	450.127	122,79%	246.244	-0,46%	696.371	54,94%
2000	32.444	-92,79%	837.584	240,14%	870.028	24,94%
2010	56.315	73,58%	958.522	14,44%	1.014.837	16,64%

Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de dados do IBGE 1941, 1951, 1961, 1971, 1981, 1991, 2000, 2011[b].

[8] Significa "não se aplica"

Conforme observado na tabela 3, São Luís teve grande avanço na sua população urbana entre os anos de 1960 (ano em que se teve registros da contagem da população com divisões entre urbana e rural no município) a 2010, com exceção do censo de 1990 em que a população rural se mostrou superior a urbana. Diniz (1999; 2017), ao comentar sobre esse fato, diz que essa tendência contrária nos dados de 1990 ocorreu devido a um erro metodológico do IBGE, que na capital, considerou áreas eminentemente urbanas como rurais.

A evolução urbana da cidade provocou uma mescla de diferentes padrões habitacionais e de diferentes formas de ocupação, proporcionando à capital do Maranhão, uma grande diversificação dos padrões de habitações.

No que tange as formas de ocupação do território, tem-se bairros bem antigos que existiam antes da década de 1950 (em alguns casos correspondem a áreas de habitação do século XVIII e XIX), até bairros mais recentes que possuem um planejamento mais adequado aos padrões de urbanização atuais (após a década de 1970).

Até 1960 a cidade (Figura 17) estava basicamente centrada na região mais antiga, na região central da zona urbano, com algumas ocupações em outras áreas da cidade motivados por algum processo de ocupação independente ou motivado com algum outro processo econômico.

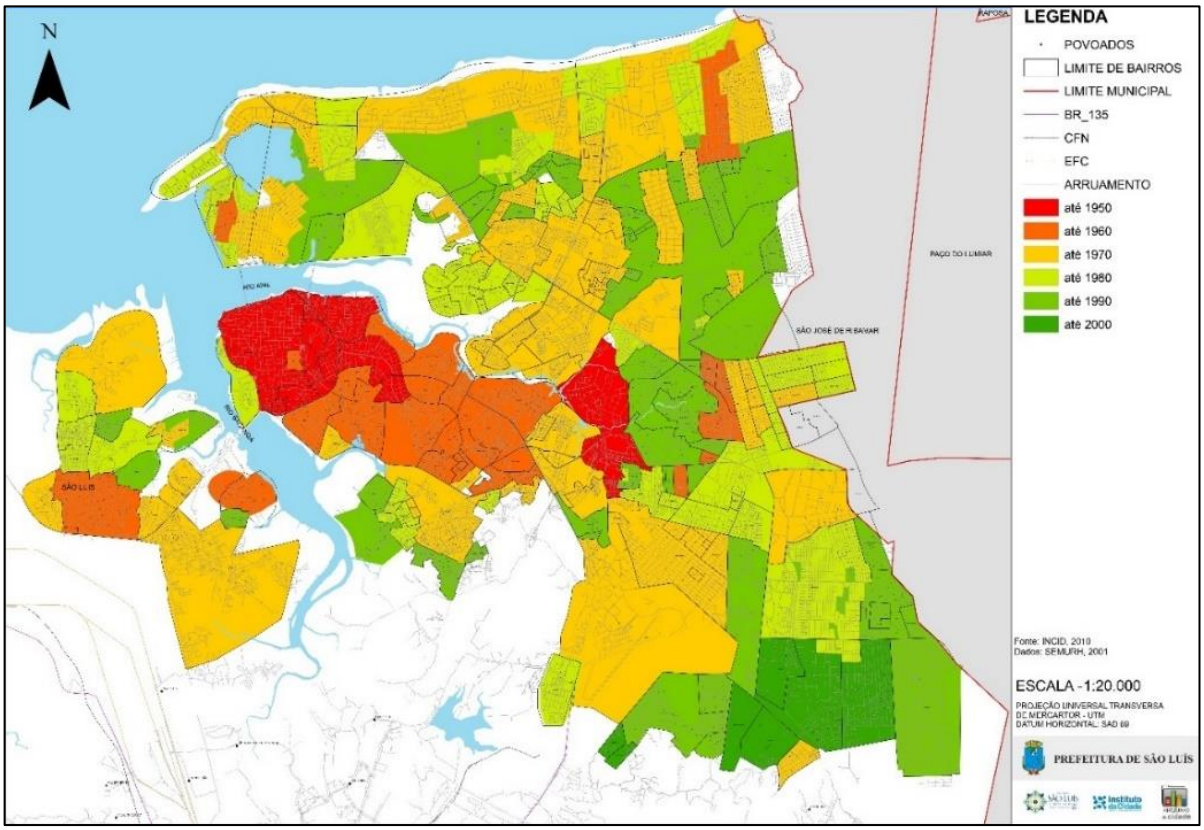
Entre as décadas de 1970 e 1980 (Figura 17), atreladas aos processos econômicos já citados anteriormente, como industrialização por conta Companhia Vale do Rio Doce e ALCOA/ALUMAR, a cidade experimenta um crescimento diferenciado, e ocorre uma grande expansão do urbano em todas as direções, seja por área de ocupação espontânea, seja por áreas de loteamento ou por áreas de planejamento urbano como os conjuntos habitacionais.

Entre 1990 e 2000 (Figura 17), expande-se para áreas que desenvolvem o setor imobiliário de condomínios fechados, grande verticalização, relacionados ao setor norte e no setor leste, este último nos limites da zona urbana com outros municípios da ilha. A nordeste, norte e sul, mesclam-se conjuntos habitacionais, áreas de ocupação espontânea e loteamentos urbanos que surgem a partir da ocupação proveniente da década anterior (1990).

Vale destacar que independente da época em que se estruturou a ocupação dessas áreas, a falta de planejamento urbano e o grande fluxo de migração vindas do interior do estado e de outras regiões do Brasil, promoveram grandes áreas de ocupação espontânea espalhadas por toda de São Luís (DINIZ, 2017).

A Figura 17 mostra o perfil dos bairros no que se refere ao período de instalação no sítio da cidade.

Figura 17. Mapa da evolução dos bairros da zona urbana de São Luís-MA, 1950 - 2000

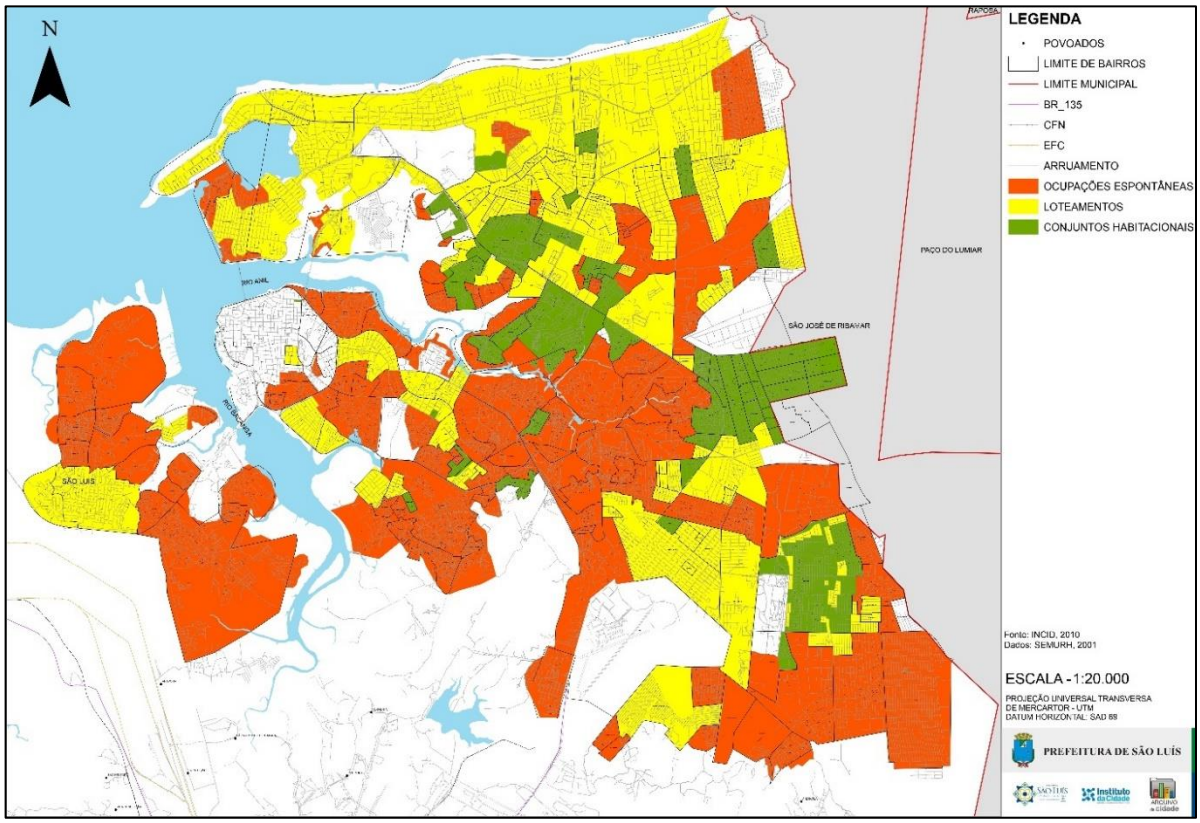


Fonte: INCID, 2010

Atualmente, São Luís possui um ambiente urbano diversificado e desigual, mesclando em sua formação arquitetônica e urbanística os padrões de habitação de áreas fortemente verticalizadas, áreas residências, que em sua grande maioria, caracteriza-se por edifícios de até dois pavimentos, áreas com padrão de edifícios que vão até 5 pavimentos (caraterizados por condomínios de apartamentos de médio porte), áreas de ocupação espontânea, onde se mesclam também áreas de palafitas e espaços ocupados em áreas de aterros próximos as margens de rios.

Essa grande diversificação de padrões habitacionais (Figura 18) pode ser simplificada em três padrões específicos: as áreas de loteamentos, representadas por aquelas que possuem algum tipo de planejamento urbano específico (mesmo que diferente em muitas áreas da cidade); as áreas de ocupação espontânea; e as áreas de conjuntos habitacionais (BARBOSA *et al.*, 2014).

Figura 18. Mapa de origem de ocupação da zona urbana de São Luís



Fonte: INCID, 2010

3.1.1. Uso e Ocupação da Terra

São Luís é dividida em zonas de habitação, sendo estas estabelecidas a partir da criação de duas medidas de controle de gestão do espaço urbano. A primeira é a Lei nº 3.253, de 29 de dezembro de 1992, que dispõe sobre o zoneamento, parcelamento, uso e ocupação do solo urbano. A segunda diz respeito Lei nº 4669, de 11 de outubro de 2006, que dispõe sobre o plano diretor do município de São Luís.

O plano diretor[9] estabelece diferentes funções para o território urbano, dividindo a mesma em zonas com diferentes formas de uso e parcelamento do solo. A cidade é dividida, portanto, em sete zonas, são elas: Zonas Residenciais – ZR, Zonas Mistas – ZM, Zona Turística – ZT, Zona Central – ZC, Zona de Preservação Histórica – ZPH, Zona de Segurança Aeroportuária – ZSA, Zonas Especiais de Interesse Social – ZEIS. O Quadro 10 traz as características de uso de cada zona e a Figura 18 mostra a espacialização das zonas na cidade.

[9] O último plano diretor de São Luís está em vigor desde o ano de 2006. Ao seguir a legislação atual, o mesmo deveria ser revisto e substituído em 2016. Todavia, devido a ações judiciais relacionadas as novas restruturações urbanísticas da cidade, o novo plano diretor ainda não foi finalizado por conta de embargos judiciais até a data da presente pesquisa. Se usa como referência a legislação urbanística referente ao plano de 2006.

A Zonas de Habitação Residenciais (ZRs) compõe basicamente áreas de interesse social de residências, existe comércio diversificado nessas áreas, porém, de ordenamento geral, não são áreas específicas para o grande fluxo comercial da cidade.

A zonas Mistas, podem ser divididas entre comercial, institucional e industrial. As zonas mistas comerciais (ZMC 1 e ZMC2) são áreas estabelecidas especificamente para o comércio de produtos e mercadorias. Necessariamente, boa parte do grande comércio de São Luís está situada nessas áreas. As zonas mistas institucionais (ZMIT) detém os poderes de gerenciamento tanto do ponto de vista municipal quanto das esferas estaduais e federais. A zonas mistas industriais (ZMID) dizem respeito às áreas onde a grande indústria se concentra, como as áreas de áreas fora da zona urbana de cidade.

As zonas turísticas (ZT) dizem respeito às áreas relacionadas especificamente com o turismo. Nelas estão relacionadas áreas do antigo centro histórico de São Luís, praias, dentre outras áreas de interesse.

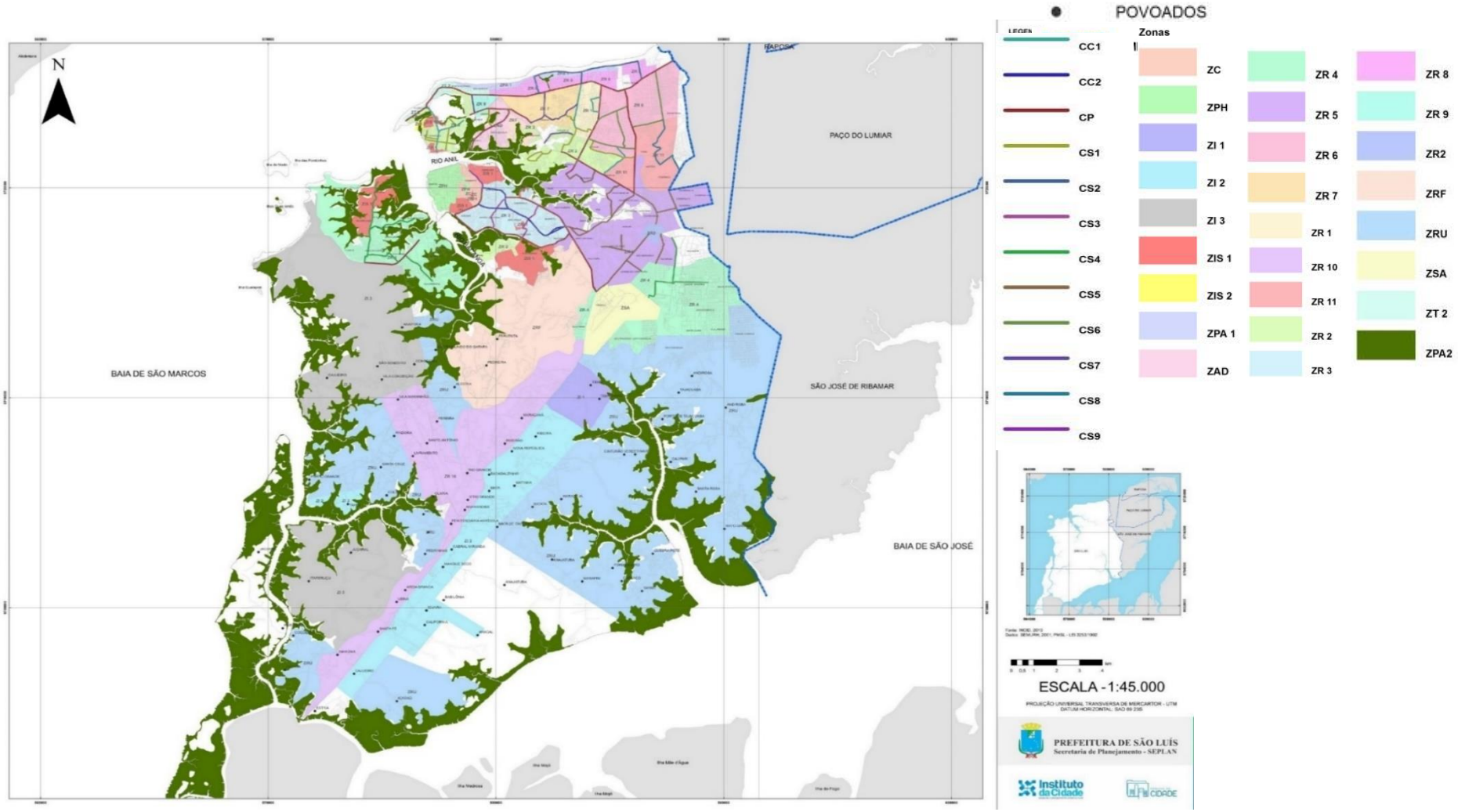
A Zona Central (ZC) está relacionada às áreas de ocupação histórica mais antiga que possui potencial econômico diversificado. A Zona da preservação Histórica (ZPH) corresponde às áreas tombadas como patrimônio histórico da humanidade e tem usos diversos, desde moradia, comércio, lazer e turismo.

A Zona de Segurança Aeroportuária (ZSA) faz menção a toda área de controle do Aeroporto Internacional de São Luís “Marechal Cunha Machado”. Nela existem legislações específicas no que dizem respeito às normas nacionais e internacionais para a operação aeronáutica na localidade.

A última são as Zonas Especiais de Interesse Social (ZEIS), que são subdivididas entre ZEIS1 e ZEIS2. Nelas se localizam as áreas de ocupação espontânea, que em São Luís são popularmente conhecidas como “invasões”, ou áreas provenientes de assentamentos de baixa renda e irregulares no que diz respeito a legislação urbanística.

Mesmo que São Luís possua uma legislação específica para o ordenamento territorial urbano, salve em alguns casos como o da Zona de Segurança Aeroportuária (ZSA) e a Zona A Zona da preservação Histórica (ZPH), se torna praticamente impossível dentro do urbano manter o controle específico de todas as zonas. Em praticamente todas estas funções determinadas, mesclam-se, entre si, motivadas por interesses econômicos e a administrativos dos mais diversos. A figura 19 demonstra a distribuição espacial do Zoneamento de São Luís.

Figura 19. Zoneamento de São Luís.



Fonte: INCID, 2014

3. METODOLOGIA

Essa pesquisa se baseia na proposta teórica e metodológica do Sistema Clima Urbano (SCU), elaborada por Monteiro (1976), ao entender que a gênese climática das cidades não depende apenas da simples conexão atmosférica imposta sobre determinado espaço geográfico, mas também diz respeito ao que o ambiente urbano pode produzir para uma dinamicidade climática a nível local.

O foco da pesquisa está no estudo do subsistema termodinâmico das cidades (MONTEIRO, 1976), que envolve dados referentes as temperaturas do ar observadas e distribuídas espacialmente no ambiente urbano de São Luís.

Para a efetivação da presente pesquisa, ocorreram diferentes processos para a coleta, tratamento e análise de dados climáticos. Esses procedimentos vão desde a coleta de dados climáticos primários adquiridos através sensores e estações instaladas por meio de atividades de campo, a coleta de dados climáticos por meio de dados secundários disponibilizados por estações de órgãos oficiais na área da Meteorologia, coleta e tratamento de informações de sensores remotos, a fim de se obter dados de temperatura de superfície e uso e ocupação da terra.

Para o alcance dos objetivos já mencionados, a pesquisa foi dividida em três etapas diferentes, porém complementares, tais como: identificação e caracterização do ambiente urbano; análise das ilhas de calor superficiais por meio de sensoriamento remoto; análise das ilhas de calor urbanas atmosféricas a partir de pontos fixos.

4.1. Procedimentos de Coletas de Dados de Sensoriamento Remoto e Processamento Digital das Imagens de Satélites

Nas últimas duas décadas, com a disponibilização de produtos na área de geotecnologias, e o livre acesso por parte de pesquisadores das áreas das Geociências, ocorreu o aumento no número de estudos em clima urbano que são destinados a análise da temperatura de superfície de objetos, obtidos por meio de técnicas de Sensoriamento Remoto (AMORIM, 2020).

Liu (2015, p. 26) define Sensoriamento remoto como a "[...] técnica de aquisição e de aplicações das informações sobre um objeto sem nenhum conato físico com ele". Nesse sentido, diferentes satélites e sensores são responsáveis pela coleta e transformação da energia eletromagnética da superfície da Terra, sendo disponibilizados posteriormente em formas de

dados por meio de números digitais, radiância, reflectância de superfície, dentre outros. Essa distribuição dependerá dos diferentes repositórios acessíveis aos pesquisadores, e pode variar entre a disponibilização gratuita ou privada.

As imagens de satélite utilizadas para caracterização do espaço urbano e, para a análise das ilhas de calor superficiais foram adquiridas de forma gratuita nos domínios da *United States Geological Survey* (USGS). Estas imagens já são disponibilizadas com correção geométrica, sem a necessidade desse tipo de pré-processamento.

Para o Processamento Digital de Imagens (PDI) de satélite, cartografia digital, e espacialização e análise dos dados de sensoriamento remoto, foram utilizados softwares que possuem ambientes de um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Na etapa de classificação e caracterização do solo urbano se utilizou o Software Spring versão 2.14 (versão estável), disponibilizado pela Divisão de Processamento de Imagens (DPI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

As análises que envolveram o sensoriamento remoto, no que se refere ao pré-processamento (obtenção de dados) e PDI, assim como as técnicas utilizadas na espacialização de dados climáticos e a elaboração e correção de todo material cartográfico, foi feito por meio do software Arcgis Pro versão 2.5 (vide licença UNESP educacional).

Os detalhamentos dos procedimentos são apresentados nos itens deste relatório, juntamente com a análise dos resultados.

4.2. Processamento Digital de Imagens de Satélite

O PDI de satélite foi realizado para se obter a caracterização do uso e ocupação da terra da área de estudo. Para isso, foi realizada a etapa de classificação de uso da terra. Meneses e Sano (2012) definem esse tipo de classificação enquanto “classificação de pixel a pixel”, e dizem que:

> Para extrair informações das imagens é necessário estabelecer métodos de análises com regras claras e lógicas, para que possam ser replicadas por qualquer analista na interpretação do significado do dado. Essas regras estabelecem critérios para a análise dos elementos que compõem a paisagem, utilizando-se das propriedades da cor, tonalidade, textura, estrutura, sombras e homologia, que são específicas de cada classe de alvo (MENSESES e SANO, 2012, p. 191).

Na etapa de PDI existem dois tipos principais de classificação, são as classificações não-supervisionadas e as supervisionadas. A classificação não supervisionada é aquela em que

praticamente não exige a participação do analista ou pesquisador no processo de classificação, pois o processo é praticamente todo automatizado pela máquina (NOVO, 2009). A classificação supervisionada se difere da anterior em basicamente tudo, pois conforme Meneses e Sano (2012p. 198) "[...] a classificação supervisionada requer conhecimentos prévios das classes de alvos, a fim de classificar a imagem nas classes de interesse pré-fixadas pelo analista. O algoritmo necessita ser treinado para poder distinguir as classes uma das outras".

Para a presente pesquisa, se escolheu o classificador Máxima Verossimilhança (MAXVER). Conforme Novo (2009) é um classificador que analisa informações espectrais de alvo pré-definidos por meio da resposta espectral. Essa classificação compreende em definir os tipos de classe, amostrar e criar assinaturas dos pixels considerados da mesma classe para assim, aplicar o método de classificação de probabilidade máxima e, por fim, realizar a filtragem e refinamento dos agrupamentos.

Para a classificação de MAXVER, foram escolhidos 50 pontos controle[10] na imagem de satélite, que contêm características específicas com sua assinatura espectral de diferentes ambientes da área de estudo, sendo identificado o máximo de classes possíveis.

Para fins de validação, foram adotados pontos considerados de verdade de campo, obtidos por meio do aplicativo Google Earth Pro, utilizando cenas de 2020. Estes pontos serviram de base para a matriz de confusão, conforme pode ser observado nas Equação 01 e 02, que demonstra o Índice *Kappa* e a Exatidão Global.

Equação 1. Índice Kappa

$$K = \frac{N\sum_{i=1}^{k} X_{ii} - \sum_{i=1}^{k}(x_i + x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^{k}(x_i + x_{+i})} \quad (01)$$

Onde: K é uma estimativa do coeficiente Kappa; X_{ii} é o valor da linha i e coluna i; x_i é a soma da linha i e x_{+i} é a soma da coluna i da matriz de confusão; N é o número total de amostras e k o número total de classes.

Equação 2. Exatidão Global.

$$\mathrm{E}_{_\mathrm{global}} = \left(\frac{\sum_{i=1}^{k} X_{ii}}{N}\right) \quad (02)$$

Onde: soma da diagonal principal da matriz de erros ($\sum_{i=1}^{k} X_{ii}$); número total de amostras coletadas (N).

[10] Pontos amostrais que representam as diferentes classes de uso e da terra a serem processados pelo software de PDI

Índice *Kappa* visa verificar a acurácia e confiabilidade das informações adquiridas mediante a classificação supervisionada, como destacado na Tabela 4. O índice obtido para a classificação específica desta pesquisa foi de 0,93 o que conforme destacada na tabela 4, é considerado excelente para a classificação executada.

Tabela 4. Classificação de conformidade ao Índice Kappa.

Índice Kappa	Qualidade da classificação
0,00	Péssima
1,01 a 0,20	Ruim
0,21 a 0,40	Razoável
0,41 a 0,60	Boa
0,61 a 0,80	Muito Boa
0,81 a 1,00	Excelente

Fonte: LANDIS E KOCH (1977, apud ABRÃO *et al.*, 2015)

Após a classificação do espaço urbano por meio da classificação supervisionada MAXVER, foi feito o PDI para se obter as temperaturas das superfícies, visando a identificação inicial das ilhas de calor superficiais por meio de sensores remotos.

O cálculo da temperatura de superfície foi obtido a partir da conversão dos níveis de cinza da banda 10 (sensor TIRS) do Landsat 8 em radiância espectral. Todo corpo que possui temperatura acima do zero grau absoluto ou zero Kelvin emite radiação eletromagnética. Nesse contexto, os corpos emitem radiação eletromagnética inclusive na faixa do infravermelho termal, no qual por meio de sensores específicos, permitem o estudo de medidas da emissividade da temperatura de superfície de diferentes alvos e corpos presentes no planeta (JENSEN, 2011; NOVO, 2009; LOREZENTI, 2015; AMORIM [a], 2017; AMORIM[b], 2017).

As equações e parâmetros para a obtenção das temperaturas de superfícies no ambiente foram obtidos nos domínios da *United States Geological Survey* (USGS).

Para a conversão dos níveis de cinza da banda 10 do Landsat 8 em radiância espectral foi utilizada a Equação 03:

Equação 3. Conversão dos níveis de cinza em radiância espectral (Landsat 8).

$$L_\lambda = M_L\, Q_{cal} + A_L \qquad (03)$$

Onde: L_λ é a radiância do topo da atmosfera (Watts/ (m2 * srad * μm)); M_L é o fator multiplicativo de redimensionamento de cada banda presente nos metadados (Radiance_Mult_Band_x, onde x é o número da banda); Q_{cal} é os valores de pixel quantificados e calibrados do produto padrão (DN); A_L é o fator aditivo de redimensionamento de cada banda presente nos metadados (Radiance_Add_Band_x, onde x é o número da banda).

A atmosfera gera diferentes distorções nos dados das imagens de satélites, relacionadas com os padrões físicos, químico e biológicos presentes nas diferentes camadas, desde os níveis inferiores até os superiores. Latorre *et al.* (2002), apresenta os gases e os diferentes particulados em suspensão como sendo os principais responsáveis pelas interações da radiação solar na atmosfera, provocando assim ruídos que podem modificar as respostas espectrais dos alvos nas imagens de satélites.

O grupo dos gases é divido entre os permanentes (Nitrogênio - N, o Oxigênio - O_2 e o Argônio - Ar, dentre outros), que apresentam concentração de mais de 99% na atmosfera e o grupo das variáveis (com destaque ao vapor d'água - H_2O_v), devido a sua variação no espaço e no tempo. O grupo dos particulados são representados tanto por líquidos quanto por sólidos, tais como cristais de gelo, gotículas de água e aerossóis, sendo este último com mais relevância em todo o globo (LATORRE *et al*, 2002).

Para efeitos de análise dos dados de temperatura de superfície, Amorim[b] (2017) destaca a importância de se realizar o procedimento de correção atmosférica das imagens logo após a conversão das cenas para radiância espectral. Gaida *et al.* (2020) demonstra que na área geográfica, a nível de mestrado e doutorado, é imprescindível que seja feita a correção atmosférica das imagens, pois as alterações provenientes da não utilização dessa técnica no PDI demonstra diferenças em praticamente todos os resultados, sejam eles da análise de dados de sensores termais ou nos diferentes índices de vegetação existentes.

Para o procedimento de correção atmosférica, foi utilizada a Equação 04:

Equação 4. Procedimento de correção atmosférica

$$CV_{R2} = \frac{CV_{R1} - \mathrm{L}\uparrow}{\varepsilon T} - \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} - L\downarrow \quad (04)$$

Onde: CV_{R2} é o valor da célula da correção atmosférica como radiância; CV_{R1} é o valor da célula como radiância da seção 1; L↑ é o valor de *upwelling radiance;* L↓ é o valor de *downwelling radiance*; T é a transmitância; Ɛ é a emissividade, na qual utilizamos 0,95. Fonte: extraída de Coll *et al.*, 2010.

Na conversão para os valores em temperatura Kelvin foi utilizada a Equação 05:

Equação 5. Conversão dos valores para temperatura Kelvin

$$T = \frac{K2}{ln\left(\frac{K1}{L\lambda}+1\right)} \quad (05)$$

Onde: *T* é a temperatura efetiva no satélite em Kelvin; K2 é a constante de calibração 2 (1282.71 K); K1 é a constante de calibração de 1 (666.09 W/ m² sr μm); Lλ - Radiância espectral (W/m^2 sr μm).

Depois da geração da imagem em temperatura Kelvin, foi decrescido o valor de 273,15 em todos os pixels da imagem, e com isso se obteve as temperaturas de superfície em graus Celsius dos alvos espectrais.

