

UFRRJ

INSTITUTO DE AGRONOMIA

INSTITUTO MULTIDISCIPLINAR

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

DISSERTAÇÃO

**ANÁLISE DA TEMPERATURA DA
SUPERFÍCIE CONTINENTAL PARA O
ESTUDO DA ILHA DE CALOR NA REGIÃO
AMAZÔNICA: O CASO DE
ANANINDEUA/PA.**

KAHOMA CARDOSO DE ANDRADE RIBEIRO

2019



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
INSTITUTO MULTIDISCIPLINAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA



**ANÁLISE DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE
CONTINENTAL PARA O ESTUDO DA ILHA DE
CALOR NA REGIÃO AMAZÔNICA: O CASO DE
ANANINDEUA/PA.**

KAHOMA CARDOSO DE ANDRADE RIBEIRO

Sob a orientação do Professor
Dr. Andrews José de Lucena.

Dissertação submetida como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestra em Geografia**, no Curso de Pós-Graduação em Geografia, no Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFRRJ, Área de Concentração em Espaço, Questões Ambientais e Formação em Geografia.

Seropédica, RJ.
Dezembro, 2019.

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

R 484
a RIBEIRO, KAHOMA CARDOSO DE ANDRADE, 1990-
ANÁLISE DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE CONTINENTAL
PARA O ESTUDO DA ILHA DE CALOR NA REGIÃO AMAZÔNICA: O
CASO DE ANANINDEUA/PA. / KAHOMA CARDOSO DE ANDRADE
RIBEIRO