Para a análise de ICU superficiais, foram feitas comparações com a vegetação. Para que isso seja possível, se faz necessário a aplicação do sensoriamento remoto aplicado ao estudo da vegetação, bem como a aplicação dos índices de vegetação.

Os índices de vegetação correspondem de maneira simplificada para o realce do sinal de verde das formações vegetais, o que influi em diversas características, que vão desde vigor vegetacional, a padrões de doenças de culturas. A partir dos avanços dos estudos de sensoriamento remoto, e com a necessidade dessa aplicação para a vegetação, vários índices foram criados, porém um dos que mais se destacam na literatura específica da área é o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), que traduzido para o português significa Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (FERREIRA, FERREIRA, FERREIRA, 2008).

Segundo Melo, Sales e Oliveira (2011, p. 524) o "[...] Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é uma aplicação dos processos de realce por operações matemáticas entre bandas de sensores satelitários". Esse índice é muito utilizado em pesquisas relacionadas a cobertura vegetal, uso da terra, estimativas de biomassa, dentre outros (SHIMABUKURU, NOVO, PONZONI, 1998).

Na elaboração do NDVI foram utilizados dados das bandas 4 e 5 do satélite Landsat 8 (Sensor Tirs). Segundo a USGS (2020), essas bandas representam os valores de vermelho (0.64 μm – 0.67 μm) e infravermelho próximo (0.85 μm – 0.88 μm). A equação 6 demonstra o procedimento para se gerar o NDVI, conforme apresentado pela USGS (2020).

Equação 6. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

$$NDVI = \frac{(NIR-R)}{(NIR+R)} \quad (06)$$

Onde: NDVI é Índice de Vegetação da Diferença Normalizada; é a refletância no comprimento de onda correspondente ao Infravermelho Próximo (0.64 μm – 0.67 μm); é a refletância no comprimento de onda correspondente ao Vermelho (0.85 μm – 0.88 μm).

Após todos os procedimentos de PDI necessários para o estudo das ICU superficiais foi realizada o recorte das imagens utilizadas na pesquisa. Esse procedimento foi feito a partir da ferramenta *Extract by Mask do* software *Arcgis* Pro versão 2.5, e se utilizou como referência os limites entendidos como zona urbana, conforme já demostrado na figura 6.

4.3. Procedimentos de Coleta de Dados Climáticos

Os dados climáticos na pesquisa estão divididos entre dados secundários disponibilizados por meio de estações meteorológicas oficiais de órgãos públicos (universidades, institutos de pesquisa, Aeronáutica), e por dados primários, sendo adquiridos por meio de trabalhos de campo, que envolveram a instalação de estações meteorológicas e sensores de temperatura na área de estudo.

4.3.1. Coleta de Dados de Estações Secundárias

Foram utilizados dados de três estações meteorológicas: a estação meteorológica da do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a estação meteorológica do Aeroporto Internacional de São Luís – Marechal Cunha Machado, e o dados da estação a do Núcleo Geoambiental (NUGEO), pertencente a Universidade Estadual do Maranhão (UEMA).

O Quadro 6 demonstra as especificações técnicas das estações meteorológicas, a escala temporal dos dados e os *sites* onde é possível baixar os dados utilizados na pesquisa.

Os dados do INMET foram adquiridos das estações meteorológicas automáticas (EMA), por meio da plataforma oficial do instituto (quadro 7).

Os dados do aeroporto internacional de São Luís, foram disponibilizados através do repositório de dados meteorológicos de aeroportos ao longo do mundo, agregados pelo *Iowa Environmental Mesonet (IEM)*, que faz parte da *Iowa State University*. Os dados foram coletados na escala horária.

Quadro 6. Especificações das estações meteorológicas secundárias utilizadas na pesquisa.

Estação Meteorológica	Escala temporal	Tipo de equipamento	Repositório on-line
EMA do Instituto Nacional de Meteorologia – São Luís	Dados horários	Vaisala, modelo MAWS 301	http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas
EMA Aeroporto Internacional de São Luís – Marechal Cunha Machado	Dados horários	Não especificado pelo órgão gerenciador	https://mesonet.agron.iastate.edu/request/download.phtml?network=BR__ASOS
Estação Meteorológica do NUNGEO- São Luís	Dados horários	Pluviômetro - TB4. Sensores de Temperatura do Ar e Umidade Relativa do Ar - Hygroclip S3 Sensores de Velocidade e Direção do Vento – Windsonic Sensor de Radiação Solar Global - LI200. Sensor de Pressão Atmosférica - BP276	https://www.nugeo.uema.br/?page_id=5378

Fonte: Elaborado a partir das especificações técnicas do INMET, 2011 e NUNGEO 2020.

Os dados do NUGEO foram coletados a partir do repositório digital da Universidade Estadual do Maranhão. Estes dados foram disponibilizados no período de setembro 2020, na escala temporal horária.

4.3.2. Instalação e Coleta de Dados Primários

Além das estações oficiais, como destacado anteriormente, foram utilizados estações meteorológicas e sensores de temperatura, cedidos pelo núcleo de Estudos e Pesquisas Ambientais (NEPA), da Universidade Federal do Maranhão (UFMA).

Para a efetivação da pesquisa, os procedimentos envolveram o teste das estações meteorológicas e sensores utilizados, bem como sua instalação nos respectivos locais pré-selecionados.

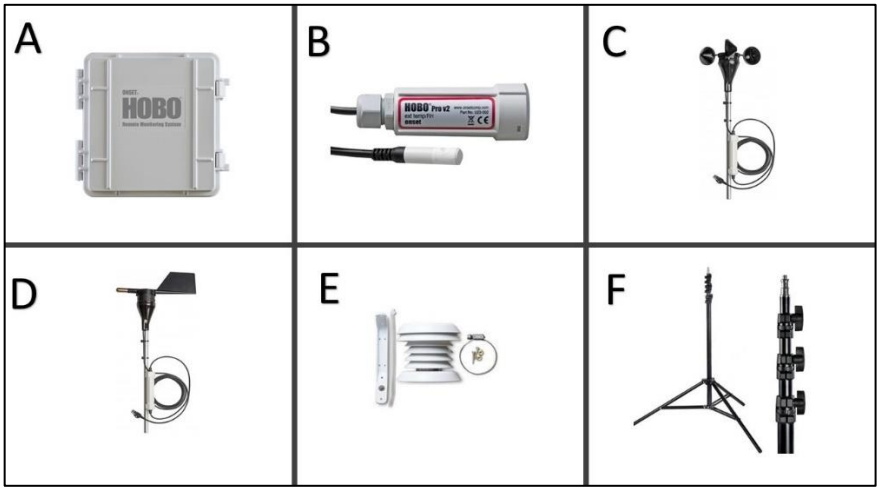
Foi utilizada 01 estação meteorológica (Quadro 8 - Figura 20), que registrou dados de temperatura, umidade, velocidade e direção do vento, além de 25 termohigrômetros (Quadro 9 - Figura 21), que registram temperatura e umidade.

Quadro 7. Especificações das estações meteorológicas utilizadas.

Tipo de equipamento	Especificações técnicas
- Registrador de dados da estação de monitoramento remoto HOBO RX3000	**Taxa de registro –** segundos, horário, diário **Precisão de tempo -** ± 8 segundos por mês na faixa de 0 ° a 40 °C (32 ° F a 104 °F); ± 30 segundos por mês na faixa de -40 °C a 60 °C (-40 ° a 140 ° F) **Vida útil da bateria recarregável - d**e 3 a 5 anos típicos quando operado na faixa de temperatura de -20 °C a 40 °C (-4 ° F a 104 ° F); operação fora deste intervalo reduzirá a vida útil da bateria **Memória -** 32 MB, 2 milhões de medições, registro contínuo
- Sensor de temperatura do ar / umidade relativa - HOBO U23 Pro v2	**Faixa de medição -** Temperatura: -20 ° a 70 ° C (-4 ° a 158 ° F); Umidade Relativa 25% a 100%.
- Sensor de Velocidade / rajada de vento (S-WSB-M003)	**Faixa de medição -** 0 a 76 m / s (0 a 170 mph)
- Sensor de Direção do vento (S-WDA-M003)	**Faixa de Medição -** 0 a 355 graus, banda morta de 5 graus
Abrigo meteorológico (RS3-B) para sensor de temperatura do ar / umidade relativa	**Materiais -** Blindagem: ASA estireno (estável aos UV) **Suporte -** nylon preenchido com vidro (estável aos UV) **Ferragens de fixação -** Aço inoxidável e latão
Tripé	**Tipo de material -** alumínio **Altura -** Até 2,10m **Peso -** 2kg **Capacidade de suporte de peso -** 6kg

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das especificações técnicas disponíveis em <https://www.onsetcomp.com/products>. Acesso em: 29 de setembro de 2020

Figura 20. a - Registrador de dados da estação de monitoramento remoto HOBO RX3000; b - Sensor de temperatura do ar / umidade relativa - HOBO U23 Pro v2; c - Sensor de Velocidade /rajada de vento (S-WSB-M003); d - Sensor de Direção do vento (S-WDA-M003); e - Abrigo meteorológico (RS3-B) para sensor de temperatura do ar / umidade relativa; f – Tripé.



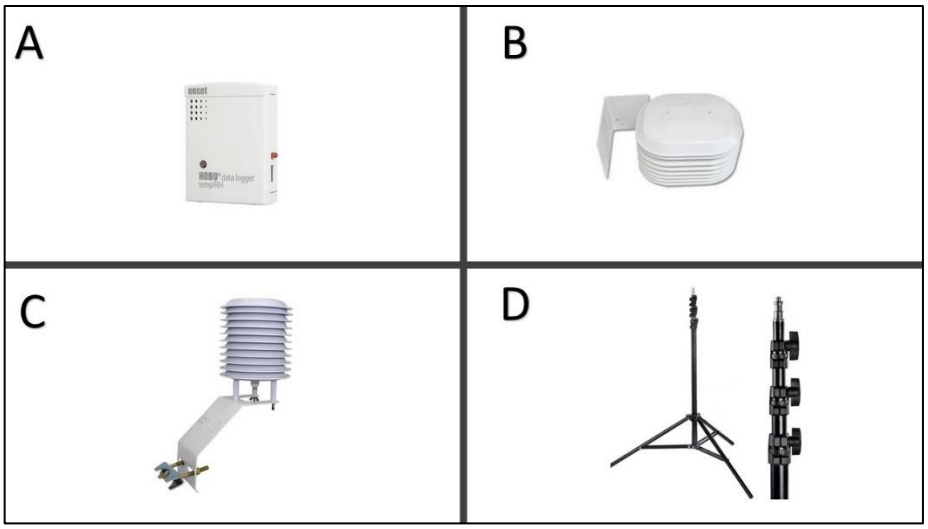
Fonte: Elaborado pelo autor a partir das especificações técnicas disponíveis em <https://www.onsetcomp.com/products>. Acesso em: 29 de setembro de 2020

Quadro 8. Especificações do sensor de temperatura e umidade utilizados

Tipo de equipamento	**Especificações técnicas**
- Termohigrômetro HOBO (U10-003)	**Faixa de medição -** Temperatura: -20 ° a 70 ° C (-4 ° a 158 ° F); RH: 25% a 100% RH.
Abrigo meteorológico (RS1) para sensor de temperatura do ar / umidade relativa	**Altura:** 152 mm (6,0 polegadas); 165 mm (6,5 polegadas) com suporte; **Largura:** 210 mm (8.3 polegadas); **Profundidade:** 187 mm (7,4 polegadas)
Abrigo meteorológico (RS4) para sensor de temperatura do ar / umidade relativa	**Materiais -** Blindagem: ASA estireno (estável aos UV); **Altura -**150 mm; Interno: 130 mm; **Diâmetro -**14 mm; interno 6,0 mm; **Ferragens de fixação -** Aço inoxidável e latã0
Tripé	**Tipo de material -** alumínio; **Altura -** Até 2,10m; **Peso -** 2kg; **Capacidade de suporte de peso -** 6kg

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das especificações técnicas disponíveis em < https://www.onsetcomp.com/products >. Acesso em: 29 de setembro de 2020.

Figura 21. a - Termohigrômetro HOBO (U10 -003); b - Abrigo meteorológico (RS1) para sensor de temperatura do ar / umidade relativa; c - Abrigo meteorológico (RS4) para sensor de temperatura do ar / umidade relativa; d – Tripé.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir das especificações técnicas disponíveis em: <https://www.onsetcomp.com/products >. Acesso em: 29 de setembro de 2020

A instalação de sensores meteorológicos obedece a critérios que dependem do fabricante, do tipo de sensor e das caraterísticas da área de instalação. Os sensores HOBO U10-003 (Figura 22) foram instalados a uma altura de um 1,5 metro em relação ao solo. Os sensores foram abrigados para proteger da incidência direta dos raios solares e das características físicas das diferentes áreas onde os sensores foram instalados, tais como os diferentes tipos de solo, material de acabamento das construções (cerâmica, tijolo, cascalho ou piçarra, cimento, grama), formas de uso, dentre outros.

No mesmo sentido, as estações meteorológicas (Figura 22) obedeceram em parte ao mesmo critério. Os sensores de temperatura e umidade foram instalados a 1,5 metros do solo, porém, os sensores de direção e velocidade do vento (anemógrafo) foram instalados a 2 metros de altura em relação ao solo, para analisar de forma mais precisa as variáveis do vento, e eliminar possíveis interações de minicorrentes convectivas. As demais estações oficiais utilizadas na pesquisa (INMET, AEROPORTO, NUGEO), obedecem aos padrões exigidos pela Organização Meteorológica Mundial (OMM).

Figura 22. Sensores e estações instalados em campo. A – Estação Meteorológica HOBO 2 (ponto 1 - Ponta da Areia); B – Sensor HOBO U10-003 com abrigo meteorológico (RS1) (ponto 3 – Habitacional turu);C - Sensor HOBO U10-003 com abrigo meteorológico (RS4) (ponto 4- Renascença).



Fonte: Fotos do autor (06 de janeiro de 2020; 26 de fevereiro de 2020)

Em certas situações houve a impossibilidade de se instalar os sensores nos tripés como medida de distanciamento do solo, devido as condições do intradomiciliar das residências não suportarem. Em consideração a essa questão se adaptou os sensores em varais de roupa, com distanciamento do solo entre 1,5 m a 1,7m, conforme pode ser observado na figura 23.

Figura 23. Adaptação feita nos varais de residências onde se impossibilitou de instalar os sensores com tripés.



Fonte: Foto do autor (26 de fevereiro de 2020)

O ponto 9 (Coroadinho – Bom Jesus) que está dentro de uma área de preservação permanente e de vegetação arbórea, o que também impossibilitou a instalação do sensor por meio do tripé. Neste caso em específico foi feito uma adaptação no tronco de uma árvore (figura 24), o que viabilizou a pesquisa e coleta de dados naquela área.

Figura 24. Adaptação feita em tronco de árvore em área de vegetação arbórea



Fonte: Foto do autor (11 de janeiro de 2020)

4.3.3. Tratamento Estatístico

Para o desenvolvimento da presente pesquisa, se optou por utilizar, em um primeiro momento, algumas formulações de métodos estatísticos a fim de explorar preliminarmente os dados coletados a partir de pesquisas de campo, e descrever as suas características. Conforme Silvestre (2016, p. 81), a "[...] análise exploratória de dados é um passo inicial nas análises estatísticas de conjuntos de dados. Essa fase é necessária para que se conheçam as principais características dos dados, e pode ser realizada por meio de técnicas de estatística descritiva e construção de gráficos".

Seja em qualquer tipo de análise estatística (isso inclui a climatologia urbana), a estatística que é utilizada e considerada como exploratória de dados é conhecida como Estatística Descritiva. Segundo Silvestre (2016), dentro da climatologia geográfica brasileira existem diversos métodos utilizados nas pesquisas relacionados a estatística descritiva.

Para o desenvolvimento da pesquisa foi utilizado um conjunto de técnicas estatísticas descritivas para se obter uma análise do comportamento dos dados, como medidas de posição e tendência central, além de dispersão. A medidas de posição mais usadas em estudo de análise de temperatura são:

- Mínimo: menor valor registrado da amostra.

- Máximo: maior valor registrado da amostra.
- Média aritmética: soma de todos os valores, dividida pelo número total

Equação 7. Média Aritmética ($\bar{x}$)

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \quad (07)$$

Onde: *x* representa cada registro de temperatura e *n* é o número total de registros feitos

- Mediana: divide a amostra no meio após estes serem "organizados" em ordem crescente ou decrescente.

Equação 8. Mediana (md)

$$md = \frac{n+1}{2} \quad (08)$$

Onde: x representa cada registro de temperatura e n é o número total de registros feitos

- Moda: valor que mais ocorre nas observações, após estes serem organizados em ordem crescente ou decrescente.

Como medidas de posição e tendências centrais mais usadas em estudo de análise de temperatura temos:

- Quartis: dividem um conjunto de dados em quatro partes iguais, sendo o segundo quartil (Q2) divide o conjunto de dados em duas partes iguais (50%) pois isso coincide com a mediana. Desta forma, o primeiro quartil (Q1) divide a primeira metade do conjunto de dados e o terceiro quartil (Q3) o que divide a segunda metade

Equação 9. Quartis (Q)

$$Q_K = \frac{k.n}{4} \quad (09)$$

Onde: *Q* representa o Quartil; *k* é o número do quartil considerado e n é o número de elementos coletados na pesquisa *(∑fi*).

- Desvio padrão (Dp): estima da variabilidade desta variável de onde a amostra foi retirada.

Equação 10. Desvio Padrão (S)

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (10)$$

Onde: S representa o Desvio padrão; x_i a observação individual, $\bar{x}$ Média da amostra e n é o número de elementos coletados na pesquisa (∑fi).

- Curtose: É o grau de desvio ou afastamento da simetria de uma distribuição

Equação 11. Curtose (k)

$$k = \frac{\widetilde{\mu_4}}{\widetilde{\mu}_2^2} \quad (10)$$

Onde: $\tilde{\mu}$ é o estimador dos momentos centrados na média, referente às respectivas ordens.

Tais informações descrevem o comportamento dos dados estudados e evidenciam os possíveis *outliers* (valores atípicos) presentes, possibilitando ao pesquisador verificar possíveis erros de registro ou levantar as possíveis causas da anomalia, para então tomada de decisão de inclusão ou decisão. Além das tabelas resumos de medidas, o *Boxplot* (diagrama de caixas) é a forma gráfica mais usados para relacionar as variáveis citadas.

Os dados de temperatura (°C) coletados para setembro de 2020 foram tabelados e analisado através de estatística descritiva para medidas de posição e dispersão, a partir do programa Microsoft Office Excel® versão 2016, para as medidas de Mínimo, Máximo, Média, Moda, Quartil 25% (Q1), Mediana (Q2), Quartil 75% (Q3), Desvio Padrão e Assimetria, além de representar graficamente através do box-spot.

4. RESULTADOS

5.1. Análise das ilhas de calor superficiais em junho e agosto de 2020

Foram utilizadas duas imagens na pesquisa, a primeira foi de 23 de junho de 2020 (órbita/ponto 220/62) e a segunda de 17 de agosto de 2020 (órbita/ponto 221/62). As duas órbitas compreendem a área de estudo (zona urbana de São Luís), e não foi necessário nenhum processo de mosaico de imagens, o que por si só se tornaria um problema tendo em vista que se teria que trabalhar com cenas de datas desiguais, o que causa diferentes respostas espectrais e altera a fidelidade de dados.

Nas análises das ilhas de calor superficiais, diversos elementos devem ser observados e destacados nos estudos, bem como a uso e ocupação da terra, as características da vegetação, as caraterísticas da atmosfera no dia da tomada das imagens de satélite, dentre outros. Esses elementos por sua vez influenciam de forma direta nos resultados apresentados, pois atuam nos processos de absorção, espalhamento e refração que influenciam a resposta espectral dos alvos, e nesse quesito, influenciam também nas análises relacionadas a temperatura de superfície dos alvos terrestres.

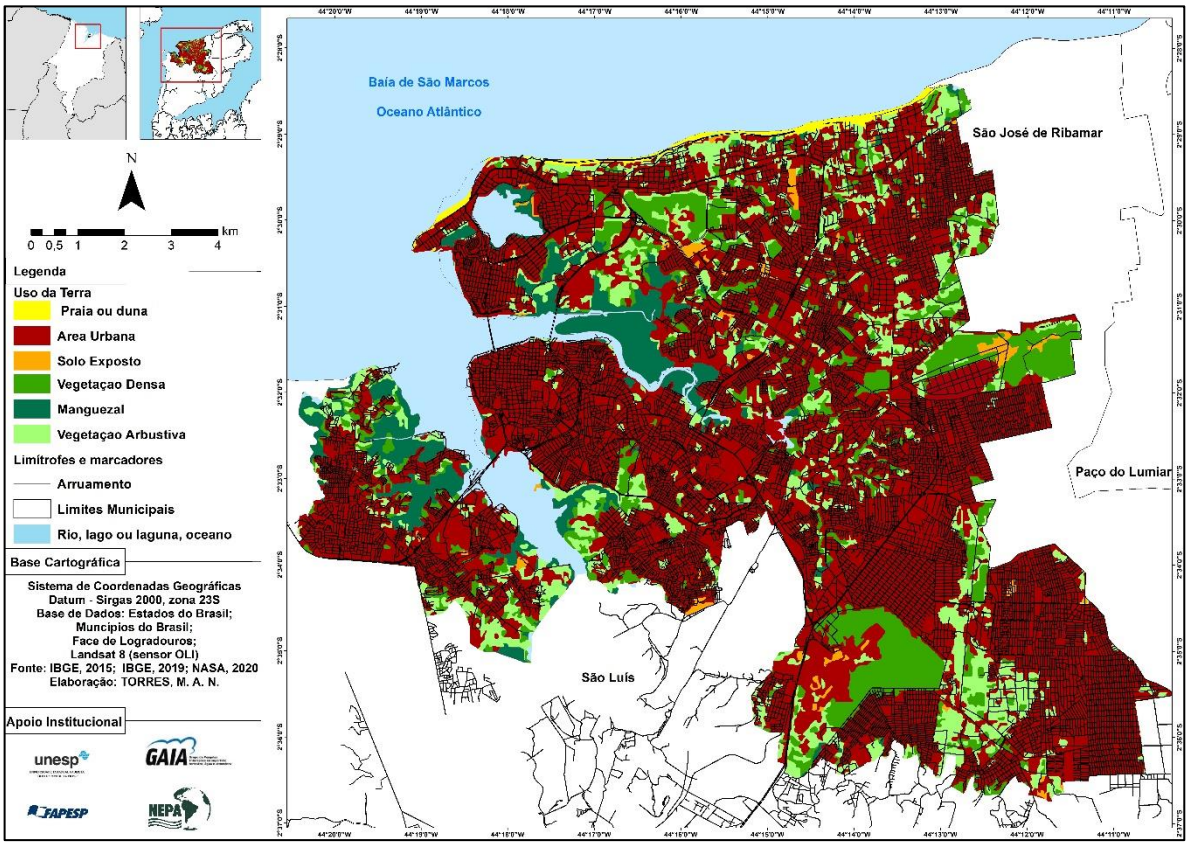
Neste sentido, foi elaborado o mapa de uso e ocupação da terra (Figura 25), referente a imagem de 17 de agosto de 2020 (órbita/ponto - 221/62). Nele constam as diferentes formas de uso para a zona urbana de São Luís. Foram identificados 6 tipos de usos, dentre eles estão a área urbana, solo exposto, vegetação densa, vegetação arbustiva ou rasteira, manguezal (mangues a apicuns) e praia (praias ou dunas). A tabela 5 demonstra o quantitativo para cada classe identificada na área de estudo.

Tabela 5. Relação das classes de uso e o quantitativo das áreas

Classes de Uso da Terra	Área em km²	Porcentagem da área (%)
Área urbanizada	102,0	68,3%
Vegetação Arbustiva	20,2	13,5%
Vegetação Densa	15,8	10,6%
Manguezal (mangues a apicuns)	8,6	5,8%
Solo Exposto	1,6	1,6%
Praias ou Dunas	1,2	1,2%
Total	149,4	100%

Fonte: Organizado pelo autor (2020)

Figura 25. Mapa de uso e ocupação da terra a zona urbana de São Luís



Fonte: Elaborado pelo autor a partir da imagem original do satélite Landsat 8 adquirida em http://earthexplorer.usgs.gov/ – WRS 221-62.

Para Amorim[b] (2017), ao se avaliar a temperatura de superfície de um determinado local, bem como a produção das ilhas de calor superficiais, deve-se também entender as características da precipitação nos dias anteriores aos da tomada da imagem. Isso é importante devido ao fato que a precipitação atua de forma direta como influenciadora na regulação das repostas espectrais dos alvos atmosféricos, tendo em vista que os níveis de chuva podem atuar para a lavagem dos aerossóis da atmosfera, na mudança do estado da vegetação do entorno, na quantidade de vapor d'água presente no sistema, na evapotranspiração potencial, dentre outros fatores.

A imagem do satélite Landsat 8 (banda 10) do dia 23/06/2020 foi coletada precedida de precipitação um dia antes da tomada da cena, no qual foi registrado 3,6 mm de precipitação. Todavia, todos os dias anteriores a tomada das imagens tiveram registros de chuva (CEMANDEN, 2020; INMET, 2020). Vale destacar que segundo o INMET (2018), no primeiro semestre em São Luís se concentram os maiores valores de precipitação, em muitos casos,

dependendo da variabilidade climática, mais de 70% da precipitação acumulada do ano ocorre nesse período.

Na imagem do dia 17/08/2020 têm-se um cenário diferente da anterior. A última chuva registrada foi 6 dias antes (11/08/2020) da tomada da cena, registrando o total de 1,2 mm acumulados de precipitação (CEMANDEN, 2020; INMET, 2020). Para Pinheiro (2018), a precipitação em São Luís no segundo semestre tem um decréscimo substancial, que é causado pela atuação de sistemas atmosféricos que não geram chuvas na região, tais como a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), Massa equatorial Atlântica (mEa), Massa Equatorial Continental (mEc) e Massa Tropical Continental (mTc) o que leva a baixa dos níveis de precipitação, chegando a casos de meses em que não ocorrem precipitação na cidade.

Para a cena de junho de 2020 (Figura 26), a variação da temperatura de superfície entre o ponto mais quente e mais frio foi de 20,5°C a 28,6 °C. Na imagem de agosto de 2020 (Figura 28) variou de 25,5 °C a 28,6 °C. As duas imagens foram coletadas em horários próximos, as 13:04:40h (imagem de junho) e 13:11:10h (imagem de agosto).

A análise das temperaturas de superfície dos períodos de Junho (Figura 26) e agosto (Figura 28) demonstram características significativas na variação térmica espacialmente distribuída. Nas duas imagens as maiores temperaturas se concentram nas áreas urbanas com predominância, nos setores sudoeste (área do Itaqui Bacanga), áreas centrais da zona urbana, onde se tem como referências os bairros do Centro, Monte Castelo, Liberdade, João Paulo, Alemanha.

A leste da zona urbana também se registra altas temperaturas dentro do observado. Estas áreas são representadas pelo eixo dos bairros os quais se destacam a Cohab e a Cohatrac. No setor sul e sudeste se destacam os bairros do São Cristóvão, Jardim São Cristóvão, Cidade Operária, Jardim América, Cidade Olímpica e São Raimundo, os quais possuem grandes concentrações de pessoas e serviços. Destaca-se que em todas essas áreas há intensa urbanização, alta densidade de construções, e pouco percentual de áreas vegetadas.

Sobre as áreas em que se observam as menores temperaturas, destacam-se o setor leste, na divisa municipal entre São Luís e São José de Ribamar. Trata-se da área que compreende a Área de Proteção Ambiental do Itapiracó, como sendo um dos pontos onde se registram as menores temperaturas tanto na imagem de junho quanto na de agosto de 2020.

Em boa parte do norte, onde há contato com a faixa litorânea, também se registram temperaturas mais reduzidas em relação aos outros setores das cidades. Isso pode ocorrer devido ao perfil de organização das construções naquela área, pois lá se localizam habitações de alto

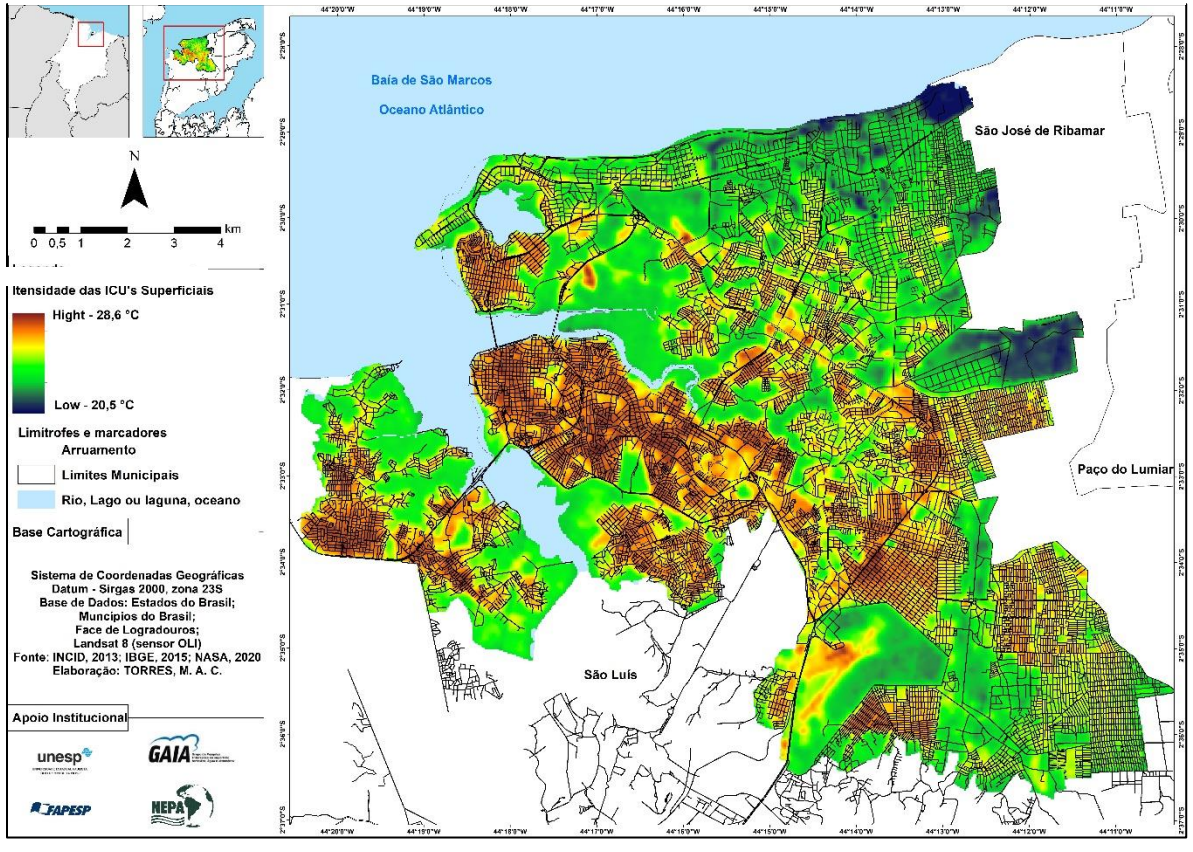
padrão, e em muitos casos com grande presença de vegetação, com espaçamento entre as construções, além de possuir muitas áreas ainda arborizadas. Outro fator importante, conforme destacado por Pinheiro (2018), é a questão das brisas marinhas que em grande parte do ano adentram primeiro por esse setor da cidade (setor mais ao norte), e que podem influenciar diretamente para amenização das temperaturas de superfície, devido os aerossóis e umidade trazidos do oceano. Nestes setores pode-se destacar os bairros Barramar, Quintas do Calhau, Calhau, Olho D'água.

A partir da análise do NDVI, pode-se observar a interferência de diversos fatores, tais como a degradação ambiental, o déficit na saúde de culturas ou as áreas florestais, e para a análise das ICUs, o contraste entre as áreas urbanas e áreas com maiores quantidades de vegetação dentro do urbano. O NDVI, um índice em que sua maioria serve para a estimação do vigor da vegetação, normaliza seus dados entre -1 e 1, sendo que quanto mais perto do -1, menor é o vigor da vegetação e quanto mais próximo do 1, maior é o seu vigor.

Na analisa do NDVI referente ao mês de junho (Figura 27) o índice variou de 0,1 a 0,5. Na imagem de agosto (Figura 29) o índice variou 0,0 a 0,5. Nas duas imagens as maiores taxas de vigor vegetação foram registradas nas áreas proteção ambiental (APAs do Itapiracó e Rangedor), as quais preservam a vegetação densa que se mesclam entre natural e secundária, dentro da zona urbana da cidade. Vale destacar que nas Áreas de Preservação Permanente, onde estão os manguezais (Figura 25), há um tipo de vegetação de regimes estuarinos muito predominante na faixa litorânea de todo o Maranhão. Essa vegetação fica em contato diário com a águas oceânicas através da baixa-mar e preamar que variam aproximadamente de 6 em 6 horas na localidade e durante todo o ano tem acesso a água. Esse tipo de vegetação também apresenta alto índice de vigor nos dois períodos, porém, apesar de apresentar altas taxas de vigor da vegetação, não se enquadram entre as menores intensidades das temperaturas apresentadas na vegetação densa.

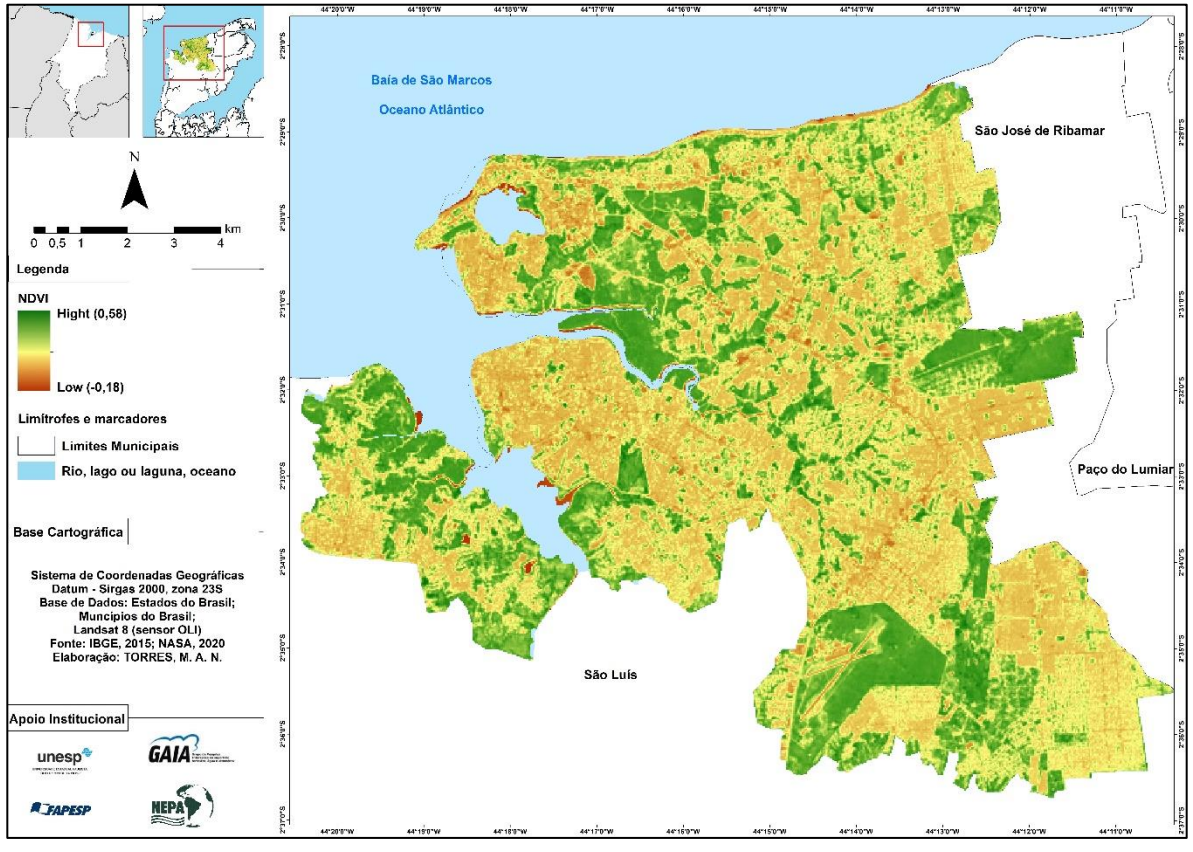
Logo, as maiores taxas de NDVI podem ser associadas como áreas com presença de vegetação, e na análise da temperatura de superfície, elas se relacionam diretamente com as menores temperaturas registradas. Nesse caso, fica evidente a importância da vegetação arbórea das Unidades de Conservação para a manutenção das menores temperaturas dentro da zona urbana.

Figura 27. Temperatura de Superfície na Zona Urbana de São Luís – 23 de junho de 2020



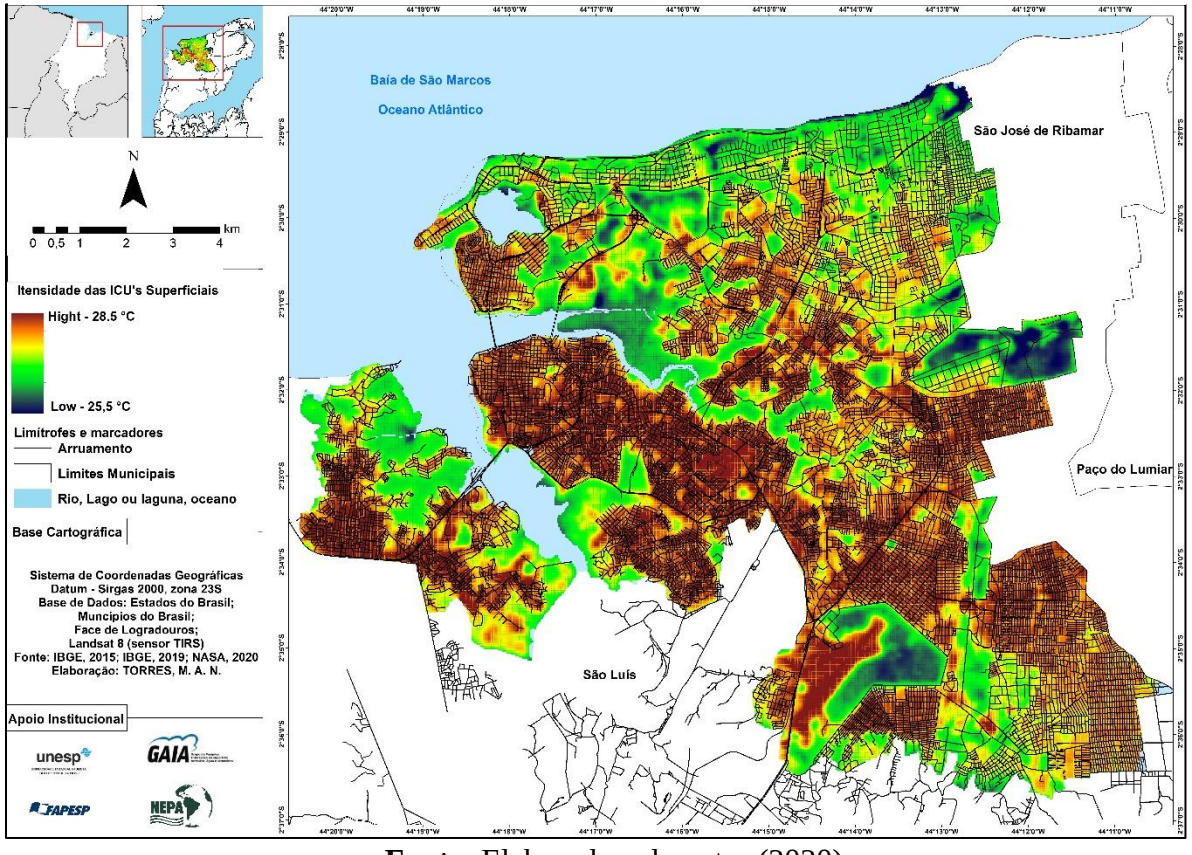
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 26. NDVI – 23 de junho de 2020



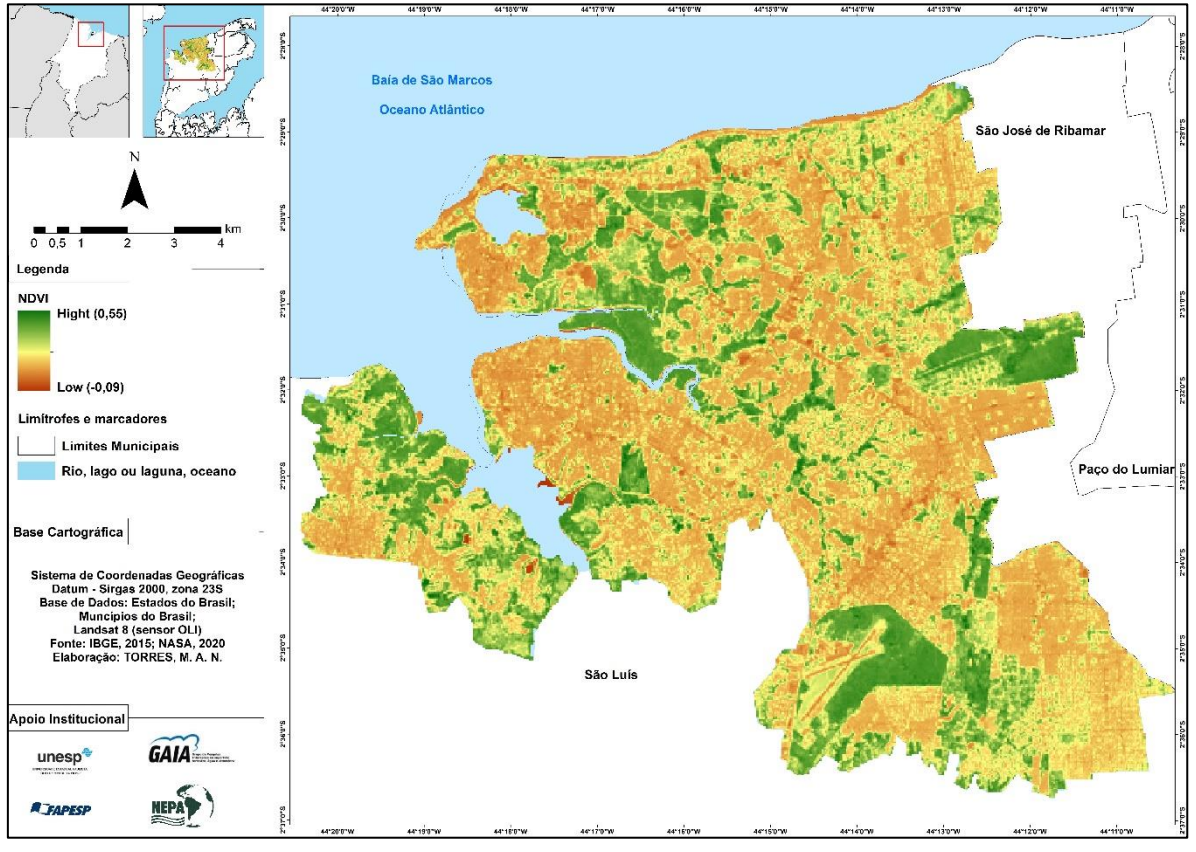
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 29. Temperatura de Superfície na Zona Urbana de São Luís – 17 de agosto de 2020



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 28. NDVI – 17 de agosto de 2020



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

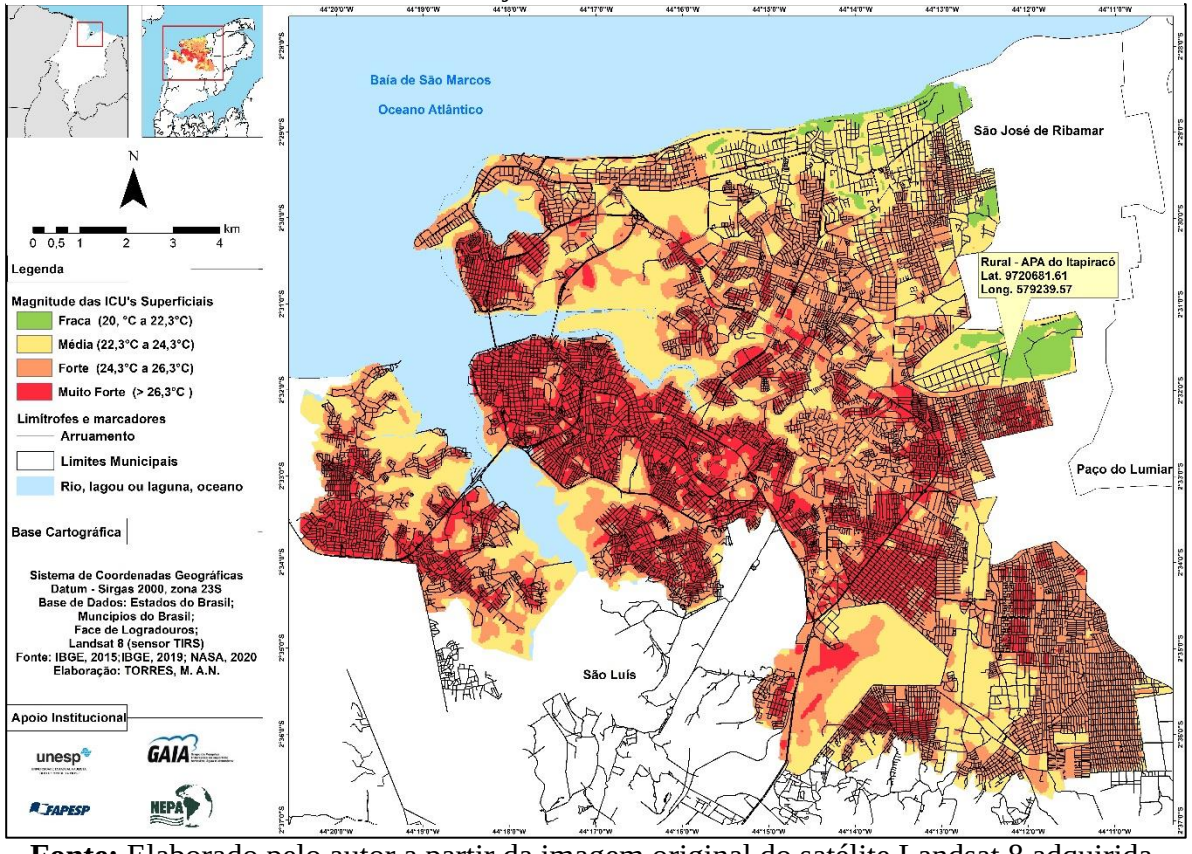
Os estudos das ICUs, em sua grande maioria, se preocupam com a análise da distribuição das temperaturas, entretanto, se faz necessário um aprofundamento mais detalhado ao estudar as intensidades das temperaturas de superfícies das áreas urbanas.

Conforme destacado acima, para fins de se entender melhor o estudo das intensidades e magnitudes das ilhas de calor, Amorim (2020) destaca o estudo de Fenández García (1996) que apesar de considerar o estudo das ilhas de calor atmosféricas e a realidade de cidades da Espanha, segue sendo utilizados nas pesquisas da climatologia urbana brasileira.

Segundo Fernández García (1996), s ilhas de calor atmosféricas podem ser classificadas: como as de fraca magnitude, quando as diferenças entre o urbano e o rural variam de 0°C a 2°C; de média magnitude, quando as diferenças variam de 2°C a 4°C; de forte magnitude entre 4°C a 6°C e de muito forte magnitude, acima de 6°C. Tais intensidades são obtidas através da subtração dos valores de temperaturas urbanas em relação ao ponto de menor temperatura rural.

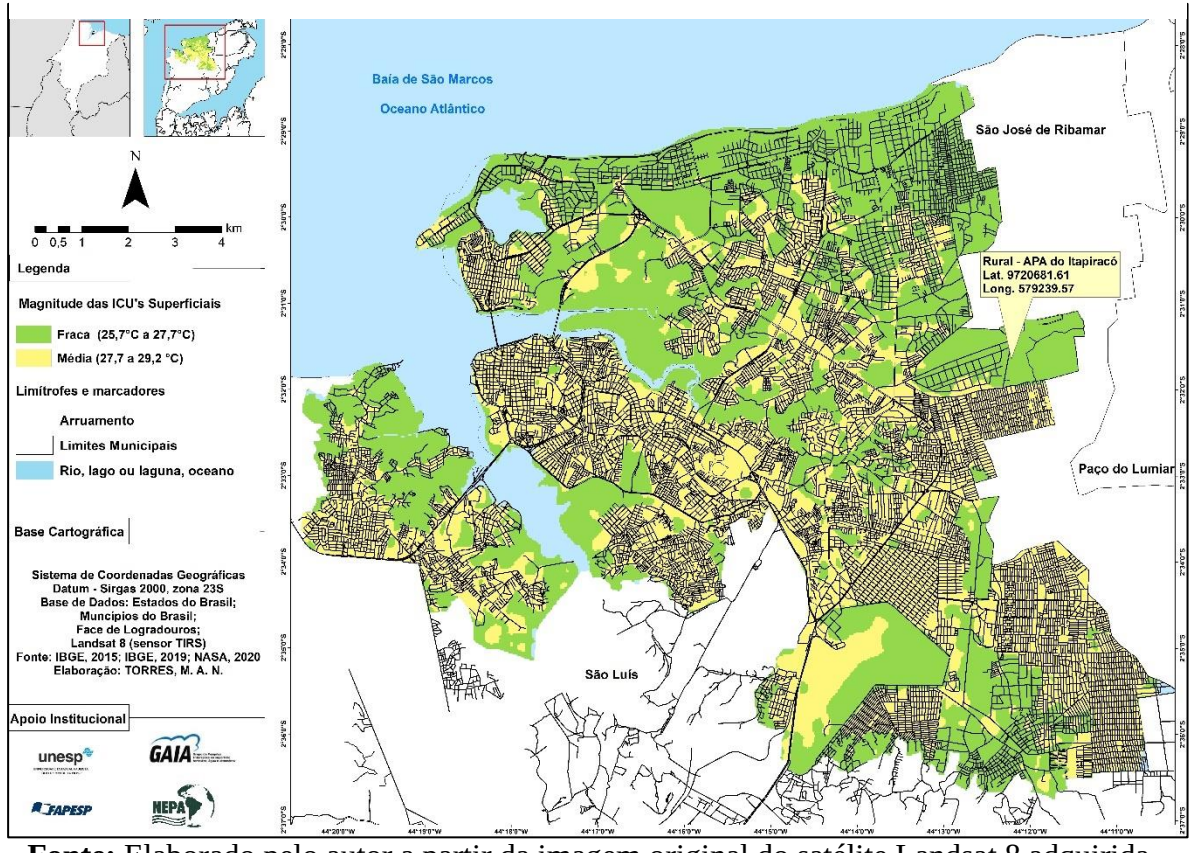
O conceito de intensidade e magnitude das ilhas de calor, segundo Fernández García (1996), foi utilizado na presente pesquisa, a partir das imagens de junho e de agosto de 2020 (Figuras 26 e 28) e se considerou como área de menor temperatura superficial a APA do Itapiracó (Figuras 30 e 31). A imagem de 23 junho de 2020 (Figura 30) apresentou ICUs de fraca, média, forte e muito forte magnitudes. A imagem do dia 17 de agosto (Figura 31) apresentou ICUs de fraca e média magnitudes. A tabela 5 demonstra os quantitativos das ICUs das duas imagens estudadas.

Figura 30. Magnitudes das ilhas de calor superficiais na Zona Urbana de São Luís – 23 de junho de 2020



Fonte: Elaborado pelo autor a partir da imagem original do satélite Landsat 8 adquirida em http://earthexplorer.usgs.gov/

Figura 31. Magnitude das ilhas de calor superficiais na Zona Urbana de São Luís – 17 de agosto de 2020



Fonte: Elaborado pelo autor a partir da imagem original do satélite Landsat 8 adquirida em http://earthexplorer.usgs.gov/

A análise das figuras 30 e 31 ressaltam como as áreas de maiores magnitudes estão relacionadas com as áreas de desenvolvimento mais antigo da cidade, as quais se inserem as áreas de ocupação espontânea, os grandes conjuntos habitacionais onde predominam grande adensamento urbano e a insuficiência de áreas vegetadas.

As ICUs de fraca magnitude na análise da imagem de junho de 2020 (Figura 30), está relacionada aos ambientes com vegetação arbórea, que dizem respeito as áreas de proteção ambiental de uso sustentável. Observa-se também que existe formação de ICUs de fraca magnitude no setor norte da zona urbana. Vale destacar que o setor norte da área de estudo é onde se localizam as áreas com o melhor de planejamento urbano que São Luís dispõe, em que se respeitam os limites de distanciamento entre as edificações e os lotes, e as quadras são bem definidas.

Como já destacado, foi observado que no mês de junho, no qual ocorreram precipitações em quase todos os dias (187,2mm), as magnitudes das ICUs foram maiores. Por outro lado, o mês de agosto teve um nível muito baixo de precipitações (17,4mm) (CEMADEN, 2020; NUGEO, 2020).

Ao considerar que para a cidade de São Luís, a relação da magnitude das ICUs se destaca de forma mais acentuada durante a análise da imagem no qual ocorreram mais precipitações (Figura 30), pode-se considerar que esse fenômeno ocorreu devido aos fatores de resfriamento diferenciado que as precipitações causam no tecido urbano. Em períodos de precipitações contínuas, as características de acúmulos de água em alguns ambientes servem como fatores amenizadores em relação a outros, resultando em maiores diferenças das magnitudes entre as ICUs.

Na tabela 6, a partir da imagem de junho de 2020 (Figura 30), verifica-se a predominância dos maiores percentuais das ICUs de forte magnitude com valor de 44,9%, seguido de ICUs de média Magnitude com 29%, muito forte magnitude com 23,7%, e de fraca magnitude com 2,3%. Na imagem de agosto de 2020 (Figura 31, 54,2% da área registrou ICUs de média magnitude e de 45,8% de fraca magnitude.

Na análise dos dados quantitativos das duas imagens (Tabelas 6), observa-se que as intensidades de maior predominância são as de forte e média magnitude. Para a ICUs de 23 de junho de 2020 somam mais de 70% (forte e média magnitudes) do total das magnitudes registradas. Para as ICUs de 17 de agosto de 2020, a que mais se destaca é a de média magnitude, que sozinha registra mais de 50% do total distribuído dentro da zona urbana.

Tabela 6. Quantitativo das áreas em relação as magnitudes das ilhas de calor

Magnitudes da ICUs superficiais – 23 de Junho de 2020	
Magnitudes	Porcentagem (%)
Fraca	2,3%
Média	29,0%
Forte	44,9%
Muito Forte	23,7%
Magnitudes da ICUs superficiais – 17 de agosto de 2020	
Fraca	45,8%
Média	54,2%

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das imagens originais do satélite Landsat 8 adquiridas em http://earthexplorer.usgs.gov/

Outro fator importante que se deve levar em consideração, e que ajuda a reforçar o nível de detalhamento sobre as ICUs, está no fato de se mensurar em qual classes de uso da terra as diferentes magnitudes mais se relacionam.

A tabela 7 demonstra que as áreas urbanas são responsáveis em grande parte dos valores das ICUs de muito forte e forte magnitudes, observados no dia 23 de Junho de 2020. Esses dois tipos de magnitudes são os que mais apareceram na análise e juntos somam um total de 58,9 % do total das ICUs. As ilhas de calor de média magnitude são representadas, em grande maioria, pelas classes da área urbana (9,2%), vegetação arbustiva (7,4%), e vegetação densa (4,7%). A ICU de fraca magnitude representa apenas 2,3% do total das ICUs, sendo que a vegetação densa se destaca como a que mais possui ICU de fraca magnitude (1,2%).

Tabela 7. Quantitativos de classes de uso da terra e Magnitudes das ICUs - 23 de junho de 2020

Classes de uso da terra	**Área**		**Magnitudes das Ilhas de Calor Superficiais (%)**			
	Km	%	fraca	média	forte	muito forte
Área urbana	101,9	68,3	0,2	9,2	35,8	23,1
Vegetação Arbustiva	20,1	13,5	0,5	7,4	5,1	0,4
Vegetação Densa	15,8	10,6	1,2	6,7	2,5	0,1
Área de Manguezal	8,5	5,7	0,0	4,7	0,9	0,0
Solo Exposto	1,6	1,1	0,1	0,4	0,4	0,2
Praia	1,2	0,8	0,2	0,4	0,2	0,0

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das imagens originais do satélite Landsat 8 adquiridas em http://earthexplorer.usgs.gov/

Na tabela 7 verifica-se que as áreas urbanas são responsáveis pela maioria dos valores das ICUs de média magnitude (49,8%). As ilhas de calor de fraca magnitude também são representadas em sua maioria pelas áreas urbanas (18,5%) seguidas pela vegetação arbustiva (10,5%), vegetação densa (10,7%) e área de manguezal (5,65%).

Vale destacar que para a análise do dia 17 de agosto de 2020 (Tabela 8), as classes de vegetação (densa, arbustiva e manguezal) obtiveram percentuais menores do que os da área urbana. Pode-se ponderar que isso ocorre devido a área total de classe de uso urbano ser bem superior aos das diferentes classes de vegetação, e que neste sentindo, devido à baixa amplitude térmica das ICUs registradas na data citada, resultou no surgimento de médias e fracas magnitudes. Por esse fato, o urbano aparece em vantagem em relação as classes de vegetação que possuem área total bem menor.

Tabela 8. Quantitativos de classes de uso da terra e Magnitudes das ICUs - 17 de agosto de 2020

Classes de uso da terra	**Área**		**Magnitudes das Ilhas de Calor**	
	Km²	%	fraca	média
Área Urbana	101,8	68,4	18,5	49,8
Vegetação Arbustiva	20,0	13,5	10,5	3,0
Vegetação Densa	15,8	10,6	9,8	0,8
Área de Manguezal	8,5	5,7	5,6	0,1
Solo Exposto	1,6	1,1	0,5	0,6
Praia	1,2	0,8	0,8	0,0

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das imagens originais do satélite Landsat 8 adquiridas em http://earthexplorer.usgs.gov/

5.2. Ilhas de calor atmosféricas

5.2.1. Análise de dados por meio de pontos fixos

A representação espacial da temperatura nas cidades tem fundamental papel para a compreensão não só da sua distribuição, mas dos possíveis fatores que as influenciam, como os diferentes uso e ocupação da terra, materiais construtivos diversos, densidade diferenciada de cobertura vegetal arbórea, dentre outros fatores (AMORIM, 2020).

Para Zavatinni e Boin (2013) a obtenção de dados meteorológicos por estações meteorológicas e por meio de diferentes sensores, a partir da distribuição em um território, permite o tratamento e a representação espacial da realidade climática da área em análise.

A análise climática por meio de pontos fixos é uma das mais utilizadas desde os primórdios da climatologia em seus diferentes segmentos, e na climatologia urbana não é diferente. A partir da análise por meio de pontos fixos, é possível utilizar um conjunto de técnicas para o estudo do clima urbano e das ICU. Dentre elas, Amorim (2020; 2019) destaca os painéis espaço temporais, as tabelas dinâmicas, e as técnicas de modelagem espacial. Estas estão presentes em muitos trabalhos no âmbito da Climatologia Geográfica na atualidade.

Os dados registrados em pontos fixos permitem estudar a complexidade da dinâmica climática urbana com o maior número possível de unidades amostrais. Esse tipo de análise é uma das mais eficientes para os estudos de climatologia urbana, quando se trata da análise do canal termodinâmico das cidades, e existe desde as descobertas feitas por Luke Howard (1818) no século XIX e se estende nos séculos XX e XXI, com muitos pesquisadores que fazem uso dessa técnica para o estudo das ICU (GARTLAND, 2010).

Vale destacar que o uso de registros em pontos fixos, mesmo sendo bastante utilizados na climatologia urbana, possui algumas limitações. Fialho, Fernandes e Correia (2019) destacam que a análise de ICU por pontos fixos possuem limitações no que diz respeito a definição dos pontos amostrais, ao alto custo operacional e a logístico referente ao custo dos sensores e os gastos com a instalação e coleta de dados. Além disso, a partir do mapeamento prévio da cartografia urbana, e principalmente na análise das grandes cidades, dificilmente o pesquisador terá disponível o número necessário de sensores para a análise que retrate a grande complexidade do ambiente urbano.

Todavia, os registros dos elementos do clima em pontos fixos trazem grandes vantagens para o estudo de ICU, pois como são realizados de forma simultânea, conseguem

descrever de forma mais completa as características da atmosfera no decorrer do dia, em diferentes episódios e condições sinóticas.

Outras técnicas utilizadas para o estudo das ICU não permitem entender a dimensão da dinâmica climática urbana durante um longo período, tais como transectos móveis (medidas itinerantes) que são inviáveis por serem realizados diariamente e serem mais adequados para os registros noturnos, quando a atmosfera não experimenta mudanças naturais rápidas. Esta forma de registro tem a vantagem de permitir maior número de registros dentro do urbano, pois as medições são realizadas em um curto espaço de tempo (não são exatamente simultâneos), abrangendo mais pontos dentro do urbano em sua maioria com a ajuda de automóveis (GARTLAND, 2010; FIALHO, FERNANDES E CORREIA, 2019).

A evolução dos sistemas de registradores dos elementos do clima a partir dos anos 2000, ajudou nas pesquisas em climatologia de forma geral e nas pesquisas relacionadas ao clima urbano, pois antes dependia de forma quase que integral da coleta manual do pesquisador. As análises feitas na atualidade com os sensores e estações automatizados não dependem mais da disponibilidade logística das pessoas e do tempo do pesquisador para coleta de dados. Os sensores são programados para funcionar dentro da escala temporal de coleta de dados (diários, horária, minuto, segundos etc.) e o pesquisador se limita em realizar a coleta dos dados registrados em período definidos, sendo que em alguns casos, a partir de sistemas mais modernos, os dados são enviados diretamente para repositórios virtuais, disponibilizando os dados a qualquer horário, basta possuir conexão com a internet.

Sendo assim, para melhor desenvolvimento dessa fase da pesquisa, foi dividida em três partes: a primeira diz respeito aos critérios de seleção das unidades amostrais (pontos fixos), o que refletiu na instalação dos sensores e estações meteorológicas; a segunda versa sobre o estudo da estatística descritiva dos dados, tendo em vista que mediante ao grande número de dados analisados se fez necessário para um melhor entendimento das relações entre as unidades amostrais no universo de análise; a terceira discorre a respeito do estudo das intensidades e magnitudes das ICU.

5.2.2. Identificação e Caracterização dos Pontos Fixos

Após a identificação e caracterização do espaço urbano e da análise das ilhas de calor superficiais por meio de sensoriamento remoto (itens 2.3, 2.3.3 e 4.2), se obteve as bases para a constituição da etapa de análise das ilhas de calor atmosféricas a partir de pontos fixos, pois

estas deram os subsídios para a instalação de estações e sensores de temperatura em diferentes áreas da cidade.

A forma de distribuição dos pontos fixos na cidade não depende somente das distâncias efetivas entre os diversos sensores e estações, mas também das características predominantes nos diferentes setores da cidade, considerando os tipos de uso e ocupação da terra, associados às características do relevo e da vegetação (AMORIM, 2020).

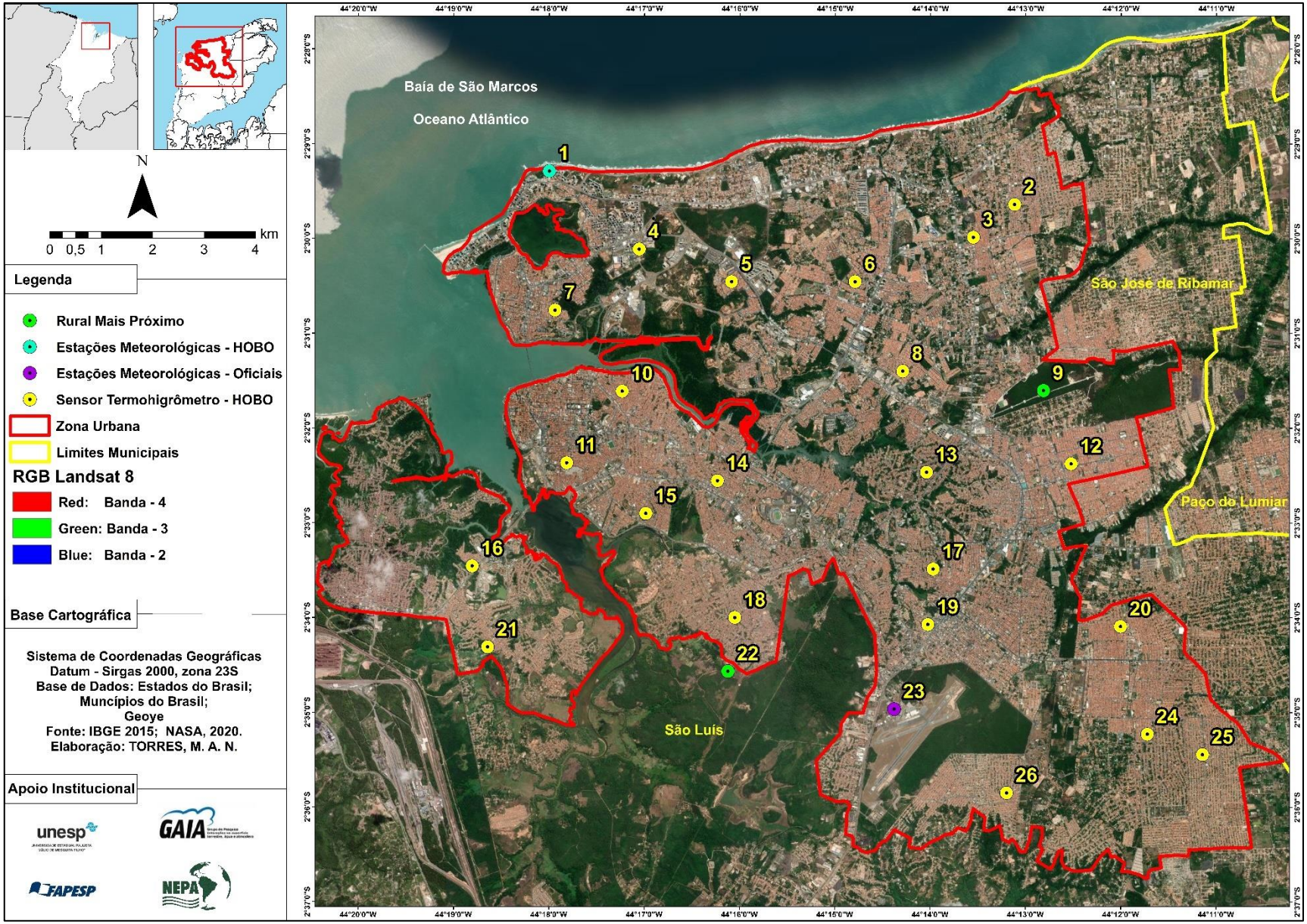
A necessidade de se buscar um número maior de estação e sensores para as análises se deu a partir de outros trabalhos que discutiram o clima urbano de São Luís, bem como Araújo (2001), Araújo (2014), Pinheiro (2018). Nestas pesquisas se percebeu que para o tipo de análise proposta, devem ser destacados alguns pontos: 1- em nenhum dos trabalhos se buscou fazer uma análise mais detalhada sobre as ICU; 2- todos os trabalhos tiveram um número reduzido de sensores de temperaturas que pudessem caracterizar de forma mais abrangente o sistema termodinâmico da cidade, ficando restritos a poucas estações oficiais e alguns poucos sensores, excluindo-se Pinheiro (2018) que também fez uso de transectos urbanos para análise da campo termodinâmico da cidade.

A literatura nos remete a diferentes formas de caracterização do espaço urbano para a análise das ICU. São consideradas técnicas que envolvem o sensoriamento remoto para simples diferenciação do ambiente construído para o não construído, técnicas complexas que analisam por meio de geoprocessamento aplicado, levando em consideração muitas variáveis para o processamento, a definição das áreas urbanas, as delimitações territoriais organizadas previamente por órgãos oficiais, o conhecimento empírico do autor de acordo com sua realidade de campo e, as propostas metodológicas mais recentes, conforme aquelas proposta por Stewart e Oke (2012), sobre zonas Climáticas Locais (*Local Climate Zones* - LCZ).

Conforme Fialho, Fernandes e Correia (2019) de forma geral não existe um padrão específico para a caracterização e identificação tanto do ambiente urbano quanto da seleção das unidades amostrais nos estudos das ICU.

Na presente pesquisa, conforme já explicado no item 3, foi utilizado um conjunto de estações meteorológicas e sensores, dentre eles, estações meteorológicas oficiais e estações e sensores instalados em atividades de campo, somando o total de 26 ao longo da zona urbana de São Luís, como evidenciado na Figura 32.

Figura 32. Localização dos sensores e estações meteorológicas em São Luís



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Uma das questões mais importantes nos estudos das ICU está na identificação dos pontos rurais, pois seja para a medição da intensidade ou das magnitudes das ICU, desde o período clássico dos estudos das ilhas de calor urbanos que datam do século XIX, até o período atual, a maioria é pautada na diferenciação do ambiente urbano x rural (STEWART, 2008).

Pesquisas relacionadas às ICU de diferentes áreas do globo, elaboradas por diferentes tipos de pesquisadores descrevem os ambientes rurais para o estudo das ICU de várias formas. Os exemplos vão desde áreas de preservação ambiental, ambientes agrícolas, áreas com menor concentração das áreas construídas, dentro outros (STEWART, 2007). No Brasil, Fialho, Fernandes e Correia (2019) também descrevem que existe uma mescla muito grande das definições do rural.

Como destacado por Stewart (2007), esse tipo de problema metodológico ocorre devido a não padronização das formas de se descrever melhor o ambiente urbano, se limitando apenas ao contexto da análise empírica, na grande maioria dos casos.

Vale destacar que mesmo com os avanços metodológicos propostos por Stewart e Oke (2012), a partir da construção da abordagem acerca das *Local Climate Zones* (LCZ), a definição do rural, ainda carece, em parte, da sensibilidade do pesquisador quanto ao seu objeto e área de pesquisa. O importante é que o ponto escolhido para o cálculo da intensidade e definição da magnitude das ilhas de calor, se aproxime das características originais da área onde a cidade está inserida ou que tenha menor quantidade de construções.

Na presente pesquisa, foi definido como ponto de referência não construído, para o cálculo da intensidade das ilhas de calor, o ponto 9 (quadro 9), o qual encontra-se localizado sobre as coordenadas Lat. 9720692.34 e Long. 587431.63, dentro dos limites de uma Unidade de Conservação (UC) de Uso Sustentável, a Área de Proteção Ambiental (APA) do Itapiracó. A UC é caracterizada pela presença de vegetação arbórea, sendo um remanescente de vegetação natural, localizada na porção leste do limite da zona urbana, conforme demonstrado na Figura 32 (ponto 9).

Para a descrição e escolha dos demais pontos, foram levados em consideração as características de habitação, a densidade da área construída, as formas de ocupação, além do histórico de ordenamento territorial dos bairros. Estes parâmetros foram obtidos através das análises do uso e ocupação realizados por meio de sensoriamento remoto (item 4.2.2), os padrões de uso e ocupação da terra propostos pelo INCID (2013) referentes a lei de zoneamento urbano de São Luís (item 2.3.1). Os itens avaliados e as características de cada ponto estão destacados no quadro 9.

Vale ressaltar que a escolha do período para as análises das ICU não deve estar direcionada para períodos de intensa precipitação, devido ao fato de as Ilhas de Calor se manifestarem de forma mais precisa durante períodos de estabilidade dos tipos de tempo.

Conforme Zavattini e Boin (2013), um dos principais fatores climáticos que provocam grandes modificações nos tipos de tempo em muitas localidades do Brasil são as chuvas. As precipitações na cidade de São Luís se concentram com grande proporção no primeiro semestre, sendo que mais de 70% (dependendo da variabilidade climática interanual) das precipitações se concentram nesse período (FEITOSA e TROVÃO, 2006; ARAÚJO, 2014; PINHEIRO, 2018; INMET, 2018).

Ao levar em consideração as questões apresentadas, optou-se por realizar uma análise episódica do mês de setembro de 2020, tendo em vista que conforme o INMET (2018), este mês foi um dos meses que apresentou o menor total de precipitação, o que demonstrou a exequibilidade para a análise das ICU durante esse mês.

Quadro 9. Caraterização urbana e ambiental dos pontos fixos

		
Ponto 1. Coord. UTM: Lat. 9724960.36, Long. 577825.78. Bairro: Ponta do Farol. Relevo: Tabuleiro costeiro. Elevação: 10m. Contexto de ocupação: Loteamento. Características: Bairro planejado; condomínios verticalizados de alto padrão; intensa verticalização em toda vizinhança	**Ponto 2. Coord. UTM:** Lat. 9724311.55, Long. 586870.84. Bairro: Divinéia. Relevo: Tabuleiro Costeiro. Elevação: 37m. Contexto de ocupação: ocupação espontânea. Características: Bairro sem planejamento urbano; casas de baixo padrão construtivo, não existe padrão na dimensão e tamanho das casas e dos terrenos; casas muito próximas umas das outras (dividem a mesma parede)	**Ponto 3. Coord. UTM:** Lat. 9723673.50, Long. 586068.98. Bairro: Habitacional Turu. Relevo: Tabuleiro Costeiro. Elevação: 50m. Contexto de ocupação: Conjunto habitacional. Características: Bairro planejado; casas de médio padrão, os terrenos das casas do bairro têm a mesma dimensão, o padrão de arruamento é ordenado por quadras e lotes.
		
Ponto 4. Coord. UTM: Lat. 9723443.00, Long. 579570.00. Bairro: Renascença. Relevo: Tabuleiro Costeiro. Elevação: 16m. Contexto de ocupação: Loteamento. Características: Bairro planejado, prédios de alto padrão, intensa verticalização em toda vizinhança	**Ponto 5. Coord. UTM:** Lat. 9722812.72. Long. 581366.55. Bairro: Cohafuma. Relevo: Tabuleiro Costeiro. Elevação: 19m. Contexto de ocupação: Loteamento. Características: Bairro planejado; casas de médio padrão, os terrenos das casas do bairro têm a mesma dimensão, o padrão de arruamento é ordenado por quadras e lotes.	**Ponto 6. Coord. UTM:** Lat. 9722811.39, Long. 583768.67. Bairro: Cohaserma. Relevo: Tabuleiro Costeiro. Elevação: 44m. Contexto de ocupação: Loteamento. Características: Bairro planejado, casas de médio padrão, os terrenos das casas do bairro têm a mesma dimensão, o padrão de arruamento é ordenado por quadras e lotes.
		
Ponto 7. Coord. UTM: Lat. 9722259.59, Long. 577935.80. Bairro: Jardim São Francisco. Relevo: Tabuleiro Costeiro. Elevação: 7m. Contexto de ocupação: Loteamento. Características: Bairro planejado, casas de médio padrão, os terrenos das casas do bairro têm a mesma dimensão, o padrão de arruamento é ordenado por quadras e lotes.	**Ponto 8. Coord. UTM:** Lat. 9721068.47, Long. 584694.80. Bairro: Residencial Pinheiros. Relevo: Tabuleiro Costeiro. Elevação: 28m. Contexto de ocupação: Conjunto Habitacional. Características: Bairro planejado, casas de médio padrão, os terrenos das casas do bairro têm a mesma dimensão, o padrão de arruamento é ordenado por quadras e lotes.	**Ponto 9. Coord. UTM:** Lat. 9720692.34, Long. 587431.63. Bairro: Itapiracó (INMET). Relevo: Tabuleiro Costeiro. Elevação: 53m. Contexto de ocupação: Área de proteção ambiental (APA). Características: APA do Itapiracó - Área de vegetação natural, uso institucional público e para a prática de lazer e esportes.

		
Ponto 10. Coord. UTM: Lat. 9720681.61, Long. 579239.57. Bairro: Liberdade. Relevo: Litoral de Mangues e rias. Elevação: 6m. Contexto de ocupação: Espontânea. Características: Bairro sem planejamento urbano; casas de baixo padrão, não existe padrão da dimensão e tamanho das casas e dos terrenos; casas muito próximas umas das outras (dividem a mesma parede).	**Ponto 11. Coord. UTM:** Lat. 9719290.29, Long. 578162.69. Bairro: Madre Deus – Centro. Relevo: Tabuleiro Costeiro. Elevação: 28m. Contexto de ocupação: Bairro de ocupação do século XVII. Características: Bairro onde mesclam-se habitações do período colonial, imperial e habitações mais recentes.	**Ponto 12. Coord. UTM:** Lat. 9719269.99, Long. 587966.69. Bairro: Cohatrac I. Relevo: Tabuleiro Costeiro. Elevação: 45m. Contexto de ocupação: Conjunto Habitacional. Características: Bairro planejado, casas de médio padrão, os terrenos das casas do bairro têm a mesma dimensão, o padrão de arruamento é ordenado por quadras e lotes.
		
Ponto 13. Coord. UTM: Lat. 9719106.85, Long. 585155.91. Bairro: Cruzeiro do Anil. Relevo: Tabuleiro Costeiro. Elevação: 33m. Contexto de ocupação: Espontânea. Características: Bairro sem planejamento urbano; casas de baixo padrão, não existe padrão da dimensão e tamanho das casas e dos terrenos; casas muito próximas umas das outras (dividem a mesma parede).	**Ponto 14. Coord. UTM:** Lat. 9718940.88, Long. 581090.14. Bairro: João Paulo. Relevo: Tabuleiro Costeiro. Elevação: 23m. Contexto de ocupação: Espontânea. Características: Bairro sem planejamento urbano; casas de baixo padrão, não existe padrão da dimensão e tamanho das casas e dos terrenos; casas muito próximas umas das outras (dividem a mesma parede), bairro inserido dentro de um dos setores do comércio da cidade.	**Ponto 15. Coord. UTM:** Lat. 9718307.26, Long. 579699.58. Bairro: Bairro de Fátima. Relevo: Tabuleiro Costeiro. Elevação: 11m. Contexto de ocupação: Espontânea. Características: Bairro sem planejamento urbano; casas de baixo padrão, não existe padrão da dimensão e tamanho das casas e dos terrenos; casas muito próximas umas das outras (dividem a mesma parede).
		
Ponto 16. Coord. UTM: Lat. 9717286.20, Long. 576323.18. Bairro: Vila Bacanga. Relevo: Tabuleiro Costeiro. Elevação: 28m. Contexto de ocupação: Espontânea. Características: Bairro sem planejamento urbano; casas de baixo padrão e muito próximas umas das outras (dividindo parede); sem padrão da dimensão e tamanho das casas e terrenos.	**Ponto 17. Coord. UTM:** Lat. 9717223.74, Long. 585284.40. Bairro: João de Deus. Relevo: Tabuleiro Costeiro. Elevação: 46m. Contexto de ocupação: Espontânea. Características: Bairro sem planejamento urbano; casas de baixo padrão e muito próximas umas das outras (dividindo parede); sem padrão da dimensão e tamanho das casas e terrenos.	**Ponto 18. Coord. UTM:** Lat. 9716282.18, Long. 581428.58. Bairro: Coroadinho. Relevo: Tabuleiro Costeiro. Elevação: 18m. Contexto de ocupação: Espontânea. Características: Bairro sem planejamento urbano; casas de baixo padrão, não existe padrão da dimensão e tamanho das casas e dos terrenos; casas muito próximas umas das outras.

		
Ponto 19. Coord. UTM: Lat. 9716145.89, Long. 585181.46. Bairro: São Cristóvão. Relevo: Tabuleiro Costeiro. Elevação: 44m. Contexto de ocupação: Loteamento. Características: Bairro planejado, casas de médio padrão, os terrenos das casas do bairro têm a mesma dimensão, o padrão de arruamento é ordenado por quadras e lotes.	**Ponto 20. Coord. UTM:** Lat. 9716107.34, Long. 588928.94. Bairro: Cidade Operária. Relevo: Tabuleiro Costeiro. Elevação: 47m. Contexto de ocupação: Conjunto Habitacional. Características: Bairro planejado, casas de médio e baixo padrão, os terrenos das casas do bairro têm a mesma dimensão, o padrão de arruamento é ordenado por quadras e lotes.	**Ponto 21. Coord. UTM:** Lat. 9715709.47, Long. 576624.47. Bairro: Vila Embratel. Relevo: Tabuleiro Costeiro. Elevação: 26m. Contexto de ocupação: Espontânea. Características: Bairro sem planejamento urbano; casas de baixo padrão, não existe padrão da dimensão e tamanho das casas e dos terrenos; casas muito próximas umas das outras (dividem a mesma parede).
		
Ponto 22. Coord. UTM: Lat. 9715236.74, Long. 581293.70. Bairro: Coroadinho – Bom Jesus. Relevo: Tabuleiro Costeiro. Elevação: 16m. Contexto de ocupação: Parque Estadual. Características: Área de Proteção Ambiental (Parque Estadual do Bacanga) nas proximidades de bairro de ocupação espontânea.	**Ponto 23. Coord. UTM**: Lat. 9714499.54, Long. 584524.22. Bairro: Tirirical (Aeroporto Internacional de São Luís). Relevo: Tabuleiro Costeiro. Elevação: 52m. Contexto de ocupação: Loteamento. Características: Aeroporto Internacional de São Luís.	**Ponto 24. Coord. UTM:** Lat. 9714011.75, Long. 589448.81. Bairro: Jardim América. Relevo: Tabuleiro Costeiro. Elevação: 56m. Contexto de ocupação: Loteamento. Características: Bairro planejado, casas de médio padrão, os terrenos das casas do bairro têm a mesma dimensão, o padrão de arruamento é ordenado por quadras e lotes.
		
Ponto 25. Coord. UTM: Lat. 9713614.66, Long. 590521.52. Bairro: Cidade Olímpica. Relevo: Tabuleiro Costeiro. Elevação: 44m. Contexto de ocupação: espontânea. Características: Bairro sem planejamento urbano; casas de baixo padrão, não existe padrão da dimensão e tamanho das casas e dos terrenos; os padrões mesclam-se entre arruamento ordenado por quadras e lotes e sem padrão de arruamento.	**Ponto 26. Coord. UTM:** Lat. 9712872.78, Long. 586710.47. Bairro: São Raimundo. Relevo: Tabuleiro Costeiro. Elevação: 57m. Contexto de ocupação: Loteamento. Características: Bairro planejado, casas de médio e baixo padrão, os terrenos das casas do bairro têm a mesma dimensão, o padrão de arruamento é ordenado por quadras e lotes.	

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados de campo e USGS (2000), INCID (2013), IBGE 2019, Google Earth Pró (2020).

5.2.3. Estatística Descritiva dos Dados de Temperatura do Ar – setembro de 2020.

Para Gatti e Feres (1975, p.12) a análise estatística serve inicialmente para a "[...] proposição de métodos inferenciais, que permitam conclusões que transcendem os dados imediatos obtidos". Ainda segundo os autores (p.12), "[...] ela se apresenta como um sistema formal, com modelos matemáticos que permitem o tratamento de dados observados com vistas a conclusões e generalizações. Ela é um composto de métodos aplicados e de teoria matemática".

Quando se tem grandes quantidades de dados, derivados de qualquer tipo de análise, sugere-se que esses dados sejam analisados com mais rigor do ponto de vista da abordagem estatística (GATI, FERES, 1975). Na Geografia e em parte da ciência climatológica (a rigor daquela feita por geógrafos), ainda existe um grande problema metodológico por parte dos pesquisadores. Isso se dá devido ao fato de não se utilizar estudos estatísticos para o entendimento inicial (estatística descritiva exploratória), ou técnicas de estatística inferencial, que demonstrem a relação entre diferentes dados de forma mais adequada do ponto de vista do método matemático.

Em parte, essa questão ocorre devido a problemas relacionados a formação inicial dos geógrafos, pois devido ao fato da ciência estar enquadrada na área de ciências humanas, existe por sua vez um entendimento que leva a uma relação de conflito para com a necessidade de análises estatísticas nas pesquisas.

Sant'Anna Neto (2001), ao formular as bases teóricas para o estudo da Geografia do Clima, indica que parte dos climatologistas que atendem a Geografia (análise do cenário nacional) não se preocupa com o conhecimento e aplicação de técnicas estatísticas para o desenvolvimento das pesquisas, o que por sua vez acaba por ser um sério problema que ocasiona uma limitação no desenvolvimento da ciência climática dentro da Geografia.

Zavattini e Boin (2013), ao analisarem o tratamento estatístico do clima, afirmam que em grande parte os geógrafos tratam esse tipo de análise de forma errônea, o que leva ao desinteresse generalizado, e isso acontece pois não basta a operacionalização dos métodos e técnica, mas depende explicitamente do entendimento do que se está sendo desenvolvido.

Neste sentido, é importante destacar que as análises estatísticas nunca estiveram completamente distantes dos estudos geográficos ou da climatologia geográfica. Estas análises em alguns momentos negligenciadas ou retiradas de cena, atualmente ganham grande importância nos estudos climatológicos, em consequência, nos estudos de clima urbano.

A pesquisa realizada por Silvestre (2016) traz importantes contribuições sobre as técnicas estatística e sua utilização dentro da climatologia geográfica. Para a autora existe uma dicotomia básica do que é empregado enquanto a estatística na climatologia feita por geógrafos daquela utilizada pelos meteorologistas.

Silvestre (2016) ao fazer uma releitura das pesquisas, no que é entendido como climatologia estatística, as contribuições geográficas até o momento de seu estudo eram muito limitadas, com muitos autores que até fazem uso de diversas técnicas estatísticas, mas nas revisões de literatura não existe uma preocupação com uma empregabilidade mais rigorosa dos procedimentos.

Silvestre (2016), avalia as pesquisas em climatologia geográfica que fazem uso de estatística por meio de uma revisão sistêmica da climatologia brasileira, a partir dos anais de evento do Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica e da Revista Brasileira de Climatologia. Essas são duas das principais formas de divulgação de pesquisas da climatologia geográfica no cenário nacional e, em consequência, da climatologia urbana.

Neste sentido, a autora identificou que existe um número razoável de objetivos relacionados às técnicas estatísticas na climatologia geográfica, dentre elas destacam-se: o preenchimento de falhas, a análise exploratória de dados, a escolha de anos padrões, a avaliação da existência de tendências em séries, a avaliação da existência de rupturas e homogeneidades em séries, a modelagem no tempo em uma única série, a relação de duas séries, a modelagem no espaço, a interpolação espacial, a organização de dados em regiões homogêneas e proposição de classificação climática e ao mapeamento da vulnerabilidade socioambiental.

Neste sentido, a presente pesquisa realiza um estudo dos dados com a finalidade de descrever sua natureza dentro da amostra utilizada na pesquisa, o conjunto de 26 pontos fixos no período de setembro de 2020. Foram analisados um total de 18.870 dados a partir dos 26 pontos estudados. Para as referidas análises foi utilizado os softwares *Excel* e *Statistica* 7.

A tabela 9 demonstra o conjunto de registros com base no posicionamento e dispersão em relação as características das temperaturas registradas na pesquisa em São Luís.

Na análise da tabela 9 observa-se que, para o período de análise, as características das temperaturas nos pontos de coletas tendem a apresentar uma inclinação a direita em sua distribuição (relacionado a curtose dos dados), tendo a média como o parâmetro de maior valor, descrevendo uma assimetria positiva dos dados. Desta forma, visando minimizar os efeitos dos valores extremos, comuns a esse tipo de dados, optou-se por utilizar medidas de posição como a mediana e quartis, e para a dispersão, os desvios, sendo este também base para definição de

pontos com características importantes para análise de ilhas de calor atmosféricas da zona urbana, sendo feita a avaliação de todos os dados em nível horário para o mês de setembro de 2020.

As temperaturas (gráfico 5) estiveram entorno de 26,5°C a 28,7°C (classe de valor compatível com a mediana e Q2[11]), chegando a registrar o mínimo de 22,8°C no Ponto 22 e a máxima de 45°C no Ponto 20, sendo este último com dezesseis graus celsius a mais dos pontos médios descritos (*Outliers*), levando o ponto a apresentar por consequência o maior desvio padrão.

As temperaturas mínimas ficaram no entorno de 22,8°C a 26,30°C, sendo as máximas entre 32,3°C a 45,0°C. O desvio padrão variou entre 1,22°C a 4,39°C, nos Pontos 01 (Ponta do Farol) e 20 (Cidade Operária), respectivamente.

Os pontos de maior representatividade para as temperaturas mínimas foi o ponto 22 (Parque Estadual do Bacanga), no qual é um ponto em que predomina a vegetação arbórea, o qual se localiza dentro de uma UC de proteção integral (quadro 9), fator este que pode influenciar no arrefecimento das temperaturas.

O quartil inferior – Q1[12] (¼ das observações), variou de 25,7°C no Ponto 9 (APA do Itapiracó) a 27,5°C no ponto 4 (Renascença), o que demonstra que poucos pontos apresentaram temperaturas abaixo dos 25°C, sendo estes os pontos 9 (APA do Itapiracó), 22 (Parque Estadual do Bacanga – Rural), 23 (Aeroporto), 25 (Cidade Olímpica) e 26 (Jardim América). Entretanto, no gráfico 1, verifica-se que ao se considerar a distribuição total dos dados, destes apenas nos pontos 9 e 22 foram registradas as temperaturas mais amenas em relação aos demais. O Ponto 9 (APA do Itapiracó) é também uma UC de uso sustentável com grande presença de vegetação arbórea, que se enquadra atualmente como um parque urbano, com grande uso das pessoas, e cercado de grande urbanização nos limites leste da zona urbana com o munícipio de São José de Ribamar (Figura 32).

Destacam-se que os pontos 1 (Ponta do Farol) e 4 (Renascença), com Q3[13] (3/4 das observações) situam-se iguais ou abaixo a 30°C. Sobre as características geoambientais desses dois pontos, apesar das áreas possuírem intensa verticalização, elas se situam em regiões de proximidades do litoral (ênfase ao ponto 01, com menos de 200 metros de distância a faixa litorânea da praia), o que favorece para o arrefecimento através da influência da maritimidade proveniente da brisa marinha. Além disso, nesses locais destacam-se como áreas com grande

[11] Refere-se ao Quartil 2
[12] Refere-se ao Quartil 1
[13] Refere-se ao quartil 3

planejamento urbano, no qual os elementos arquitetônicos das localidades podem influenciar como fator amenizador das temperaturas.

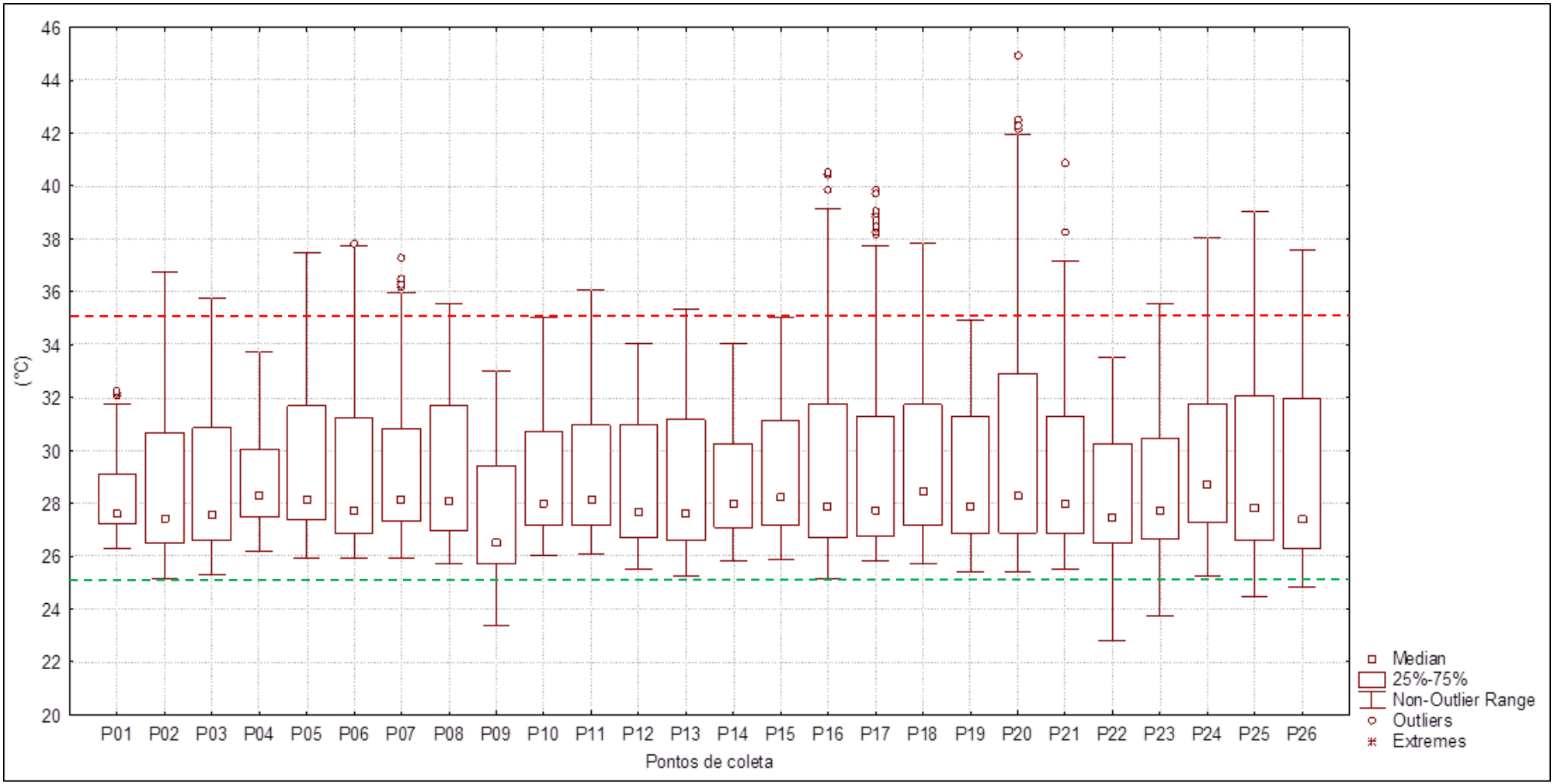
Sobre as máximas registradas (Gráfico 5), destaca-se que 65% deles apresentaram valores acima de 35ºC, porém os pontos 20 (Cidade Operária), 25 (Cidade Olímpica) e 26 (São Raimundo) apresentaram relação com as temperaturas mais elevadas registradas durante o mês de setembro de 2020. Pode-se destacar que esses três pontos se situam dentro de uma mesma continuidade espacial dentro da zona urbana, localizam-se no setor sudeste da área de estudo (Figura 32). O ponto 20 apresentou a maior temperatura (45°C), valor este considerado um *outlier*, que foge muito a realidade da normalidade de dados para o ponto, que possuem temperaturas em torno de 33°C, conforme observado no quartil superior. Sobre as características ambientais urbanas da área, mesclam-se entre áreas loteadas a áreas de ocupação espontânea, porém, estão dentro de uma grande área urbanizada, onde predominam construções de 1 a 3 pavimentos, com pouca predominância de vegetação e grande adensamento urbano.

Tabela 9. Estatística Descritiva dos dados de temperatura do ar – setembro de 2020

Ponto	Mínimo	Máximo	Média	Moda	Quartil 25% (Q1)	Mediana (Q2)	Quartil 75% (Q3)	Desvio Padrão	Curtose
P01	26,3	32,3	28,14	Múltipla	27,2	27,59	29,1	1,2	-0,13
P02	25,1	36,7	28,58	Múltipla	26,5	27,42	30,7	2,6	-0,26
P03	25,3	35,8	28,76	26,68	26,6	27,57	30,9	2,7	-0,65
P04	26,2	33,7	28,88	27,57	27,5	28,26	30,1	1,9	-0,52
P05	25,9	37,5	29,59	27,47	27,4	28,16	31,7	2,9	-0,52
P06	25,9	37,8	29,08	26,78	26,9	27,76	31,2	2,9	-0,20
P07	25,9	37,3	29,33	27,67	27,3	28,16	30,8	2,7	-0,09
P08	25,7	35,5	29,23	26,78	27,0	28,11	31,7	2,7	-0,97
P09	23,4	33,0	27,46	26,10	25,7	26,50	29,4	2,2	-0,94
P10	26,0	35,0	28,88	27,08	27,2	28,01	30,7	2,1	-0,75
P11	26,1	36,1	29,12	Múltipla	27,2	28,16	31,0	2,3	-0,57
P12	25,5	34,1	28,69	26,29	26,7	27,67	31,0	2,4	-1,12
P13	25,2	35,3	28,84	26,59	26,6	27,62	31,2	2,7	-0,90
P14	25,8	34,1	28,64	27,37	27,1	27,96	30,3	1,9	-0,88
P15	25,9	35,0	29,08	27,08	27,2	28,21	31,1	2,3	-0,90
P16	25,1	40,5	29,42	26,88	26,7	27,86	31,8	3,5	-0,02
P17	25,8	39,8	29,25	26,78	26,8	27,76	31,3	3,3	0,37
P18	25,7	37,8	29,51	Múltipla	27,2	28,46	31,7	2,8	-0,64
P19	25,4	34,9	28,98	26,59	26,9	27,86	31,3	2,5	-1,03
P20	25,4	45,0	30,22	Múltipla	26,9	28,26	32,9	4,4	0,10
P21	25,5	40,9	29,04	26,68	26,9	27,96	31,3	2,7	-0,06
P22	22,8	33,5	28,21	26,49	26,5	27,47	30,3	2,3	-0,93
P23	23,7	35,5	28,48	26,88	26,6	27,76	30,5	2,2	-0,79
P24	25,2	38,0	29,52	Múltipla	27,3	28,70	31,8	2,7	-0,69
P25	24,4	39,1	29,37	26,68	26,6	27,81	32,1	3,5	-0,61
P26	24,8	37,6	28,98	26,20	26,3	27,37	32,0	3,3	-1,08

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados de campo (2020).

Gráfico 5. Boxplot dos dados – setembro de 2020



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados de campo, 2020.

5.2.4. Análise das ilhas de calor atmosféricas – Setembro de 2020

Nesta etapa da pesquisa, se buscou a análise das ICU da atmosfera inferior (OKE, 1978; OKE *et al*, 2017).

Para a identificação dos tipos de tempo evolvidos nas análises e suas possíveis influências na geração das ilhas de calor, foi elaborado o gráfico de análise rítmica do mês de setembro de 2020.

A análise rítmica é uma proposta metodológica idealizada por Monteiro (1971), que devido aos descontentamentos com as formas de análise climatológicas da época, principalmente no que se refere ao entendimento do clima por meio de médias dos elementos climáticos ou por meio de estudos de normais climatológicas, e mesmo ao ensino da geografia, a partir do avanço do seu pensamento científico e no seu entendimento do clima como sendo a "sucessão habitual dos tipos de tempo" (SORRE, 1951), elaborou a proposta metodológica afim de superar os paradigmas climáticos-meteorológicos da época. Conforme o referido autor:

> [...] o ritmo climático só poderá ser compreendido através da representação concomitante dos elementos fundamentais do clima em unidades do tempo cronológico pelo menos diárias, compatíveis com a representação geral atmosférica regional, geradoras dos estados atmosféricos que se sucedem e constituem o fundamento do ritmo (MONTEIRO, 1971 p.13).

Nesse contexto, evidencia-se a necessidade de se estudar os elementos climáticos de forma integrada a nível diário, identificando-se os sistemas atmosféricos atuantes, para que sejam estabelecidas relações entre os tipos de tempo e a intensidade das ilhas de calor.

Para a efetivação da análise rítmica, foram separados dados disponíveis em bases oficiais sobre repositórios climáticos para a cidade de São Luís. Sendo assim, foram utilizados dados do INMET, do Centro Nacional de Monitoramento de Desastres (CEMADEN), para dados das variáveis meteorológicas, do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) e do Centro de Hidrografia da Marinha (CHM), para auxiliar na identificação dos estudos dos sistemas atmosféricos, predominantes durante o período estudado.

Na análise rítmica, os elementos meteorológicos escolhidos dependem da sua importância para a constituição climática da área de estudo. Zavatinni e Boin (2013), destacam que variáveis com temperatura do ar (máx., min., méd.), umidade relativa, precipitação, direção e velocidade do vento, nebulosidade e pressões atmosférica estão entre os elementos mais utilizados nas pesquisas sobre análise rítmica.

Para a elaboração do gráfico de análise rítmica foram utilizadas as variáveis meteorológicas de pressão atmosférica, umidade relativa, temperaturas (máx. méd. min.), precipitação, direção e velocidade do vento, nebulosidade e a identificação dos sistemas atmosféricos predominantes nos dias analisados (Figura 33-J).

As variáveis meteorológicas de pressão atmosférica (registro das 9h), umidade relativa (média dos dados registrados ao dia), temperaturas (máxima, média e mínima diária), direção predominante no dia, e velocidade do vento (registrado às 9h) foram disponibilizadas pela estação meteorológica do INMET (quadro 9) em São Luís. A decisão pela utilização da maior parte dos dados serem dessa estação deve-se ao fato dela ser a mais antiga da cidade, disponibilizando dados desde a década de 1920.

Os dados de nebulosidade (nebulosidade registrada às 9h) da área de estudo foram coletados a partir da estação meteorológica do aeroporto (Figura 32), que pertence a Aeronáutica. A identificação dos sistemas atmosféricos foi possível através do estudo dos relatórios técnicos disponibilizados pelo CPTEC referente aos dados do satélite GOES 16, e a partir da análise das cartas sinóticas do Centro de Hidrografia da Marinha (CHM).

A precipitação foi disponibilizada a partir dos acumulados em 24h, através dos pluviômetros do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) e por meio do pluviômetro da estação meteorológica do Núcleo Geoambiental da Universidade Estadual do Maranhão.

Segundo Pinheiro (2018), as precipitações dentro da ilha do Maranhão (onde localiza-se a área de estudo) se distribui de forma desigual, tendo seus maiores valores atrelados nos setores norte com maior proximidade da faixa litorânea, e diminui nos setores sul. Nesse sentido, o maior conjunto de dados tende a representar melhor as precipitações, do que um ponto somente que generalize as precipitações de uma localidade. Deste modo, para esta pesquisa, utilizou-se a média dos 9 pontos distribuídos na zona urbana.

A pressão atmosférica (Figura 33-J), sofre pouca variação na área de estudo. Esse fato ocorre devido a localização geográfica da zona urbana, pois está nas proximidades do litoral e no nível do mar. Pode-se ressaltar que a pressão atmosférica sofre poucas variações ao longo não somente no período estudado, mas também ao longo de todos os outros períodos do ano (INMET, 2018).

O mês de setembro pode ser considerado um período de baixa nos valores de umidade em comparação ao primeiro semestre. Durante o segundo semestre ocorre um aumento das temperaturas o que influencia na diminuição da umidade (INMET, 2018; PINHEIRO, 2018).

Porém, a variável se manteve elevada ao registrar valores de acima de 70% durante todos os dias do mês, com o maior valor observado no dia 05 (79,7%) e o menor registrado nos dias 16 e 22, ambos com 73,1%.

A umidade relativa tem valores elevados durante todo ano, e segundo o INMET (2018) têm-se médias acima de 80%. No caso específico da área de estudo, apesar da quase inexistência de precipitação durante o mês de setembro, fatores como a maritimidade presentes na região influenciam diretamente para os elevados valores de umidade, e que agindo em conjunto com a alta insolação o que influencia na evapotranspiração das águas oceânicas, de rios ou lagos, fazem com que os valores da umidade em sua totalidade sejam elevados.

Na figura 33 (J), verifica-se que a amplitude das temperaturas médias variou entre 27,8°C (08 de setembro) a 26,9°C (07 de setembro); as das temperaturas máximas de 33,1°C (15 de setembro) a 30,7°C (21 de setembro); por último, as temperaturas mínimas variaram entre 26,0°C (21 de setembro) a 23,3ºC (07 de setembro). Segundo Mendonça e Dani-Oliveira (2007), ao avaliarem a amplitude das temperaturas na cidade de São Luís, mostraram que isso pode ocorrer, em grande parte, por conta dos efeitos da maritimidade, que age como um elemento regulador e amenizador das temperaturas para área.

Não existe grande amplitude térmica no período estudado, pelo menos ao avaliar os dados registrados no mesmo ponto, na estação meteorológica do INMET. Uma explicação plausível sobre a questão das temperaturas em São Luís é apresentada por Pinheiro (2018, p. 94), conforme segue abaixo:

> Outra característica para compreender a dinâmica climática de São Luís, está na sua localização geográfica no litoral setentrional brasileiro. Por ser uma ilha costeira, sofre a influência direta da maritimidade que, através da relação oceano-continente-atmosfera, age para determinar as diferenças barométricas diurnas dinamizadoras do vento por sobre a cidade que, aliadas aos ventos Alísios, atuam para amenizar as temperaturas, e assim agem na redução das amplitudes térmicas diárias.

Sobre a precipitação foram registrados dados acumulados somente no dia 14 de setembro de 2020, no total de 1,8 mm registrados. Durante o segundo semestre na área de estudo, ocorre uma baixa gradativa dos acumulados de precipitação, devido a falta dos sistemas atmosféricos que na região são geradores de chuva (ZCIT, VCAN, LI, DOL, CCM), e a predominância de outros sistemas que causam um bloqueio da precipitação durante esse período, tais como a mEa, mTa e mEc (NIMER, 1979; BORSATO, 2016; ARAÚJO, 2014; INMET, 2018; PINHEIRO, 2018)

As direções do vento predominantes (Figura 33 - J) durante os dias analisados variaram entre norte, nordeste, oeste e sul. Predominaram os ventos de nordeste, em 36,7 %, seguido pelos ventos vindos do norte e leste ambos com 26,7% do total, sudeste com 6,7% e por último os de direção sul com 3,3% do total. A direção predominante identificada durante o mês de setembro corrobora com pensamento de Degola (2013) e Pinheiro (2018), que a partir da análise dos efeitos da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) na região nordeste do Brasil, o perfil na direção predominante são principalmente os de nordeste e leste para região. O INMET (2018) especificamente na área de estudo, dispõe que as direções predominantes são as de nordeste durante o mês de setembro.

A velocidade do vento (Figura 33 - J) variou entre o mínimo de 2,2 m/s (05 de setembro) e o máximo de 4,6 m/s (15 de setembro) durante os dias analisados. Percebe-se que em 90% dos dados diários de velocidade do vento, durante este mês, encontram-se entre 3,1 e 4,5 m/s, e somente 10% abaixo de 3,0 m/s. Durante o segundo semestre na cidade, conforme o INMET (2018), existe um aumento gradual da velocidade do vento na área de estudo.

Ao se analisar a figura 33 (J), a partir dos dados referentes a análise sinótica tem-se a presença da Massa Equatorial Atlântica (mEa), formada na Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) que possui muita predominância no litoral do nordeste setentrional brasileiro durante esse período. Segundo Nimer (1964 p. 48 - 49), define a mEa como:

> Constituída pelos alísios de SE do Atlântico, compõem-se de duas correntes, uma inferior, fresca e carregada de umidade e oriunda da evaporação do oceano, e outra superior quente e seca, de direção idêntica, mas separadas por uma inversão de temperatura, a qual não permite o fluxo vertical do vapor, assim barrado, assegurando bom tempo.

Atreladas também aos sistemas sinóticos de grande influência no segundo semestre, na área de estudo, pode-se observar a presença da mTa (Figura 33 - J). Esse sistema é representado pela presença de bom tempo, e age como fator que determina o aumento da velocidade do vento no segundo semestre (DEGOLA, 2013; PINHEIRO, 2018).

O aumento da intensidade da velocidade do vento na região do litoral do nordeste brasileiro está associado a atuação da massa formada na Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), que tem o escoamento de superfície mais intensificado nas proximidades do litoral do nordeste tendo em vista que a ZCIT se encontra em seu deslocamento para o hemisfério norte, e não atua diretamente como barramento da atuação da ASAS durante o segundo semestre no Nordeste. Ocorre assim, a intensificação dos alísios por toda região (DEGOLA, 2013; PINHEIRO, 2018).

No dia 14, registrou-se um total de 1,8 mm de precipitação, mesmo durante a atuação da mEa. A chuva registrada durante o período de estudo é entendida como chuva convectiva, muito comum em áreas urbanas e que quando associada a outros sistemas podem maximizar eventos extremos em precipitação. Porém, quando associada as diferenças residuais de temperaturas das localidades urbanas, em períodos em que normalmente existe baixo nível de precipitação, funcionam como possíveis fatores amenizadores de temperatura e não é registrado chuvas com acúmulos elevados.

Com o objetivo de estudar a temperatura do ambiente urbano de forma mais integralizada, e levando em consideração os arranjos urbanos diversos na área de estudo, foram elaborados painéis espaço temporais a partir de dados tabulados e organizados numa escala temporal de três em três horas (0h, 3h, 6h, 9h, 12h, 15h, 18h, 21h), no qual seguiu-se a perspectiva metodológica realizada por Amorim (2020), afim de se potencializar as análises em horários representativas nos diferentes períodos do dia.

Todos os dados foram organizados e tabulados por meio do software Microsoft Office Excel, bem como a elaboração dos dados referentes as tabelas dinâmicas. Os painéis espaço temporais foram feitos por meio do *software surfer* versão 11.

Os dados dos painéis são elaborados com o intuito de se representar melhor a visualização das temperaturas urbanas nos horários pré-definidos ao longo dos dias, em relação aos pontos.

Para a geração dos painéis espaços temporais, os dados são alinhados por meio do aplicativo *surfer*, que por sua vez demonstra a distribuição das densidades dos pontos. A figura 33 apresenta as diferenças das temperaturas nos pontos urbanos durante o mês de setembro de 2020.

Para melhor se entender a evolução das ICU nos horários pré-estabelecidos, foi realizado o cálculo das intensidades. A intensidade da ICU é obtida a partir da subtração do valor dos pontos urbanos em relação ao ponto rural. A partir da análise do Quadro 9 e dos resultados relativos à análise do item 4.2.2, percebe-se o ponto 9 como representativo de área menos construída (representativa do rural). Nele foram registradas as menores temperaturas em relação aos outros pontos de análise. Neste sentido, o cálculo das intensidades foi realizado a partir das subtrações das temperaturas encontradas em todos os pontos pelo ponto 9 (APA do Itapiracó).

Na figura 33 (A) verifica-se a distribuição das diferenças da temperatura do ar entre os pontos estudados (quadro 9) às 0h. Os pontos 01 (Ponta do Farol), 02 (Divinéia), 09 (APA

do Itapiracó), 22 (Parque Estadual do Bacanga – Rural), 26 (São Raimundo) apresentam temperaturas amenas. A variação das intensidades entre os pontos não é alta, varia em apenas 5,4 °C às 0h, sendo que as maiores temperaturas foram registradas nos pontos 4 (Renascença), 5 (Cohafuma) 24 (Jardim América), sendo estes últimos relacionados a ambientes de urbanização que se mesclam entre áreas verticalizadas (ponto 04) e loteamentos urbanos (pontos 5 e 24).

Na Figura 33 (B), às 03h, os pontos 02 (Divinéia) e o 09 (APA do Itapiracó) são os que apresentaram as temperaturas mais amenas. O ponto 22 (Parque Estadual do Bacanga – Rural), apesar de apresentar temperaturas amenas em relação as demais áreas do urbano, não se mantem constante durante todos os dias estudados. As maiores temperaturas ocorreram nos pontos 04 (Renascença) e 24 (Jardim América).

Às 6h (Figura 33 - C), os Ponto 2 (Divinéia), 9 (APA do Itapiracó), 26 (São Raimundo) e 22 (Parque Estadual do Bacanga – Rural), embora não muito diferente dos demais, foram os pontos da área de estudo que apresentaram as menores temperaturas. Os demais pontos não apresentaram grande amplitude térmica em relação aos demais temperaturas.

No horário das 9h (Figura 33 - D) têm-se temperaturas mais distintas. Percebe-se que as diferenças de temperaturas diurnas entre os pontos começaram a ganhar força. Como pontos de menores temperaturas estão os pontos 01 (Ponta do Farol), 09 (APA do Itapiracó) e 22 (Parque Estadual do Bacanga – Rural). Entre estes últimos destaca-se o ponto 1 que apesar de estar em uma área de intensa urbanização e verticalização, sua proximidade com a faixa litorânea pode ser o fator para o arrefecimento das temperaturas no local, através da influência da brisa marinha e das condições de maritimidade. Dentre os pontos onde se observam as maiores temperaturas estão os pontos 2 (Divinéia), 3 (Habitacional Turu), 5 (Cohafuma), 11 (Madre Deus), 19 (São Cristóvão) e o 26 (São Raimundo).

Às 12h (Figura 33 - E), percebe-se um aumento significativo das diferenças térmicas registradas entre os pontos. Os pontos onde foram registradas as temperaturas mais amenas foram os pontos 01 (Ponta do Farol), 4 (Renascença), 09 (APA do Itapiracó), 22 (Parque Estadual do Bacanga – Rural) e o 23 (Aeroporto). Vale destacar que mesmo nessas áreas onde se registraram as temperaturas mais amenas, elas variaram na maioria dos dias acima de 30°C. Entre as áreas mais quentes estão os pontos 16 (Vila Bacanga), 20 (Cidade Operária), 21 (Vila Embratel), 25 (Cidade Olímpica) e o 26 (São Raimundo).

Às 15h (Figura 33 - F), existem várias áreas onde registraram-se temperaturas mais amenas, embora sem grandes diferenças em relação as temperaturas das demais, tais como, o

ponto 09 (APA do Itapiracó) e o ponto 22 (Parque Estadual do Bacanga – Rural). O ponto onde foi registrado as temperaturas mais amenas na grande maioria dos dias durante o horário das 15h foi o ponto 01 (Ponta do Farol), que conforme o quadro 9, é o ponto que se localiza nas proximidades da linha da faixa de litorânea. Esse fato, pode influenciar para o arrefecimento das temperaturas. Fica destacado às 15h, que os maiores valores de temperatura urbana foram registrados no ponto 20 (Cidade Operária), no qual se destaca em relação todos os demais, como ponto de maiores intensidades registradas.

Na Figura 33 (18h - G), destacam-se as menores temperaturas registradas nos pontos 01 (Ponta do Farol), 09 (APA do Itapiracó) e o 22 (Parque Estadual do Bacanga). As maiores temperaturas foram registradas nos pontos 18 (Coroadinho), 20 (Cidade Operária) e 24 (Jardim América).

Às 21h (Figura 33 - H), os pontos que apresentaram as menores temperaturas foram: o 9 (APA do Itapiracó), 23 (Tiririca – Aeroporto) e o 22(Parque Estadual do Bacanga – Rural). Os pontos no qual foram registradas as temperaturas mais elevadas foram o 18 (Coroadinho) e 24 (Jardim América).

Ao avaliar a distribuição das temperaturas noturnas e diurnas, nas análises da figura de 33 foi observado que no período noturno as diferenças entre os pontos mais quentes e os mais amenos, se manifestaram de forma menos intensa, com menor diferença de temperaturas entre os pontos urbanos em relação ao rural ou a áreas que representaram temperaturas baixas em relação ao urbano, tais como o ponto 9 (APA do Itapiracó).

Nos dados de temperaturas noturnas (Figura 33) não se percebeu grandes diferenças entre as intensidades, a variações entre os pontos não foi elevada. Em regiões litorâneas, principalmente no nordeste setentrional brasileiro, a brisa marítima tem grande atuação nessas áreas. Conforme Dubreuil *et al.* (2004), a brisa marítima é provocada pelas diferenças termodinâmicas entre o oceano e as áreas continentais (ou próximas a ela). Ainda segundo os autores:

> O ar marinho mais denso, estável e fresco eleva o ar continental mais quente e instável, ativando a convecção no nível da frente da brisa e permite a formação de uma linha de nuvens do tipo cumuliforme, paralela à costa e impulsionada para o interior pela brisa do mar (DUBREUIL et al, 2004).

A atuação da brisa atua fortemente no recorte espacial do litoral do Ceará até o Maranhão, sendo mais bem identificadas durante a estação seca (segundo semestre), no período noturno. A penetração da brisa marítima se intensifica com a chegada da noite, e chega a se escoar por até 80 km da proximidade da costa em direção ao interior do continente (DUBREUIL et al, 2004). Corroborando com os autores, Pinheiro (2018), diz que as temperaturas na cidade

de São Luís sofrem atuação do efeito da brisa marítima, o que pode promover o movimento da temperatura do ar de áreas mais quentes para outras menos aquecidas do urbano. Neste sentido, pondera-se a necessidade pesquisas mais detalhadas com sensores locais que avaliem a dissipação da brisa marinha dentro do ambiente urbano e suas influências na ICU.

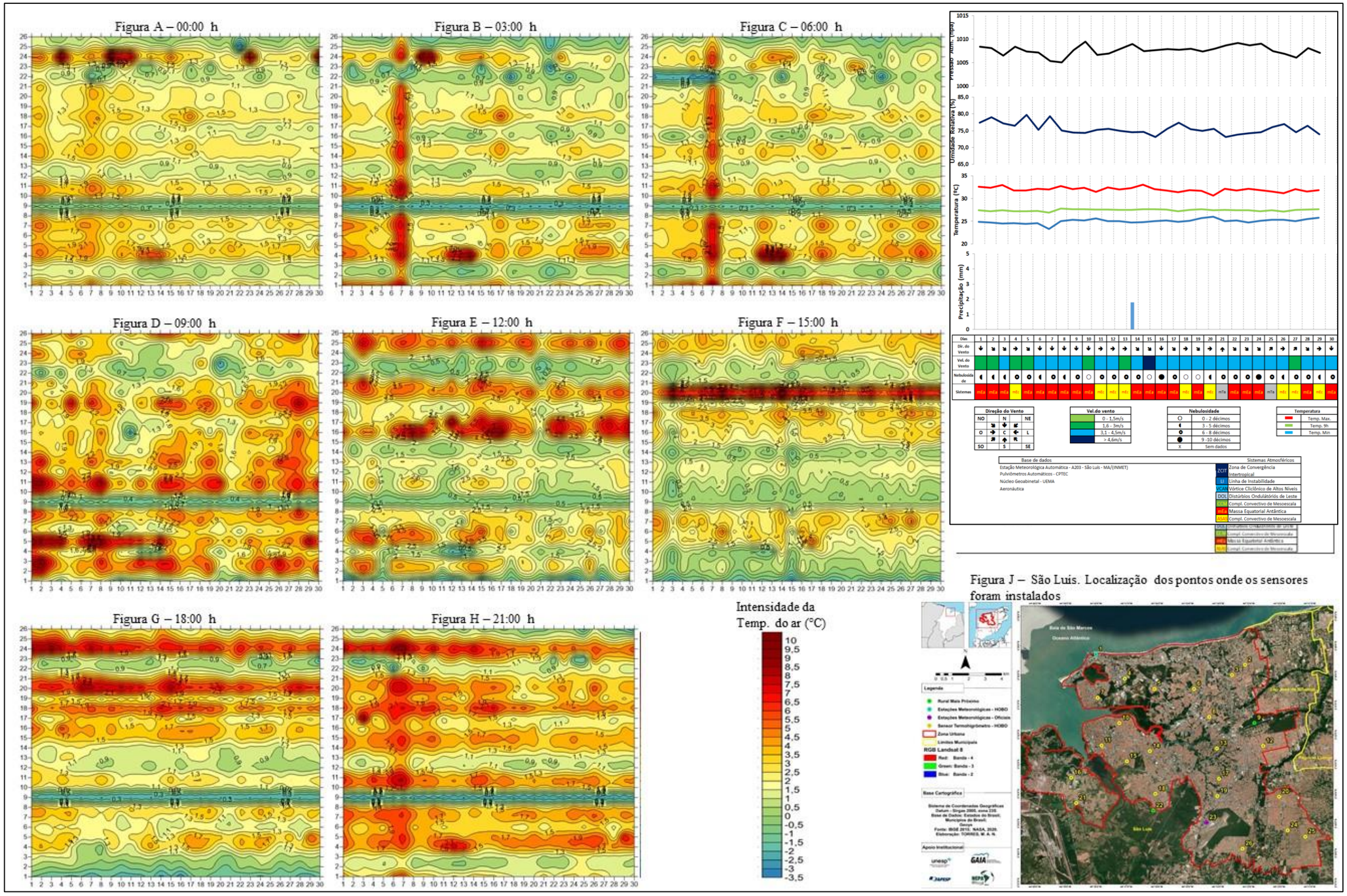
Nas ICU das 12h (Figura 33 - E) e 15h (Figura 33 - F), mesmo nos pontos de menores intensidades das temperaturas, no qual se destacam os pontos 01 (Ponta do Farol), 9 (APA do Itapiracó – Rural), 23 (Tiririca l – Aeroporto), existem condicionantes ambientais que favorecem o arrefecimento em relação aos demais.

O ponto 1 (quadro 9) está situado nas proximidades da linha de costa, apesar de ser uma área de intensa verticalização dentro do urbano, a proximidade ao litoral favorece intensamente os efeitos da maritimidade, tais como as trocas de energia eólica entre oceano e superfície. Além desses fatores, a arquitetura urbana bem planejada da área não favorece aos grandes aquecimentos na localidade.

Os pontos 9 (APA do Itapiracó) e 22 (Parque Estadual do Bacanga) possuem muita arborização e mesclam-se entre vegetação natural e secundária. Nos dois casos até existe um certo tipo de uso por meio das pessoas, no qual o ponto é utilizado como um parque urbano. O ponto 22, que está sob a tutela e fiscalização da Polícia Militar Ambiental, possui características vegetacionais de predominância arbórea, que prevalecem como fatores de amenização das temperaturas. O ponto 23 (Tiririca l – Aeroporto), está situado em uma área de intenso fluxo, porém não residencial, com poucas construções (além do prédio do aeroporto), o que são fatores que podem contribuir para a amenização das temperaturas.

Destaca-se que o Ponto 22 (Parque Estadual do Bacanga – Rural), possui características vegetacionais que poderiam favorecer as menores temperaturas no que diz respeito às intensidades diurnas, entretanto, se registram temperaturas mais elevadas (12h, 15h), que se confundem com os demais pontos urbanos, e não há grande diferença. Em relação a essa questão, as caraterísticas dos ambientes que dizem respeito às questões inerentes a fisiologia da vegetação e a umidade podem influir diretamente para as alterações de temperaturas nos horários destacados. Corrobora-se a necessidade de pesquisas mais detalhadas sobre as diferenças de temperatura em perfis de vegetação arbóreo ou em ambientes considerados rurais.

Figura 33. Prancha da variação espaço-temporal das intensidades da temperatura do ar nos 26 pontos de São Luís em relação ao ambiente Rural (Ponto 9) no mês de setembro de 2020.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados de campo (2020)

Como medida para qualificar as intensidades e magnitudes das ilhas de calor, seguiu-se a proposta de Fernández García (1996), e se elaborou a tabela 10, para mostrar os quantitativos referentes às intensidades e magnitudes das ilhas de calor urbanas no período de setembro de 2020. O ponto 9 (APA do Itapiracó) não está inserido na tabela 11, pelo fato de que o cálculo das intensidades foi feito a partir do ponto rural 9 (quadro 9), sendo ele a base para o comparativo dos demais.

Tabela 10. Quantitativo das classes de magnitudes das ICU – setembro de 2020

Magnitudes	**%**
fraca	76,5
média	18,0
forte	2,3
muito forte	0,9
Ilha de frescor	2,3
Total	100,0

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados de campo (2020).

Tabela 11. Magnitudes das ICU por ponto – setembro de 2020

	Magnitudes					
pontos	**fraca**	**média**	**forte**	**muito forte**	**ilhas de frescor**	**%**
1	68,3	5,6	0,0	0,0	26,1	100,0
2	80,3	14,2	1,1	0,0	4,4	100,0
3	78,8	18,3	1,5	0,0	1,4	100,0
4	80,4	14,0	0,0	0,0	5,6	100,0
5	67,8	24,3	7,8	0,1	0,0	100,0
6	80,3	15,7	4,0	0,0	0,0	100,0
7	73,9	22,1	3,6	0,1	0,3	100,0
8	72,9	26,8	0,1	0,0	0,1	100,0
10	84,0	13,9	0,0	0,0	2,1	100,0
11	76,8	21,4	1,0	0,0	0,8	100,0
12	92,5	7,4	0,0	0,0	0,1	100,0
13	78,6	21,3	0,0	0,0	0,1	100,0
14	88,8	6,1	0,0	0,0	5,1	100,0
15	88,2	11,8	0,0	0,0	0,0	100,0
16	69,4	19,7	6,3	3,9	0,7	100,0
17	77,8	14,3	4,7	3,2	0,0	100,0
18	58,9	37,5	3,5	0,1	0,0	100,0
19	82,2	17,6	0,1	0,0	0,0	100,0
20	56,5	23,3	6,7	13,5	0,0	100,0
21	81,9	16,4	1,1	0,4	0,1	100,0
22	93,6	0,4	0,0	0,0	6,0	100,0
23	94,9	2,8	0,0	0,0	2,4	100,0
24	49,4	47,1	3,2	0,0	0,3	100,0
25	66,9	21,0	10,6	1,1	0,4	100,0
26	69,0	26,9	3,3	0,4	0,3	100,0

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados de campo (2020).

As ICU de fraca magnitude, conforme a tabela 10, representam o total de 76,5% de total das ICU registradas, sendo nesta classe, a maioria dos valores registrados. Conforme a tabela 11, destacam-se os pontos 23 (Aeroporto), 22 (Parque Estadual do Bacanga), 12 (Cohatrac), com percentuais maiores de 90% de fraca magnitude.

Quanto as ICU de média magnitude, com 18,0% dos totais registrados (Tabela 10), verifica-se que o ponto 24 (Jardim América) foi o que mais se destacou, com total de 47,1 (Tabela 11) das ICU identificadas atreladas as de média magnitudes. As de forte magnitude são responsáveis pelo total 2,3% do total geral das magnitudes observadas (Tabela 10) e o ponto 25 (Cidade Olímpica) foi o que registrou os maiores valores para as fortes magnitudes, com 10,6% (Tabela 11).

As ICU de muito forte magnitude, representam o total de 0,9% (Tabela 10). De acordo com a tabela 11, o ponto 20 (Cidade Operária) foi o que mais apresentou os valores atrelados a esta classe, e registrou o total 13,5% das ICU como as de muito forte magnitude.

Na análise das magnitudes também foram registradas temperaturas que são menores do que as registradas no ponto rural. As temperaturas urbanas que registram valores menores do que os valores do ponto rural são entendidas como ilhas de frescor. De acordo com a tabela 10, durante o mês de setembro, 2,3% dos dados foram identificados como Ilhas de Frescor, sendo que o ponto mais representativo foi o ponto 1 (Ponta do Farol), com 26,1% (Tabela 11) de ilha de frescor.

As tabelas 12, 13, 14 e 15 representam o perfil horário das ilhas de calor dos pontos mais representativos em cada uma das classes de magnitudes (fraca, média, forte, muito forte).

A tabela 12, representa variação do ponto que mais registrou ICU de fraca magnitude a nível horário (Ponto 23 – Aeroporto). A tabela 13, representa o maior número de registros das ICU de média magnitude (Ponto 24 – Jardim América). A tabela 14 representa ICU de forte Magnitude (Ponto 25– Cidade Olímpica), e as de muito forte magnitudes foram obtidos a partir das ICU registradas no ponto 20 – Cidade Operária (Tabela 15). Em contrapartida, a tabela 16 representa o ponto onde foi registrado o maior quantitativo de Ilhas de Frescor (Ponto 1 – Ponta do Farol).

Tabela 12. Variação horária das magnitudes da ICU do ponto 23 (Aeroporto) – 94,9% de ICU com fraca magnitude

Magnitude das ilhas de calor

T °C

- < 0,0 Ilha de Frescor
- 0,0 a 2,0 Fraca
- 2,1 a 4,0 Média
- 4,1 a 6,0 Forte
- > 6,0 Muito Forte

	Hora																							
Dia	**00:00**	**01:00**	**02:00**	**03:00**	**04:00**	**05:00**	**06:00**	**07:00**	**08:00**	**09:00**	**10:00**	**11:00**	**12:00**	**13:00**	**14:00**	**15:00**	**16:00**	**17:00**	**18:00**	**19:00**	**20:00**	**21:00**	**22:00**	**23:00**	**precipitação (mm)**
1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,2	1,0	1,0	0,3	0,9	1,5	0,8	1,2	0,4	2,1	2,6	2,3	1,6	0,9	1,8	0,7	1,7	0,8	0,6	1,6	0,0
2	1,6	1,5	0,2	0,2	1,1	1,1	1,1	1,2	1,3	1,7	1,5	1,3	0,0	0,2	1,1	0,4	1,3	1,1	0,7	1,4	0,4	0,4	1,4	1,3	0,0
3	1,2	-1,8	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2	1,5	1,3	1,7	1,7	1,5	2,0	2,0	-0,1	0,0	1,3	1,2	0,9	0,8	1,6	0,4	0,5	1,2	0,0
4	1,2	1,2	1,2	1,2	0,2	1,3	1,0	1,1	0,7	1,6	0,0	0,6	0,8	0,0	0,0	0,3	0,6	1,6	0,9	0,7	1,8	0,6	0,5	1,4	0,0
5	1,4	1,3	1,3	0,2	0,1	1,1	1,4	1,4	1,4	1,9	0,6	1,4	0,2	0,5	1,8	1,2	0,2	1,2	0,7	1,4	0,6	0,6	0,4	1,3	0,0
6	1,3	1,3	1,5	0,4	1,2	1,1	1,2	2,1	1,2	1,6	1,8	0,8	0,5	-1,3	2,4	2,8	1,2	1,5	1,1	1,1	1,1	1,2	1,5	2,4	0,0
7	0,9	0,8	1,2	1,3	1,2	2,5	2,2	1,7	2,2	1,9	0,9	0,1	0,8	1,7	1,0	0,8	1,0	1,2	1,1	1,1	1,1	1,2	1,3	0,9	0,0
8	0,7	0,7	0,4	0,1	1,1	1,1	1,0	1,2	1,6	1,2	1,7	0,5	0,4	-0,2	1,2	1,6	0,7	0,6	0,9	1,8	0,9	0,8	1,6	0,4	0,0
9	0,3	0,3	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	1,4	0,8	1,5	-0,7	0,9	2,3	1,3	0,2	1,2	0,2	1,0	1,1	0,7	1,7	0,8	0,7	0,0
10	1,5	1,3	1,3	1,0	1,0	0,9	0,9	1,1	0,8	0,4	1,3	1,0	0,4	0,2	0,8	0,8	0,8	1,6	1,0	0,9	0,9	0,8	1,6	0,5	0,0
11	1,4	0,6	1,5	1,2	0,8	1,0	1,8	1,0	1,3	1,4	0,9	1,5	0,0	0,7	1,6	1,3	0,3	1,5	1,0	0,6	0,6	1,6	1,5	1,4	0,0
12	0,3	1,1	1,0	1,1	0,9	1,1	1,3	1,3	1,3	0,9	0,9	-0,5	1,4	1,7	0,9	1,9	0,7	1,1	0,9	0,8	0,7	1,7	0,6	0,4	0,0
13	0,3	0,3	1,3	1,1	1,3	1,1	1,2	1,2	1,2	0,8	1,7	0,2	-0,1	0,4	1,0	0,3	0,6	1,4	0,6	0,7	0,6	1,3	1,2	0,3	0,0
14	1,1	1,1	1,1	1,2	0,2	0,3	1,1	1,2	1,6	1,2	0,7	1,3	1,9	1,3	0,8	3,0	2,1	1,3	1,0	0,8	0,6	1,7	0,5	0,4	1,4
15	1,3	1,3	0,2	0,1	0,2	0,9	1,1	1,3	1,7	1,1	0,7	0,8	0,6	0,8	0,8	2,9	0,8	1,7	1,2	1,2	0,9	1,7	1,7	0,6	0,0
16	1,4	1,3	1,3	1,1	1,1	1,0	0,8	1,3	1,4	1,1	1,6	0,7	0,3	1,2	1,0	0,9	0,8	-0,1	0,9	0,7	0,6	1,7	1,6	0,6	0,0
17	0,4	1,4	1,5	1,5	1,1	0,9	1,1	1,5	1,7	1,0	0,4	1,5	2,1	0,1	0,9	0,5	1,2	1,3	0,8	0,7	0,8	1,6	1,4	1,4	0,0
18	1,1	1,3	1,3	1,2	0,2	0,2	0,3	1,4	2,3	2,3	1,8	1,2	0,1	0,9	0,5	0,9	1,0	1,5	0,8	0,7	1,3	1,3	0,3	0,0	0,0
19	0,1	1,0	1,0	0,9	1,1	0,9	1,0	1,5	1,2	1,4	1,0	1,7	0,8	1,2	0,7	0,2	1,4	1,5	0,8	0,4	1,3	1,1	1,1	1,2	0,0
20	1,2	1,0	0,9	1,1	1,0	0,9	0,9	1,2	1,1	-0,4	0,1	0,8	1,4	0,1	-0,2	0,1	1,1	0,4	0,9	0,8	1,6	1,3	0,2	1,5	0,0
21	1,4	1,2	1,1	1,1	1,0	1,1	1,9	1,5	1,5	0,6	1,4	-0,5	-0,6	1,1	1,2	0,4	0,8	1,0	1,6	1,4	1,3	1,3	0,1	1,3	0,0
22	1,3	1,5	1,1	-0,2	0,9	1,8	1,8	1,3	1,7	0,7	0,9	0,9	0,4	0,5	0,6	0,0	1,8	1,4	1,9	0,8	1,4	0,4	0,4	1,5	0,0
23	1,2	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	0,8	1,2	1,4	1,5	1,5	0,9	1,0	1,1	-0,3	1,5	0,7	1,4	0,7	0,7	1,4	1,7	1,6	0,5	0,0
24	1,2	1,1	1,3	1,3	1,1	0,6	0,7	1,0	0,3	1,0	0,5	1,9	0,1	0,9	0,7	0,8	1,6	1,0	0,5	0,5	1,6	0,3	0,2	0,1	0,0
25	1,0	0,9	0,7	0,9	0,9	0,9	1,1	1,7	2,1	1,2	0,7	0,6	0,9	0,5	0,4	1,3	0,4	1,1	0,6	1,5	0,3	0,2	0,0	0,9	0,0
26	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	0,9	0,8	1,5	1,2	1,7	1,0	1,5	1,2	-0,4	0,8	1,7	1,0	0,2	1,6	0,7	1,6	1,9	0,7	0,4	0,0
27	1,3	1,5	1,4	1,2	1,3	1,2	0,9	1,3	1,7	0,8	0,3	0,7	1,6	1,5	3,5	2,9	1,4	1,3	0,9	1,5	1,4	1,3	0,4	1,2	0,0
28	1,3	1,1	1,1	1,2	0,9	1,0	1,1	1,4	1,4	1,3	0,8	1,6	1,0	0,4	0,3	0,5	0,8	0,7	0,9	0,6	1,5	1,4	0,9	1,0	0,0
29	0,9	0,9	0,8	0,7	0,7	0,8	0,9	1,1	1,8	1,6	0,6	1,0	1,6	-0,1	1,0	0,2	1,2	1,5	0,7	0,6	1,4	1,4	1,3	1,2	0,0
30	0,1	0,1	2,0	1,3	0,9	0,9	0,8	1,2	1,0	1,4	1,6	1,1	0,8	0,3	-0,1	1,5	0,7	1,6	0,0	0,6	1,6	1,5	0,4	1,3	0,0

Fonte: Organizado pelo autor a partir de dados de campo (2020)

Tabela 13. Variação horária das magnitudes da ICU do ponto 24 (Jardim América) – 47,1% de ICU com média magnitude

Magnitude das ilhas de calor

T °C

- < 0,0 Ilha de Frescor
- 0,0 a 2,0 Fraca
- 2,1 a 4,0 Média
- 4,1 a 6,0 Forte
- > 6,0 Muito Forte

Dia	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	precipitação (mm)
1	2,4	2,1	2,1	1,8	1,4	1,1	0,8	0,9	1,0	2,9	3,3	2,7	0,2	3,6	4,2	3,3	3,3	3,0	3,1	2,9	2,8	2,8	2,6	2,5	0,0
2	2,5	2,2	1,9	1,7	1,5	1,3	1,3	1,0	1,4	2,6	3,3	3,8	2,7	1,4	2,6	3,3	2,4	3,2	3,0	2,8	2,5	2,4	2,3	2,0	0,0
3	1,8	1,7	1,6	1,5	1,5	1,4	1,2	1,2	1,1	1,7	3,3	2,8	5,0	3,9	1,8	2,2	2,8	3,1	3,1	2,8	2,6	2,4	2,4	4,6	0,0
4	4,2	3,9	1,9	1,7	1,7	1,4	1,1	1,0	1,4	1,4	2,5	1,7	2,5	1,4	2,6	3,2	2,5	3,0	2,8	2,9	2,8	2,5	2,3	2,1	0,0
5	2,0	1,7	1,8	1,5	1,4	1,4	1,6	1,2	1,4	2,5	2,5	1,7	3,1	2,4	2,0	2,7	2,1	2,9	2,6	2,4	2,5	2,4	2,3	2,1	0,0
6	1,9	1,7	1,7	1,7	1,4	1,1	1,1	1,0	1,2	2,7	4,7	3,9	3,3	3,9	2,8	3,0	3,3	2,6	2,5	2,8	2,8	2,8	3,2	3,0	0,0
7	2,4	2,2	2,5	2,7	2,4	2,8	2,4	1,5	1,7	2,0	2,8	3,1	3,7	2,4	2,6	2,4	2,4	2,3	2,9	3,0	2,9	3,0	3,0	2,4	0,0
8	2,0	1,8	1,5	1,1	1,2	1,1	0,9	1,0	1,3	2,1	3,1	3,7	3,4	3,0	2,5	2,7	2,0	2,4	2,6	2,6	2,7	2,5	2,2	2,1	0,0
9	4,5	3,9	3,8	3,4	1,6	1,3	1,2	0,8	1,3	2,1	2,5	2,4	2,8	2,3	2,7	2,0	2,7	2,4	2,7	2,6	2,2	2,1	2,3	2,3	0,0
10	3,4	4,2	3,7	3,2	1,8	1,1	1,0	0,8	0,7	1,7	2,4	3,0	2,6	2,7	2,5	2,0	2,4	2,5	2,6	2,6	2,7	2,6	2,2	4,5	0,0
11	3,6	1,9	1,6	1,5	1,1	1,0	0,8	0,7	1,2	1,4	3,6	2,6	1,9	2,0	1,7	2,7	2,1	2,5	2,5	2,2	2,3	2,0	2,0	1,8	0,0
12	1,7	1,6	1,3	1,4	1,3	1,4	1,5	1,0	1,3	0,9	1,6	1,6	2,4	3,3	1,3	2,5	2,5	2,2	2,4	2,3	2,6	2,4	2,5	2,4	0,0
13	2,1	2,2	2,0	1,9	2,2	1,9	2,0	1,4	0,6	0,7	1,2	-0,3	0,6	-0,1	0,7	1,1	1,6	2,1	2,2	2,2	2,3	2,2	2,1	2,1	0,0
14	1,8	1,8	1,8	1,9	2,1	2,1	1,8	1,6	1,5	0,8	0,6	1,0	1,4	0,0	0,4	2,3	2,4	2,0	2,4	2,6	2,5	2,6	2,5	2,4	1,8
15	2,5	2,3	2,1	2,1	1,9	1,7	1,8	1,6	1,3	1,6	2,5	2,8	2,5	2,5	4,3	2,8	3,9	3,2	2,5	2,4	2,3	2,1	2,0	2,0	0,0
16	1,8	1,7	1,8	1,5	1,3	1,1	0,9	0,9	0,8	1,4	1,6	1,7	2,1	4,4	6,0	5,0	4,0	2,3	2,5	2,5	2,4	2,2	2,0	2,0	0,0
17	1,8	1,7	1,9	1,7	1,3	1,1	1,3	1,3	1,1	1,0	1,3	1,8	2,4	2,6	5,1	4,5	3,9	2,6	2,3	2,3	2,3	2,0	1,9	1,7	0,0
18	1,6	1,6	1,5	1,5	1,7	1,6	1,6	1,5	1,7	1,1	1,4	2,0	2,6	4,0	5,8	4,3	3,7	2,9	2,5	2,4	2,0	2,0	2,0	1,7	0,0
19	1,6	1,7	1,6	1,5	1,5	1,3	1,3	1,2	1,4	1,5	1,0	1,6	2,4	3,8	5,0	4,0	3,5	2,5	2,6	2,4	2,1	1,9	1,8	1,5	0,0
20	1,3	1,4	1,3	1,3	1,2	0,8	0,9	0,8	0,7	1,2	0,9	2,4	4,3	2,7	2,7	2,4	2,4	2,2	2,4	2,5	2,3	2,0	1,8	1,7	0,0
21	1,5	1,1	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	1,1	1,2	1,1	1,6	0,8	1,4	2,2	1,8	2,3	2,2	1,8	1,9	1,8	1,5	1,6	1,4	1,5	0,0
22	1,3	1,5	1,1	0,8	0,9	0,8	0,7	1,0	1,1	1,4	2,8	3,4	3,0	2,4	2,2	2,0	2,3	2,4	2,6	2,5	2,1	2,1	1,9	4,5	0,0
23	4,0	3,9	3,5	2,0	1,0	0,8	0,7	0,9	0,9	1,9	2,6	3,1	2,8	2,3	2,2	1,9	1,7	2,1	2,1	2,1	1,9	1,8	1,7	1,6	0,0
24	1,3	1,3	1,3	1,1	0,6	0,0	0,4	0,6	1,1	2,5	2,5	2,9	3,0	2,4	2,8	2,3	2,6	2,7	2,5	2,4	2,3	2,1	1,8	1,7	0,0
25	1,5	1,4	1,1	1,3	1,3	1,1	1,2	1,4	1,8	1,7	1,3	2,8	2,3	2,0	1,5	2,7	2,0	2,4	2,2	2,3	2,0	1,9	1,7	1,5	0,0
26	1,5	1,3	1,1	1,2	1,2	1,0	0,8	0,9	0,9	2,1	1,8	3,1	2,8	1,4	2,5	2,4	2,3	2,2	2,1	2,2	2,0	2,0	1,6	1,5	0,0
27	1,5	1,4	1,2	1,2	1,0	1,0	0,8	0,9	1,0	2,2	3,6	3,3	3,2	3,7	3,5	3,5	2,6	2,2	2,5	2,4	2,2	1,9	2,0	1,7	0,0
28	1,6	1,2	1,4	1,4	1,2	1,3	1,3	1,1	1,1	2,2	2,3	3,1	3,4	2,4	2,0	2,1	2,1	2,3	2,1	2,3	2,2	1,8	1,5	1,4	0,0
29	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9	1,0	1,1	0,8	0,4	1,6	2,7	4,4	4,4	2,1	2,4	2,2	2,5	2,5	2,3	2,3	2,1	1,8	1,8	3,7	0,0
30	4,1	1,4	1,1	1,3	0,9	0,7	0,8	1,0	1,0	2,7	3,5	4,1	3,7	2,3	2,9	2,4	2,3	2,4	2,4	2,3	2,3	2,1	1,8	1,4	0,0

Fonte: Organizado pelo autor a partir de dados de campo (2020)

Tabela 14. Variação horária das magnitudes da ICU do ponto 25 (Cidade Olímpica) – 10,6% de ICU com forte magnitude.

	Hora																							
Dia	**00:00**	**01:00**	**02:00**	**03:00**	**04:00**	**05:00**	**06:00**	**07:00**	**08:00**	**09:00**	**10:00**	**11:00**	**12:00**	**13:00**	**14:00**	**15:00**	**16:00**	**17:00**	**18:00**	**19:00**	**20:00**	**21:00**	**22:00**	**23:00**	**precipitação (mm)**
1	1,0	1,0	1,1	1,1	0,9	0,9	0,8	1,1	0,5	1,6	2,5	4,2	2,9	6,0	5,6	2,3	2,6	2,3	2,1	1,8	1,7	1,6	1,3	1,2	0,0
2	1,1	1,0	0,9	1,0	0,9	1,0	1,0	1,2	0,8	1,4	2,6	4,1	4,0	2,2	4,4	4,8	2,4	2,4	2,0	1,6	1,4	1,2	1,2	1,0	0,0
3	0,9	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,3	1,0	1,4	2,9	4,4	7,1	6,1	4,5	2,9	2,9	2,9	2,2	1,8	1,5	1,2	1,2	0,9	0,0
4	0,9	1,1	1,0	1,1	1,0	0,8	0,9	1,0	1,4	1,6	2,2	3,2	5,6	2,1	4,5	4,1	3,6	3,1	2,1	1,8	1,8	1,4	1,1	1,0	0,0
5	1,0	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	1,2	1,0	0,7	1,8	3,1	3,0	3,0	4,3	3,5	3,1	2,0	2,6	1,2	1,2	1,3	1,1	1,1	0,9	0,0
6	0,9	0,8	0,9	1,1	0,9	1,0	1,1	1,1	0,8	1,0	3,2	5,9	4,9	5,2	3,7	4,3	3,0	2,1	2,0	1,7	1,7	1,9	2,1	2,1	0,0
7	1,4	1,5	1,8	2,2	2,1	2,2	1,8	1,1	1,6	1,8	3,1	4,8	5,9	4,1	3,2	3,6	2,6	1,8	2,0	1,9	1,6	1,8	1,8	1,4	0,0
8	1,4	1,5	1,2	0,9	1,0	1,0	1,0	1,1	1,5	2,2	3,4	6,3	5,2	5,7	4,9	3,8	2,6	2,2	1,9	1,8	1,6	1,4	1,2	1,0	0,0
9	0,8	1,0	0,9	0,9	0,8	0,9	0,9	0,7	0,8	1,6	2,5	4,5	4,3	4,9	2,7	1,9	1,9	2,0	1,5	1,7	1,5	1,5	1,4	1,3	0,0
10	1,1	0,9	0,8	0,7	0,9	0,7	0,7	0,6	0,4	0,8	2,6	5,2	5,3	6,5	3,8	2,3	2,6	2,3	1,9	1,7	1,6	1,4	1,2	1,1	0,0
11	1,2	1,3	1,2	0,9	0,7	0,8	0,7	0,7	1,2	1,2	3,2	4,7	4,1	4,5	3,5	3,2	2,6	2,5	1,7	1,4	1,4	1,2	1,2	1,1	0,0
12	1,1	0,9	0,9	0,9	0,7	0,8	1,0	0,9	1,0	1,4	3,4	4,1	6,0	7,1	4,1	4,3	3,2	2,4	1,8	1,6	1,5	1,6	1,3	1,1	0,0
13	0,9	1,0	0,9	0,8	0,9	0,7	1,0	0,9	0,8	1,1	2,8	2,8	4,2	3,8	4,2	2,7	2,2	2,2	1,5	1,3	1,4	1,3	1,1	1,1	0,0
14	1,0	1,0	0,9	1,0	1,1	1,2	1,0	0,8	1,0	0,9	2,6	5,7	4,6	2,5	2,5	4,8	3,1	2,8	2,1	1,5	1,2	1,3	1,0	0,7	1,4
15	0,7	0,9	0,9	0,9	1,1	1,1	1,1	0,9	1,1	1,4	3,3	6,3	7,2	4,7	5,0	3,2	2,4	2,4	2,0	1,8	1,8	1,6	1,5	1,4	0,0
16	1,2	1,1	1,1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,7	0,6	1,3	2,7	5,4	6,0	4,7	4,5	3,3	2,3	1,5	1,6	1,7	1,4	1,4	1,3	1,2	0,0
17	1,2	1,1	1,1	1,2	0,9	0,8	1,1	1,2	1,5	2,0	2,2	3,9	4,5	3,1	3,3	2,8	2,6	1,7	1,5	1,5	1,4	1,2	1,0	0,8	0,0
18	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	0,6	1,2	1,6	1,3	1,9	3,4	4,0	3,0	4,4	3,0	2,0	2,3	1,5	1,5	1,1	1,1	1,0	0,8	0,0
19	0,8	0,9	0,7	0,6	0,8	0,7	0,7	0,9	1,1	1,6	2,3	4,3	5,8	3,7	4,3	2,8	2,0	2,2	1,8	1,5	1,2	0,9	0,9	0,8	0,0
20	0,7	0,8	0,9	1,1	1,1	0,8	0,8	0,7	0,6	1,4	1,8	4,7	5,4	5,3	3,3	2,9	2,2	2,4	1,6	1,5	1,2	1,1	0,9	1,0	0,0
21	0,9	0,7	0,8	0,8	0,6	0,7	0,8	0,9	1,2	1,5	2,0	1,4	2,9	3,2	2,9	2,9	2,8	2,0	1,5	1,4	1,2	1,1	0,9	1,0	0,0
22	-1,0	-0,6	-0,2	0,0	0,2	0,2	0,5	0,8	1,2	0,9	2,2	5,0	4,2	4,6	3,7	2,9	2,7	2,4	1,9	1,6	1,2	1,2	1,1	1,2	0,0
23	1,0	1,0	0,9	0,8	0,8	0,8	0,6	0,7	1,1	2,0	2,3	4,1	4,5	4,4	3,4	2,8	2,3	2,1	1,6	1,4	1,1	1,2	1,2	1,1	0,0
24	0,9	0,9	1,0	1,0	0,8	0,5	0,5	0,3	1,1	1,1	3,1	4,8	5,8	3,4	3,8	2,5	2,9	2,2	1,7	1,5	1,3	1,2	0,9	0,7	0,0
25	0,8	0,7	0,6	0,7	0,6	0,6	0,9	1,2	1,6	2,1	2,6	4,6	4,4	2,6	3,6	4,2	2,1	2,1	1,8	1,3	1,0	1,0	0,8	0,7	0,0
26	0,6	0,8	0,7	0,7	0,9	0,7	0,5	0,8	0,6	1,7	2,9	5,4	5,8	2,2	4,0	2,9	2,5	2,0	1,6	1,6	1,4	1,5	1,3	1,1	0,0
27	0,9	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6	1,0	2,0	4,7	5,4	3,3	4,1	5,2	3,3	3,1	2,3	1,6	1,3	1,2	1,1	1,3	1,1	0,0
28	1,1	0,8	0,8	0,8	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	2,0	2,6	3,5	4,7	4,1	4,2	2,7	1,9	2,1	1,3	1,2	1,2	0,9	0,6	0,5	0,0
29	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,6	0,8	0,8	0,4	1,7	2,8	5,1	6,3	4,0	3,9	3,3	2,7	2,7	1,6	1,6	1,1	1,1	1,3	1,0	0,0
30	0,9	0,8	0,8	1,1	0,6	0,6	0,7	0,9	1,0	2,2	3,1	5,0	5,0	3,5	4,0	3,7	2,3	1,8	1,5	1,3	1,3	1,2	1,1	1,0	0,0

Magnitude das ilhas de calor

T °C

- < 0,0 Ilha de Frescor
- 0,0 a 2,0 Fraca
- 2,1 a 4,0 Média
- 4,1 a 6,0 Forte
- > 6,0 Muito Forte

Fonte: Organizado pelo autor a partir de dados de campo (2020)

Tabela 15. Variação horária das magnitudes da ICU do ponto 20 (Cidade Operária) – 13,5% de ICU com muito forte magnitude.

	Hora																							
Dia	**00:00**	**01:00**	**02:00**	**03:00**	**04:00**	**05:00**	**06:00**	**07:00**	**08:00**	**09:00**	**10:00**	**11:00**	**12:00**	**13:00**	**14:00**	**15:00**	**16:00**	**17:00**	**18:00**	**19:00**	**20:00**	**21:00**	**22:00**	**23:00**	**precipitação (mm)**
1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,2	0,9	0,8	1,2	0,2	1,5	1,8	2,4	3,0	9,5	7,9	4,2	5,6	2,9	2,3	2,0	1,8	1,9	1,6	1,5	0,0
2	1,5	1,4	1,2	1,1	1,0	0,8	0,9	1,2	0,9	1,6	2,5	3,7	4,2	7,0	8,7	5,8	3,6	3,1	2,4	1,8	1,5	1,6	1,5	1,3	0,0
3	1,2	1,1	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1	1,2	0,8	1,1	3,0	3,0	5,1	8,6	9,5	9,6	7,6	3,6	2,6	2,2	1,9	1,7	1,7	1,3	0,0
4	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	0,8	0,9	1,4	1,5	2,0	2,5	4,7	5,2	7,3	7,7	5,8	3,7	2,4	2,1	2,0	1,8	1,6	1,5	0,0
5	1,5	1,3	1,3	1,1	1,0	0,9	1,3	1,0	0,6	2,0	2,8	2,3	3,8	7,2	9,9	7,0	5,3	3,2	2,2	1,5	1,8	1,5	1,3	1,3	0,0
6	1,3	1,3	1,3	1,2	1,1	1,0	1,1	0,8	0,7	1,4	2,9	3,1	5,0	9,9	11,0	8,1	7,4	3,9	3,0	2,7	2,6	2,5	2,8	2,6	0,0
7	2,0	1,8	2,2	2,4	2,3	2,4	2,1	1,4	1,9	2,3	2,8	3,4	4,9	7,8	8,8	8,6	7,2	3,6	2,9	2,6	2,5	2,5	2,5	2,1	0,0
8	1,8	1,8	1,5	1,2	1,2	1,1	1,1	1,3	1,6	2,0	2,6	2,9	4,4	9,5	10,6	10,0	6,9	4,2	2,8	2,6	2,3	2,1	1,8	1,6	0,0
9	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,8	1,5	2,6	2,5	3,6	8,7	9,2	7,7	7,4	3,5	2,8	2,5	2,2	2,1	2,1	1,9	0,0
10	1,7	1,4	1,3	1,0	1,0	0,9	0,8	0,7	0,2	0,7	2,3	3,0	4,6	8,9	10,1	7,1	7,0	4,0	2,9	2,4	2,1	2,0	1,8	1,6	0,0
11	1,6	1,7	1,6	1,2	0,8	1,0	0,8	0,8	1,2	1,5	3,1	3,1	4,4	5,3	7,4	8,7	5,5	3,8	2,7	2,1	1,8	1,8	1,7	1,5	0,0
12	1,4	1,2	1,1	1,1	0,9	1,1	1,3	1,2	1,2	1,5	2,1	3,6	4,6	11,2	8,6	8,7	6,3	3,3	2,7	2,2	2,1	2,0	1,7	1,5	0,0
13	1,4	1,5	1,5	1,2	1,3	1,1	1,1	0,9	1,1	1,9	3,2	2,8	3,8	5,6	8,8	7,3	6,2	3,5	2,2	2,2	2,0	1,6	1,4	1,4	0,0
14	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	0,8	0,8	1,1	1,0	1,5	3,0	5,0	6,2	9,9	11,1	8,0	3,4	2,5	2,1	1,8	1,8	1,4	1,4	1,8
15	1,3	1,2	1,1	1,0	1,2	0,8	0,9	0,9	1,2	1,2	2,2	2,1	4,3	8,6	12,0	7,4	6,5	4,1	3,0	2,6	2,2	1,9	1,8	1,7	0,0
16	1,5	1,4	1,3	1,1	1,0	0,9	0,7	0,9	0,8	1,2	2,1	2,5	4,2	8,8	8,8	8,9	6,9	3,1	2,6	2,2	2,1	2,0	1,7	1,6	0,0
17	1,5	1,4	1,5	1,5	1,2	1,0	1,2	1,5	1,6	2,0	2,2	2,8	5,3	6,6	8,2	7,8	7,1	3,7	2,4	2,1	2,1	1,8	1,5	1,4	0,0
18	1,2	1,4	1,2	1,2	1,1	1,1	1,2	1,2	1,8	1,8	2,2	3,1	3,7	6,0	7,3	6,4	4,7	3,5	2,4	2,1	1,6	1,5	1,4	1,1	0,0
19	1,0	1,0	0,9	0,8	1,1	0,8	0,9	1,0	1,5	1,9	1,7	3,3	4,7	6,7	8,3	7,5	6,1	3,9	2,4	1,8	1,5	1,2	1,2	1,2	0,0
20	1,2	1,0	0,9	1,2	1,1	0,9	0,9	0,8	0,7	1,3	2,3	3,4	5,7	10,6	8,2	7,0	7,0	3,9	2,7	2,4	2,0	1,6	1,4	1,4	0,0
21	1,5	1,3	1,2	1,2	1,1	1,2	0,9	1,3	1,6	2,0	2,8	2,2	3,3	6,5	5,1	5,6	4,5	3,3	2,2	1,8	1,6	1,5	1,3	1,4	0,0
22	1,3	1,4	1,0	0,7	0,8	0,6	0,7	0,9	1,5	0,8	1,5	3,3	4,1	7,3	7,9	7,2	6,5	3,8	2,5	2,3	1,7	1,7	1,6	1,6	0,0
23	1,3	1,3	1,1	1,1	1,0	1,0	0,8	0,9	1,5	2,6	2,9	3,4	5,3	8,3	6,4	8,1	6,7	3,9	2,3	2,1	1,8	1,8	1,7	1,6	0,0
24	1,3	1,2	1,3	1,3	1,2	0,7	0,7	0,7	1,1	1,3	1,8	2,8	3,9	7,8	7,8	5,9	4,4	3,2	2,1	1,7	1,8	1,4	1,1	1,1	0,0
25	1,0	0,9	0,7	0,9	0,8	0,8	1,1	1,3	1,9	2,4	2,1	3,5	3,8	5,6	5,8	6,7	3,5	2,9	2,0	1,6	1,4	1,3	1,0	0,9	0,0
26	1,0	0,9	0,7	0,9	1,1	0,8	0,7	0,9	1,0	2,3	1,6	3,5	5,8	4,1	6,0	8,0	4,9	3,2	2,1	2,2	2,0	2,1	1,9	1,5	0,0
27	1,4	1,5	1,4	1,2	1,3	1,2	0,8	0,8	1,4	2,8	2,9	4,7	4,7	8,1	8,0	7,6	7,4	3,8	2,6	2,0	1,8	1,6	1,6	1,4	0,0
28	1,6	1,3	1,2	1,3	1,0	1,0	1,1	0,8	1,0	2,6	2,8	4,0	5,1	6,9	8,8	8,0	6,8	4,5	2,7	1,9	1,7	1,4	0,9	1,0	0,0
29	0,9	0,9	0,8	0,7	0,7	0,8	0,9	1,0	1,5	2,2	2,3	3,4	5,8	6,3	8,6	7,1	7,3	3,9	2,4	2,1	1,7	1,7	1,5	1,4	0,0
30	1,2	1,2	1,1	1,4	0,9	0,9	0,8	1,1	0,7	1,8	2,4	3,1	4,8	7,4	6,1	7,5	6,4	4,2	2,5	2,0	1,8	1,7	1,5	1,4	0,0

Magnitude das ilhas de calor

T °C	
< 0,0	Ilha de Frescor Fraca
0,0 a 2,0	Média
2,1 a 4,0	Forte
4,1 a 6,0	Muito Forte
> 6,0	

Fonte: Organizado pelo autor a partir de dados de campo (2020)

Tabela 16. Variação horária das magnitudes da ICU do ponto 01 (Ponta do Farol) – 26,1% de Ilhas de Frescor

	Hora																							
Dia	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	precipitação (mm)
1	2,0	2,0	2,1	2,3	2,1	1,8	1,7	1,9	1,3	1,3	1,2	-1,6	-1,7	-2,4	-2,6	-1,0	-0,9	-0,5	0,5	0,9	1,4	1,8	1,6	2,0	0,0
2	2,3	2,1	2,0	2,1	1,9	1,7	1,6	2,0	2,1	1,2	0,3	0,5	-1,8	-2,8	-2,4	-1,5	-1,1	-0,1	0,4	0,9	1,2	1,4	1,5	1,7	0,0
3	1,6	1,6	1,9	2,1	1,9	2,2	1,9	2,0	1,1	1,2	1,0	-0,2	0,5	-0,8	-2,1	-2,7	-1,5	-0,3	0,3	0,8	1,0	1,3	1,4	1,2	0,0
4	1,6	1,6	1,8	2,0	2,1	2,0	2,1	2,1	1,6	0,6	0,6	-0,2	-0,5	-2,7	-1,3	-1,2	-0,9	0,2	0,3	0,9	1,4	1,4	1,5	1,5	0,0
5	1,9	2,0	2,0	2,0	1,8	1,8	2,3	2,3	1,3	1,4	0,4	-0,2	-0,6	-0,6	-1,2	-1,0	-1,7	-0,4	0,2	0,9	1,3	1,4	1,6	1,8	0,0
6	1,8	1,9	2,2	2,3	2,3	1,8	1,7	2,2	1,4	1,2	1,1	-1,0	0,3	-1,7	-2,1	-1,3	0,4	-0,2	0,3	1,4	1,7	2,0	2,8	3,0	0,0
7	2,6	2,4	3,1	2,9	2,7	3,4	3,3	3,0	2,2	1,4	1,2	1,0	0,5	-1,4	-0,9	-0,2	-0,7	-1,1	0,1	1,0	1,6	2,2	2,5	2,3	0,0
8	1,9	1,8	1,6	1,1	1,2	1,2	1,3	1,2	1,5	1,5	1,2	0,1	-0,1	-0,1	-0,9	-0,7	-1,0	-0,6	0,3	0,8	1,2	1,5	1,5	1,5	0,0
9	1,5	1,5	1,7	1,7	1,7	2,0	1,8	1,7	1,0	0,7	-0,1	-0,4	-0,4	-0,6	-0,4	-1,3	-0,8	-0,5	0,3	1,2	1,3	1,5	2,0	2,3	0,0
10	2,2	1,9	1,7	1,7	2,0	1,4	1,9	2,0	0,7	0,1	0,6	0,1	-0,9	-2,4	-2,2	-1,8	-1,2	-0,4	0,2	0,8	1,2	1,4	1,7	1,6	0,0
11	1,8	2,0	1,8	1,7	1,5	1,5	1,3	1,5	0,9	0,5	0,8	-0,5	-1,1	-1,1	-1,6	-0,9	-1,0	0,0	0,2	0,6	1,1	1,2	1,5	1,4	0,0
12	1,4	1,7	1,4	1,6	1,6	1,9	2,1	1,7	1,7	0,5	-0,2	-1,1	-1,4	-0,9	-3,2	-1,4	-1,3	-0,5	0,2	0,8	1,2	1,4	1,4	1,5	0,0
13	1,3	1,3	1,5	1,5	1,9	1,9	2,0	1,9	0,8	0,7	0,9	-0,3	-1,0	-0,7	-1,2	-1,0	-0,9	0,2	0,4	0,8	1,1	1,3	1,0	1,3	0,0
14	1,4	1,5	1,6	1,7	2,0	2,2	1,6	2,0	1,5	0,6	0,9	-0,2	0,9	-0,8	-2,2	-1,6	-1,2	-1,0	0,0	0,7	1,1	1,5	1,5	1,6	1,8
15	1,8	1,8	1,5	1,7	1,9	1,6	1,6	2,1	1,6	0,8	0,4	1,5	-1,9	-1,7	-2,9	-3,4	-1,7	-0,6	0,3	1,0	1,3	1,4	1,5	1,7	0,0
16	1,7	1,9	2,1	2,0	1,8	2,0	1,6	1,9	0,8	1,0	0,5	-0,1	-0,1	-0,5	-1,4	-1,5	-1,2	-1,2	-0,1	0,7	1,1	1,4	1,6	1,9	0,0
17	1,8	1,8	2,0	2,0	1,5	1,2	1,5	1,7	1,2	1,0	0,7	0,4	0,7	-0,4	-1,3	-1,0	-1,0	-0,7	0,4	0,9	1,3	1,2	1,2	1,2	0,0
18	1,2	1,4	1,6	1,4	1,8	2,0	2,0	2,3	1,8	1,1	0,4	0,6	-0,7	-1,8	-1,4	-1,1	-0,7	0,2	0,6	0,8	0,9	1,1	1,4	1,2	0,0
19	1,3	1,5	1,4	1,6	1,6	1,8	1,8	1,6	1,3	1,2	0,1	0,4	0,3	-2,4	-2,0	-1,8	-1,8	-0,3	0,4	0,8	1,0	0,9	1,0	1,2	0,0
20	1,0	1,3	1,2	1,3	1,5	0,8	1,3	1,6	0,8	0,5	0,3	-0,2	0,5	-1,2	-1,4	-1,5	-1,0	-0,5	0,3	0,9	0,9	1,1	1,1	1,2	0,0
21	1,3	0,9	1,0	1,0	1,0	0,8	1,3	1,7	0,9	0,8	0,4	0,1	-0,3	0,4	-0,5	-0,5	0,1	-0,1	0,4	1,0	1,3	1,5	1,4	1,8	0,0
22	1,8	2,2	1,9	1,4	1,8	1,7	1,6	2,0	1,2	-0,2	-0,2	-0,3	-1,0	-1,3	-1,7	-1,5	-1,1	-0,5	0,3	0,9	0,9	1,1	1,7	1,8	0,0
23	1,5	1,8	1,7	1,8	1,6	1,1	1,2	1,5	0,6	0,8	0,6	0,3	-0,8	-1,3	-1,4	-1,0	-1,2	-0,4	0,4	0,9	0,9	1,4	1,5	1,7	0,0
24	1,7	1,4	1,7	1,5	1,2	1,3	1,7	1,8	0,9	0,7	0,1	0,3	-2,1	-1,9	-2,2	-1,8	-1,2	-0,1	0,2	1,0	1,3	1,4	1,3	1,3	0,0
25	1,2	1,3	1,2	1,3	1,3	1,6	1,9	1,9	1,2	0,8	0,6	-0,2	-1,2	-1,4	-1,3	-1,1	-1,1	-0,1	0,4	0,9	0,8	1,2	1,0	1,3	0,0
26	1,1	1,1	1,1	1,5	1,5	1,5	1,4	1,6	0,1	0,9	-0,1	0,2	0,5	-2,3	-1,4	-1,9	-1,4	-0,6	0,3	0,8	1,1	1,5	1,4	1,5	0,0
27	1,6	1,5	1,6	1,6	1,5	1,5	1,2	1,5	1,2	1,0	0,6	-0,1	-1,7	-0,8	-0,2	-0,3	-0,8	-0,4	0,4	0,7	0,9	1,3	1,5	1,1	0,0
28	1,1	0,8	1,0	1,4	1,3	1,4	1,8	1,4	0,8	0,7	0,1	-0,2	-0,3	-2,2	-1,7	-1,4	-1,4	-0,3	0,2	0,7	1,1	1,0	1,0	1,0	0,0
29	1,1	1,0	1,0	1,1	1,3	1,4	1,6	1,2	0,5	0,8	0,0	-0,3	1,3	-2,1	-1,8	-2,3	-1,3	-0,2	0,1	0,7	0,9	1,0	1,0	1,1	0,0
30	1,1	1,3	1,2	1,5	1,5	1,3	1,3	1,4	0,3	0,9	0,3	-0,8	-0,4	-2,3	-2,0	-1,3	-1,4	-0,3	0,4	0,7	1,2	1,2	1,3	1,2	0,0

Magnitude das ilhas de calor

T °C

- < 0,0 Ilha de Frescor
- 0,0 a 2,0 Fraca
- 2,1 a 4,0 Média
- 4,1 a 6,0 Forte
- > 6,0 Muito Forte

Fonte: Organizado pelo autor a partir de dados de campo (2020)

5. CONCLUSÃO

Esta pesquisa, que estudou as ilhas de calor na cidade de São Luís, demonstrou um grande potencial no que tange a geografia, mais especificamente à climatologia urbana. A pesquisa utilizou-se de procedimentos teóricos e metodológicos consagrados na climatologia urbana brasileira, trazendo, portanto, importantes contribuições para a área de estudos e para as pesquisas que se sucederão a partir desta.

A pesquisa discutiu os pressupostos teóricos para a identificação das ilhas de calor, assim como os tipos de ICU estudados na atualidade.

Sedo assim, além da pesquisa possuir uma base sólida sob o ponto de vista acadêmico e técnico, ela poderá servir aos gestores das esferas municipais, estaduais e federais que em comum estejam interessados em dados científicos sobre o clima urbano. Com isso, poderão implementar políticas de planejamento e gestão ambiental do clima das cidades dentro do contexto do século XXI, tema este considerado emergente para se pensar a qualidade dos ambientes urbanos.

As propostas metodológicas apresentadas foram de grande valia para o desenvolvimento da do estudo, pois o entendimento das discussões acerca das intensidades da ICU e suas magnitudes, em conjunto com a base teórica do sistema clima urbano proposto pelo professor Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro, bem como a noção de ritmo climático, foram essenciais para o bom desenvolvimento científico e ajudaram a nortear o encaminhamento do estudo desde o seu desenvolvimento inicial até sua finalização.

No que se refere as ilhas de calor superficiais, foram analisados dois períodos específicos, sendo eles, junho e agosto de 2020. Foram observados que a grande massificação do tecido urbano de São Luís, com alto nível de adensamento de construções, influencia diretamente na temperatura de superfície dos alvos urbanos. As maiores temperaturas foram registradas em grande parte nas áreas construídas, como baixa presença de vegetação, área centrais e de grande fluxo e habitações.

Em contrapartida, as menores intensidades das ICU foram registradas em áreas com grande quantidade de vegetação natural, como as unidades de conservação e áreas de preservação permanente, bem como em áreas do urbano que apresentam mais arborização devido ao perfil de habitação apresentado nessas áreas.

As magnitudes das ICUs foram maiores durante o mês de junho (mês mais chuvoso), registrando magnitudes de baixa, média, forte e muito forte. No mês de agosto foram registradas magnitudes das ICUs baixa e média.

Provavelmente, o fato de as maiores magnitudes das ilhas de calor superficiais terem ocorrido no mês mais chuvoso, decorrem do aquecimento diferencial da superfície resultantes dos diversos arranjos urbanos contribuírem para a modificação do fator espectral de alvos na faixa do infravermelho próximo.

A etapa relacionada ao estudo das ICUs foi de grande valia para o desenvolvimento da pesquisa, todavia, foram encontrados problemas que de certa forma impossibilitaram uma análise mais detalhada, com um maior número de imagens de satélite. A alta evaporação potencial de áreas costeiras, e como já destacado, o grande número de nuvens que recobrem essas áreas durante todos os períodos do ano, sendo intensificado no período chuvoso, se torna um grande limitador para pesquisas que visam a análise das alterações da ICUs ao longo de um ano específico ou uma série temporal mais longa.

No estudo da ICU atmosférica da camada inferior (*urban canopy layer*), foram encontrados resultados expressivos. As diferenças de temperaturas (intensidades) nas áreas estudadas se manifestaram de forma mais expressiva no período diurno. Este fato se diferencia de estudos das ICU em cidades continentais, em que a intensidade noturna é maior.

Um fator que pode levar a essa situação é a presença da brisa marinha que ajuda na dissipação do calor e "homogeneização" da temperatura do ar entre as diferentes localidades durante o período noturno.

As áreas que mais apresentaram altas intensidades foram a região nordeste da área de estudo e os setores que evolvem a região da Cidade Operária. Isso decorre do alto adensamento de construções, da mistura de habitações de uma mesma área que vão desde conjuntos habitacionais a áreas de ocupação espontânea, baixa arborização, e o afastamento da linha de costa. Este último fator, de certo modo, dificulta o efeito da brisa que segue no sentido nordeste adentrando a zona urbana e arrefecendo os ambientes.

De forma geral, as magnitudes com maior número de registros foi a de fraca magnitude, somando o total de 76,5%, principalmente no período noturno e no início da manhã.

Vale ressaltar que houve 2,3% dos dados relacionados a ilhas de frescor, sendo que a grande maioria desses (26,1%) foi do ponto 01 (ponta do Farol), região de grande verticalização da zona urbana. Essa área em específico, apesar de possuir grande verticalização, fator que por si só poderia produzir um efeito negativo para aumento das temperaturas, se encontra em uma área de maior planejamento urbano da cidade, com prédios de alto padrão construtivo que obedecem a critérios de arquitetura urbana, possuem limites de distanciamento entre habitações

respeitados, e estão muito próximo da linha de costa, o qual sofre influência direta das brisas marinhas e da maritimidade, fatores amenizadores da temperatura do ar.

Na presente pesquisa, para o grande número de dados apresentados, a utilização de técnicas estatísticas descritivas foi de essencial importância para o entendimento do padrão inicial das temperaturas urbanas na área de estudo. Acredita-se que ainda são necessárias estatísticas mais refinadas que permitam analisar o contexto dos dados que evolvam o estudo da dinâmica baseado no rítmico climático, para perceber os diferentes agrupamentos e relações que as temperaturas possam ter com outras variáveis ambientais.

Como medidas de avanços e instruções metodológicas para pesquisas posteriores, sugere-se atenção maior a estudos que focalizem a modelagem climática urbana em todas as escalas (físicas, ambientais e sociais), e que tragam cada vez mais a situação de risco e vulnerabilidade dos indivíduos, para com as variabilidades do clima das cidades.

REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. Contribuição à geomorfologia do Estado do Maranhão. **Notícia Geomorfológica**, v. 3, n. 5, p. 35-45, 1960.

ABRÃO, C. M. R., CUNHA, E. R., GREGÓRIO, E. C., & BACANI, V. M. Avaliação de classificadores supervisionados e não supervisionados para mapeamento de uso e cobertura da terra a partir de dados Landsat-8/OLI. **Anais XVII Simpósio de Sensoriamento Remoto–SBSR**, João Pessoa-PB, Brasil, INPE. 2015. Disponível em < http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p1085.pdf >

AB'SÁBER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil**: potencialidades paisagísticas. 2º ed. São Paulo: Ateliê editorial, 2003.

ALMEIDA, R. S. **Uso de geotecnologias nos estudos de clima urbano**: aplicação do Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento na análise multitemporal da temperatura da superfície terrestre na Ilha do Maranhão. 64f. (Graduação em Geografia) Universidade Federal do Maranhão. São Luís, 2017.

AMORIM, M. C. C. T. **Ilhas de calor em cidades tropicais de médio e pequeno porte: teoria e prática.** Curitiba: Appris, 2020, 161p.

AMORIM, M. C. C. T. Ilhas de calor urbanas: métodos e técnicas de análise**. Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, 2019.

AMORIM, M. C. D. C. T., DUBREUIL, V., QUENOL, H., & NETO, J. L. S. A. (2009). Características das ilhas de calor em cidades de porte médio: exemplos de Presidente Prudente (Brasil) e Rennes (França). **Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasilera de geografia**, n. 7, 2009.

AMORIM, M. C. T. **O clima urbano de Presidente Prudente/SP** Tese (Doutorado em Geografia). FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP, São Paulo, 2000.

AMORIM[a], M. C. C. T. Detecção remota de ilhas de calor superficiais: Exemplos de cidades de porte médio e pequeno do ambiente tropical, Brasil**. Finisterra-Revista Portuguesa de Geografia**, n. 105, p. 111-133, 2017.

AMORIM[b], M. C. C. T. **Teoria e método para o estudo de ilhas de calor em cidades tropicais de pequeno e médio porte**. 178 f. TESE (LIVRE DOCÊNCIA). Departamento de Geografia da Faculdade de Ciência e Tecnologia, Presidente Prudente – SP, 2017.

ARAÚJO, R. C. **Verticalização e impactos microclimáticos: o caso da Península da Ponta D'Areia, município de São Luís -MA São Luís**. 71f. (Graduação em Geografia) Universidade Federal do Maranhão. São Luís, 2017.

ARAÚJO, R. R**. Clima e vulnerabilidade sócio-espacial**: uma avaliação dos fatores de risco na saúde da população urbana do município de São Luís (MA). 289f. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista "Júlio Mesquita Filho" – UNESP, Presidente Prudente, 2014.

ARAÚJO, R. R. **O processo de urbanização na produção do clima urbano de São Luís-MA.** 178f**.** Dissertação (Mestrado em Geografia) -Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista "Júlio Mesquita Filho" – UNESP, Presidente Prudente, 2001.

ARMOND, N. B. **Dinâmica climática, excepcionalidades e vulnerabilidade:** contribuições para uma classificação. 170f. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista "Júlio Mesquita Filho" – UNESP, Presidente Prudente, 2018.

BARBOSA, E. G. R. **Leitura Urbana de São Luís:** Diagnóstico da lei de zoneamento, parcelamento, uso e ocupação do solo. São Luís: INCID, 2014.

BARROS, J. R.; ZAVATTINI, J. A. BASES CONCEITUAIS EM CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA (the conceptual bases in geographical climatology). **Mercator**, v. 8, n. 16, p. 255 a 261-255 a 261, 2009.

BIBLIOTECA NACIONAL DIGITAL. **Planta da cidade de São Luís (1912). Disponível em:** < http://objdigital.bn.br/objdigital2/acervo_digital/div_cartografia >

BORSATO, V. **A dinâmica climática do Brasil e massas de ares**. 1. Ed. Curitiba: CRV, 2016.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Base Cartográfica:** malhas municipais 2015. Disponível em < https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais>.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Base de Faces de Logradouros do Censo Demográfico de 2010**. Disponível em < ftp://geoftp.ibge.gov.br/recortes_para_fins_estatisticos/malha_de_setores_censitarios/censo_2010/base_de_faces_de_logradouros>.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Censo Demográfico:** resultados preliminares. Rio de Janeiro: IBGE, 1961.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Censo demográfico de 1980:** resultados preliminares. Rio de Janeiro: IBGE, 1981.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Censo demográfico de 1991:** resultados preliminares. Rio de Janeiro: IBGE, 1992.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Densidade demográfica**: Censo Demográfico 2010, Área territorial brasileira. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Estimativas da população residente para os municípios e para as unidades da federação com data de referência em 1º de julho de 2019:** [notas metodológicas]. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **PIB per capita**: em parceria com os Órgãos Estaduais de Estatística, Secretarias Estaduais de Governo e Superintendência da Zona Franca de Manaus – SUFRAMA. Rio de Janeiro: IBGE, 2017.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Sinopse Preliminar dos Resultados Demográficos**: segundo as unidades da federação e municípios. Rio de Janeiro: IBGE, 1941.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Sinopse preliminar do censo demográfico**: 1950. Rio de Janeiro: IBGE, 1951.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Sinopse preliminar do censo demográfico:** 2000. Rio de Janeiro: IBGE, 2000.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Sinopse preliminar do censo demográfico:** 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Tabulações avançadas do censo demográfico:** VIII recenseamento geral - 1970. Rio de Janeiro: IBGE, 1971.

BRASIL. Recenseamento do Brazil de 1872. Rio de Janeiro: Typ. G. Leuzinger, 1874

BRASIL. **Synopse do recenseamento de 31 de dezembro de 1900 = Precis du recensement 31 decembro 1900 / Directoria Geral de Estatistica**. Rio de Janeiro: Typ. da Estatística, 1905.

BURNETT, F. L. **Urbanização e Desenvolvimento Sustentável**: a sustentabilidade dos tipos de urbanização na cidade de São Luis. 1ª. ed. São Luís: Estação Gráfica, 2008.

CARDOSO, A. A conquista do Maranhão e as disputas atlânticas na geopolítica da União Ibérica (1596-1626). **Revista Brasileira de História**, v. 31, n. 61, p. 317-338, 2011.

CARVALHO, C. B., CUTRIM, K. G. São Luís, a Manchester do Norte: a cidade (re) significada pelos discursos do patrimônio. **MOARA–Revista Eletrônica do Programa de Pós-Graduação em Letras**, v. 1, n. 43, p. 161-169, 2016.

CARVALHO, C. B.; CUTRIM, K. G. São Luís, a Manchester do Norte: a cidade (re) significada pelos discursos do patrimônio St. Louis, North Manchester: the resignification of the city by heritage discourses. **MOARA – Revista Eletrônica do Programa de Pós-Graduação em Letras**, n. 43. 2015.

CARVALHO, C. D. **Météorologie du Brésil**. Londres: John Bale, Sons & Danielson, 1917.

CARVALHO, C. M. B. **A genealogia do patrimônio em São Luís: da Athenas à capital da diversidade**. 151f. Tese (Doutorado). Programa Linguística e Língua Portuguesa da Faculdade de Ciências e Letras – Universidade Estadual Paulista, Araraquara/SP, 2009;

CARVALHO. I. S. A Bacia de São Luís. In: BRITO, I. M. **Geologia Histórica**. Uberlândia: Editora da Universidade Federal de Uberlândia, 2001.

CAVALCANTI, I.F.B.; FERREIRA, N.J.; SILVA, M.G.A.J.; DIAS, M.A.F.S. **Tempo e clima no Brasil.** São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – CEMADEN**. Download - Dados Pluviométricos (2020)**. Disponível em: < http://www2.cemaden.gov.br/mapainterativo/#>. Acesso em 24 de dezembro de 2020.

CHANDLER, T. J. **The climate of London**. London: Hutchison of London, 1965. 287p.

COHEN, J.; CAVALACANTI, I.F.B.; BRAGA, R.H.M.; NETO, L.S. Linhas de Instabilidade na Costa N-NE da América do Sul. In: FERREIRA, N.J.; SILVA, M.G.A.J.; DIAS, M.A.F.S. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

D' ABBEVILLE, C. m. 1632. **História da missão dos padres capuchinos na ilha do Maranhão**. São Paulo: Ed. da Universidade São Paulo, 1975.

D'ABBEVILLE, C. **História da missão dos padres Capuchinhos na ilha do Maranhão e terras circunvizinhas**. Belo Horizonte/São Paulo, Itatiaia/Edusp, 1975.

DA SILVA, G. R. P. OS **Efeitos de áreas agrícolas urbanas na intensidade da ilha de calor em Florianópolis – SC**. 122f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista "Júlio Mesquita Filho" – UNESP, Presidente Prudente, 2020.

DANNI-OLIVEIRA, I. E. **A Cidade de Curitiba e a Poluição do ar**. Tese (Doutorado em Geografia). FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP, São Paulo, 1999.

DANNI-OLIVEIRA, I. E. **Aspectos temporo-espaciais da temperatura e umidade relativa de Porto Alegre em Janeiro de 1982:** contribuição ao estudo do clima urbano. Dissertação (Mestrando em Geografia). FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP, São Paulo, 1987.

DANTAS, M. E.; SHIZATO, BANDEIRA, I. C. N.; SOUZA, L. V.; RENK, J. F. C. COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA. In:_____ BANDEIRA, I. C. N. **Geodiversidade do estado do Maranhão**. Teresina: CPRM, 2013.

DINIZ, J. S. **A dinâmica do processo de segregação socioespacial em São Luís (MA):** O caso da Vila Cascavel. XX f. Dissertação (Mestrado em Políticas Públicas). Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas -Universidade Federal do Maranhão, São Luís/MA, 1999.

DINIZ, J. S. As condições e contradições no espaço urbano de São Luís (MA): traços periféricos. In:_RODRIGUES, S. J. D; SANTOS, L. E. N. dos; COSTA, C. R. R. da. **Temas da Geografia do Maranhão**: territórios e desenvolvimento regional. Lugar educação e cultura. São Luís: EDUFMA, 2017.

Divisão de Processamento de Imagens. **SPRING versão (2.14).** Disponível em: < http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/download.php >.

DORIGON. L. P. **Unidades climáticas a partir das paisagens urbanas de Jundiaí/SP**. 130f Tese (Doutorado em Geografia). Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista "Júlio Mesquita Filho" – UNESP, Presidente Prudente, 2019.

DRAENERT, F. M. **O clima do Brazil**. Rio de Janeiro: Typographia Carlos Schmidt, 1896.

DUBREUIL, V.; DAMATO, F.; PLANCHON, O.; PASSOS, M. M. Contribuição dos dados GOES para a cartografia das frentes da brisa marítima no Nordeste. **Anais.** VI Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica. 2004.

DUBREUIL, V.; FANTE, K. P.; PLANCHON, O.; SANT'ANNA NETO, J. L. Os tipos de climas anuais no Brasil: uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015. **Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasilera de geografia**, n. 37, 2018.

EL-ROBRINI, M.; MARQUES, R. V.; SILVA, M. A. M. A.; EL-ROBRINI, M. H. S. ; FEITOSA, A. C. ; TAROUCO,J.E.F ; SANTOS, J. H. S. ; VIANA, J. R. . Erosão e progradação do litoral brasileiro: Maranhão. In:_MUEHE, D. (Org.). **Erosão e progradação do litoral brasileiro**. 1º ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006.

EMPRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro, 2009

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 5° ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2018.

ESRI. **ARCGIS PRO (2.5 version).** Disponível em < https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-pro/overview>.

FANTE, K. P. **Eventos extremos de temperatura e seus impactos no conforto térmico humano:** estudo de caso em Presidente Prudente, Brasil, na perspectiva da geografia do clima. 327f. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista "Júlio Mesquita Filho" – UNESP, Presidente Prudente, 2019.

FARIAS FILHO, M.S. Caracterização geoambiental da Área de Proteção Ambiental da área do Maracanã. In:_____ CARVALHO NETA. R. N. F. **Área de Proteção Ambiental do Maracanã:** subsídios ao manejo e à Educação Ambiental. São Luís-MA: FAPEMA, 2015.

FEITOSA, A. C. **Dinâmica dos processos geomorfológicos da área costeira a nordeste da ilha do Maranhão**. Rio Claro. 249p. Tese (Doutorado)– Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Programa de Pós-Graduação em Geografia, Rio Claro, 1996.

FEITOSA, A. C. **Evolução morfogenética do litoral norte da ilha do Maranhão**. 249f. Dissertação. (Mestrado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Rio Claro (SP), 1990.

FEITOSA, A. C. Relevo do Estado do Maranhão: uma nova proposta de classificação topomorfológica. **Anais**. VI Simpósio Nacional de Geomorfologia/Regional Conference in Geomorphology, Goiânia. Geomorfologia Tropical e subtropical: processos, métodos e técnicas. Goiânia: IAG; UGB, 2006.

FEITOSA, A. C.; TROVÃO, J. R. **Atlas Escolar do Maranhão**: espaço Geo-histórico e cultural. João Pessoa-PB: Editora Grafsset, 2006.

FERNÁNDEZ GARCÍA, F. **Manual de Climatologia Aplicada**: clima, médio ambiente e planificación. Madrid: Editorial sínteses, S.A., 1996.

FERREIRA, A. J. F. **A produção e reprodução do espaço urbano de São Luís do Maranhão:** passado, presente; há futuro? São Luís: EDUFMA, 2014.

FERREIRA, A.G.; MELLO, N.G.S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, Vol. 1, Nº 1. 2005.

FERREIRA, L. G.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, M. E. Sensoriamento remoto da vegetação: evolução e estado-da-arte. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 30, n. 4, p. 379-390, 2008.

FIALHO, E. S., FERNANDES, L. A., CORREA, E. S. C. Climatologia urbana: conceitos, metodologias e técnicas. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, 2019.

FRANÇA, A. **Estudo sobre o clima da Bacia de São Paulo**. Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, n. 70, São Paulo: USP, 1946.

FUKUI, E.; WADA, T. Horizontal Distribution of the Air Temperature in Greater Cities of Japan. Geographical Review of Japan, v. 17, n. 5, p. 354-372, 1941.

GAIDA, W., BREUNIG, F. M., GALVÃO, L. S., & PONZONI, F. J. (2020). Correção Atmosférica em Sensoriamento Remoto: Uma Revisão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 01, p. 229-248, 2020.

GARTLAND, L. Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. São Paulo: Oficina de textos, 2010.

GATTI, B. A.; FERES, N. L. **Estatística básica para ciência humanas**. São Paulo: Alfa-Omega, 1978.

GATTI, B. A.; FERES, N. L. **Estatística básica para ciências humanas**. 1º ed. São Paulo: Editora ALFA-OMEGA LTDA, 1975.

GILBERTO. S. C.; PEREIRA. P. R. M.; SIQUEIRA JUNIOR, E. A. FARIAS FILHO, M.S. TIPOLOGIAS VEGETACIONAIS DA ILHA DO MARANHÃO. In: FARIAS FILHO, M.S. CELERI, M. J. **A Geografia da ilha do Maranhão.** São Luís-MA: EDUFMA, 2015.

GOMES, W. P. **Características da temperatura na zona costeira: análise do clima urbano em Ubatuba-SP**. 209f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista "Júlio Mesquita Filho" – UNESP, Presidente Prudente, 2017.

HOWARD, L. **The Climate of London**, 1-3. 1833.

HUNTINGTON, E. **Civilization and climate**. New Haven: Yale University Press, 1915.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). **Normais Climatológicas do Brasil 1981 – 2010**. Brasília – DF: Edição Digital, 2018.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). **Tabela de dados e Estações**. Disponível em: < https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A001>. Acesso em 12 de dezembro de 2020.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. Parêntese, 2011.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, n.1, p. 159-174, 1977.

LANDSBERG, H. E. The climate of towns. **Man's Role in Changing the Face of the Earth**, v. 2, p. 584-606, 1956.

LANDSBERG, H. E. **The urban climate.** New York: Academia Press, 1981.

LATORRE, M. L., CARVALHO JÚNIOR, O. A. D., CARVALHO, A. P. F. D., & SHIMABUKURO, Y. E. Correção atmosférica: conceitos e fundamentos. **Espaço & Geografia**, v.5, n, 01, 2002.

LEITE, C. G. **Alterações da ventilação urbana frente ao processo de verticalização de avenidas litorâneas:** o caso da avenida litorânea em São Luis/MA. 227f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura). FAUSP - Universidade de São Paulo – São Paulo, 2008.

LIU, W. T. H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. 2º ed. Oficina de Textos, 2015.

LOMBARDO, M. A. **A Ilha de Calor nas Metrópoles**: O Exemplo de São Paulo. São Paulo: Hucitec, 1985.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor da metrópole paulistana**. 210f. Tese (Doutorado em Geografia). FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP, São Paulo, 1984.

LOPES, E. C. D.; TEIXEIRA, S. G. CONTEXTO GEOLÓGICO. In: _____ BANDEIRA, I. C. N. (Org.). **Geodiversidade do estado do Maranhão**. Teresina: CPRM, 2012.

LORENZETTI, J. A. **Princípios físicos de Sensoriamento Remoto**. São Paulo: Editora Blucher, 2015.

LUKE, Howard. **The climate of London**. **Deduced from Meteorological Observations, Made at Different Places in the,** 1818.

MAPBIOMAS. **Cobertura e transições municípios**: dados de área (ha) de cobertura e uso do solo por município de 1985 a 2020 (coleção 6.0). Disponível em: < https://mapbiomas.org/estatisticas>. Acesso em 14 de dezembro de 2020.

MARANHÃO. **Lei complementar nº 174, de 25 de maio de 2015**: dispõe sobre a instituição e gestão da Região Metropolitana da Grande São Luís e revoga as Leis Complementares

Estaduais nº038 de 12 de janeiro de 1998, nº 069 de 23 de dezembro de 2003, nº153 de 10 de abril de 2013, nº161 de 03 de dezembro de 2013 e as demais disposições em contrário. Diário Oficial do Estado do Maranhão, 2015.

MEIRELES, M. M. **História do Maranhão**. 3º ed. São Luís/MA: Editora Siciliano, 2001.

MELO, E. T.; SALES, M. C. L.; OLIVEIRA, J. G. B. Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do Riacho dos Cavalos, Crateús-CE**. Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 23, 2011.

MENDONÇA, F. A. **O clima e o planejamento urbano de cidades de porte médio e pequeno:** proposição metodológica para o estudo e sua aplicação à cidade de Londrina/PR. 300f. Tese (Doutorado em Geografia). FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP, São Paulo, 1995.

MENDONCA, F. A.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia**: Noções básicas e climas do Brasil. 1. ed. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2007

MENDONÇA. F. A. O Estudo do SCU – Sistema Clima Urbano – no Brasil. In: MONTEIRO, C. A. F. A.; SANT'ANNA NETO, J. L.; MENDONÇA. F. A.; ZAVATINNI, J. A. **A construção da Climatologia Geográfica no Brasil**. Alínea Editora, 2015.

MENDONÇA. F. A; MONTEIRO, C. A. F. **Clima Urbano**. 2º ed. São Paulo: CONTEXTO, 2011.

MENESES, P. R., & SANO, E. E. (2012). Classificação pixel a pixel de imagens. In: _____ **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: UnB/Cnpq, 2012.

MICROSOFT CORPORATION. **Microsoft Excel® 365 (2018).** Disponível em < https://www.microsoft.com/pt-br/microsoft-365/business/compare-all-microsoft-365-business-products-b>

MOHRIAK, W. U. Bacias sedimentares da margem continental Brasileira. In: BIZZI, L. A., SCHOBBENHAUS, C., VIDOTTI, R. M., & GONÇALVES, J. H. **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil**. Brasília: CPRM, 2003.

MONTEIRO, C. A. F. A Climatologia Geográfica no Brasil e a Construção de um Novo Paradigma. In: MONTEIRO, C. A. F. A.; SANT'ANNA NETO, J. L.;MENDONÇA. F. A.; ZAVATINNI, J. A. **A construção da Climatologia Geográfica no Brasil**. Alínea Editora, 2015.

MONTEIRO, C. A. F. Análise Rítmica em Climatologia. **Climatologia, USP/IG**, São Paulo, nº 1, p. 1-21, 1971.

MONTEIRO, C. A. F. O estudo geográfico do clima. **Cadernos Geográficos, Florianópolis**, v. 1, n. 1, p. 7-72, 1999.

MONTEIRO, C. A. F. Teoria e Clima Urbano. In: MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA. F. A.; **Clima Urbano**. São Paulo: CONTEXTO, 2009.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e Clima Urbano**. **USP/IG,** São Paulo, 1976

MOREIRA, J. L. (2016). **O Clima Urbano em Penápolis/SP: Análise da temperatura e umidade intraurbana**. 207f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista "Júlio Mesquita Filho" – UNESP, Presidente Prudente, 2016.

MOREIRA, T. S. **Gestão metropolitana:** a região metropolitana da grande São Luís e os desafios da política urbana. Dissertação (Mestrado) - Curso de Desenvolvimento Socioespacial e Regional, Universidade Estadual do Maranhão, São Luís – MA, 2013

MORIZE, H. **Contribuição ao estudo do clima do Brasil**. Rio de Janeiro: Min. da Agricultura, 1922.

MORIZE, H. **Esboço da climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Observatório Astronômico, 1889.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Superintendência de Recursos Naturais e Meio Ambiente (SUPREN), 1979.

NIMER, Edmon. Circulação atmosférica do Nordeste e suas consequências: o fenômeno das secas. **Revista Brasileira de Geografia**, Brasília, v. 26, n. 2, p.03-13, abril- junho 1964.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto**: princípios e aplicações. 4º ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2009.

Núcleo Geoambiental – NUGEO/UEMA. **Laboratório de Meteorologia**: Estações Meteorológicas. Disponível em: < https://www.nugeo.uema.br/?page_id=5378>. Acesso em 24 de dezembro de 2020.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. London: Methuem & Ltd. A. Halsted Press Book, John Wiley & Sons, New York, 1978. 372p.

OKE, T. R.; MILLS, G., CHRISTEN, A. VOOGT, J. A. **Urban climates**. Cambridge University Press, 2017.

PEIXOTO, A. **Clima e Saúde**. São Paulo: Cia Editora Nacional, 1938. (Série Brasiliana, vol. 129).144 p.

PEIXOTO, A. **Climas do Brasil.** Congresso Brasileiro de Geografia, Florianópolis. Rio de Janeiro: CNG, 1942. Vol. 2, p. 390-398.

PEIXOTO, A. **Climatologia do Brasil.** Rio de Janeiro: Imprensa Nacional, 1907.

PEIXOTO, Afrânio. **Clima e saúde**: introdução bio-geográfica à civilização brasileira. Brasiliana, 1938.

PEREIRA, E. D. **Avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação do solo e aquífero do reservatório Batatã - São Luís (MA)**. 133f. Tese (Doutorado em Geociências). Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro - SP, 2006

PINHEIRO, J. M. **Clima Urbano da Cidade de São Luís do Maranhão**. 2018. 242f. Tese (Doutorado em Geografia Física) Programa de Pós-Graduação em Geografia Física) Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

PINHEIRO, J. M. Dinâmica climática da ilha do maranhão. In: FILHO, S.F e CELERI, M. J. (Org.) **Geografia da ilha do Maranhão**. 1ed. São Luís: EDUFMA, 2015, v. 1, p. 24-53.

RAMPAZZO, C. R. **Clima urbano, risco climático e vulnerabilidade socioespacial mediados pela produção do espaço urbano em cidades paulistas (São Carlos, Marília e Presidente Prudente)**. 280f. Tese (Doutorado em Geografia). Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista "Júlio Mesquita Filho" – UNESP, Presidente Prudente, 2019.

RENOU, Emilien. Differences de temperature entre la ville et la campagne**. Annuaire Société Météorologie de France**, v. 3, p. 83-97, 1868.

RODRIGUES, T. L. D. N. *et al.* São Luís, Folha SA.23-Z-A, Cururupu, Folha SA.23-X-C: Estado do Maranhão. In: **Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – PLGB |Projeto Especial Mapas de Recursos Minerais de Solos e de Vegetação para a Área do Programa Grande Carajás. Subprojeto de Recursos Minerais**. Brasília: CPRM, 1994.

RODRIGUES. Z. M. R. **Geografia da saúde e o espaço urbano de São Luís-MA**: interface nas relações do processo saúde ambiente no período de 1954. São Luís: EDUFMA, 2014.

SANT'ANNA NETO, J. L. **As chuvas no Estado de São Paulo:** contribuição ao estudo da variabilidade e tendência da pluviosidade na perspectiva da análise geográfica**.** Tese (Doutorado em Geografia). FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP, São Paulo, 1995.

SANT'ANNA NETO, J. L. As Matrizes da Construção da Climatologia Geográfica Brasileira. In:_MONTEIRO, C. A. F. A.; SANT'ANNA NETO, J. L.; MENDONÇA. F. A.; ZAVATINNI, J. A. **A construção da Climatologia Geográfica no Brasil**. Alínea Editora, 2015.

SANT'ANNA NETO, J. L. Da climatologia geográfica à geografia do clima Gênese, paradigmas e aplicações do clima como fenômeno Geográfico. **Revista da ANPEGE**, v. 4, n. 04, p. 51-72, 2008.

SANT'ANNA NETO, J. L. **História da climatologia no Brasil:** gênese, paradigmas e a construção de uma geografia do clima. Tese (Livre Docência). Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente/SP, 2001.

SANT'ANNA NETO, J. L. Por uma Geografia do Clima-antecedentes históricos, paradigmas contemporâneos e uma nova razão para um novo conhecimento. **Terra Livre**, v. 2, n. 17, p. 49-62, 2015.

SANT'ANNA NETO, J. L. **Ritmo climático e a gênese das chuvas na zona costeira paulista**. 156f. Dissertação (Mestrado em Geografia). FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP, São Paulo, 1990.

SANTOS, L. E. N. D. Estratégias do capital na produção do espaço urbano: o processo de verticalização e as desigualdades socioespaciais em São Luís. **Caderno de Geografia**, v. 25, n. 44, p. 191-220, 2015.

SANTOS, L. E. N. D; TAVARES, J. C. A produção do espaço urbano e o cotidiano: reflexões para o município de São Luís, MA. **Cadernos de Pesquisa**, v. 18, n. especial, 2011.

SANTOS, M. E. D. C. M.; CARVALHO, M. S. S. D. **Paleontologia das bacias do Parnaíba, Grajaú e São Luís**. Rio de Janeiro: CPRM, 2009.

SÃO LUÍS. Instituto da Cidade, Pesquisa e Planejamento Urbano e Rural – INCID. **Bairros e Regiões:** Bairros. São Luís: INCID, 2010. Disponível em < https://www.agenciasaoluis.com.br/site/arquivodacidade/2236>

SÃO LUÍS. Instituto da Cidade, Pesquisa e Planejamento Urbano e Rural – INCID. **Base cartográfica dos bairros de São Luís, 2013**. Disponível em < https://www.agenciasaoluis.com.br/site/arquivodacidade/2236>

SÃO LUÍS. **Lei 3.253, de 29 de dezembro de 1992**: dispõe sobre o dispõe sobre o zoneamento, parcelamento, uso e ocupação do solo urbano e dá outras providências. Diário Oficial de São Luís, 1992.

São Luís. **Lei nº 4.669, de 11 de outubro de 2006**. Dispõe sobre o plano diretor do município de São Luís e dá outras providências. Diário Oficial do Município de São Luís, 2006.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM. **Mapas de geodiversidade estaduais**: Geodiversidade do estado do Maranhão (2013). Disponível em: <https://geosgb.cprm.gov.br/geosgb/downloads.html>.

SHIMABUKURO, Y. E.; NOVO, E. M.; PONZONI, F. J. Índice de vegetação e modelo linear de mistura espectral no monitoramento da região do Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 13, p. 1729-1737, 1998.

SILVA, A. L. C. **Falas de decadência, moralidade e ordem**: a "História do Maranhão" de Mário Martins Meireles. 177f. Dissertação (Mestrando em História) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo - SP, 2008.

SILVA, Q. D. D. **Mapeamento geomorfológico da Ilha do Maranhão**. 249f. Tese (Doutorado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em geografia, Universidade Estadual Paulista - "Júlio de Mesquita Filho", Programa de Pós -Graduação em Geografia Presidente Prudente-SP, 2012.

SILVESTRE, M. R. **Técnicas estatísticas utilizadas em climatologia geográfica:** diagnóstico e propostas. 409f. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista "Júlio Mesquita Filho" – UNESP, Presidente Prudente, 2016.

SORRE, M. Les fondements biologiques de la géographie humaine. **A. Colin**, 1951.

STATSOFT INC. 2004. **Statistic:** data analysis software system, version 7. Disponível em < http://www.statsoft.com/ >

STEWART, I. D. Landscape representation and the urban-rural dichotomy in empirical urban heat island literature, 1950–2006**. Acta Climatologica et Chorologica**, v. 40, n. 41, p. 111-121, 2007.

STEWART, I. D. Why should urban heat island researchers study history?. **Urban Climate**, v. 30, p. 100484, 2019.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. Local climate zones for urban temperature studies. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 93, n. 12, p. 1879-1900, 2012.

SURFER ON SOFTWARE. 2004. **Surfer 11**: Perform 3D surface mapping, surface analysis, or terrain modeling. Disponível em < https://surfer.software.informer.com/11.2/>

TARIFA, J.R.; VASCONCELOS, R. The Local Climate of São Luís Island: environmental approach. In: **Latin american regional conference**, 1982, São Paulo.

TEIXEIRA, D. C. F. (2015). **O clima urbano de Rancharia (SP)**. 212f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista "Júlio Mesquita Filho" – UNESP, Presidente Prudente, 2015.

TEIXEIRA, D. C. F. **O clima urbano de cidades de pequeno porte do oeste paulista: análise do perfil térmico de Presidente Venceslau, Santo Anastácio e Álvares Machado, Brasil.** 238f. Tese (Doutorado em Geografia). Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista "Júlio Mesquita Filho" – UNESP, Presidente Prudente, 2019.

TEOBALDO NETO, A. **A geografia do risco e da vulnerabilidade ao calor em espaços urbanos da zona tropical:** o caso Cuiabá-MT. 327f. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista "Júlio Mesquita Filho" – UNESP, Presidente Prudente, 2019.

TORRES, M. A. N.; ALVES, L. V. A.; GARCES JUNIOR, A. R. ; AQUINO JUNIOR, J. Climatologia do maranhão: levantamento sobre estudos de clima local desenvolvidos na cidade de São Luís. **Anais do XII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica.** Goiânia, 2016. p. 1260-1268.

TRINTA, P. V. **Análise bioclimática do bairro do Renascença II São Luis-MA**: realidade e perspectiva do conforto térmico em espaços externos. 199f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura). Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Natal, 2007.

United States Geological Survey (USGS). **Landsat Surface Reflectance-Derived Spectral Indices: Landsat Normalized Difference Vegetation Index**. Disponível em:

https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-normalized-difference-vegetation-index?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con. Acesso em 06 de março de 2021.

United States Geological Survey (USGS). **Landsat Surface Reflectance-Derived Spectral Indices: Landsat Normalized Difference Vegetation Index**. Disponível em: < https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-normalized-difference-vegetation-index?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con>. Acesso em 10 de dezembro de 2021.

United States Geological Surveya (USGS). **Using the USGS Landsat Level-1 Data Product**. Disponível em: <https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-normalized-difference-vegetation-index?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con>. Acesso em 10 de dezembro de 2021.

United States Geological Survey[a]. Earth Resources Observation and Science (EROS) Center. USGS EROS Archive - **Digital Elevation - Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Non-Void Filled.** Disponível em: <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm-non?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects>. Acesso em: 15 junho de 2020.

VIANA, S. S. M., CAMARGO, C. E. S., AMORIM, M. C. C. T., & Neto, J. L. S. A. Estudo de ilhas de calor em Presidente Prudente/SP a partir de transectos móveis. **Formação (Online)**, v. 2, n. 11, 2004.

VON BERTALANFFY, L. **Teoria geral dos sistemas**. Petrópolis: Vozes, 1975

ZANELLA, M. E.; MOURA, M. O. O clima das cidades do nordeste brasileiro: contribuições no planejamento e gestão urbana. Revista da ANPEGE, v. 9, n. 11, p. 75-89, 2013.

ZAVATINI, J. A. **A dinâmica atmosférica e a distribuição das chuvas no Mato Grosso do Sul .** Tese (Doutorado em Geografia). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, 1990.

ZAVATINI, J. A. Desenvolvimento e perspectivas da climatologia geográfica no Brasil: o enfoque dinâmico, a noção de ritmo climático e as mudanças climáticas. In: SANT'ANNA NETO, João Lima, ZAVATINI, João Afonso (orgs.). **Variabilidade e mudanças climáticas: implicações ambientais e socioeconômicas**. Maringá: EDUEM, 2000.

ZAVATINI, J. A. **Variações do ritmo pluvial no oeste de São Paulo e norte de Paraná:** eixo Araçatuba/Presidente Prudente/Londrina**.** Dissertação (Mestrado em Geografia). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, 1983.

ZAVATTINI, J. A. A climatologia geográfica brasileira, o enfoque dinâmico e a noção de ritmo climático. **Geografia,** v. 23, n. 3, p. 5-24, 1998.

ZAVATTINI, J. A. O paradigma da análise rítmica e a climatologia geográfica brasileira. **Geografia**, v. 25, n. 3, p. 25-43, 2000.

ZAVATTINI, J. A.; BOIN, M. N. **Climatologia geográfica**: teoria e prática. 1º ed. Campinas: Editora Alínea, 2013.

ZENKNER, T. T. dos S. **Legado Renascentista e Forma Urbana**: as cidades de São Luís e Belém no século XVII. Recife: UFPE, 2002. Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento Urbano.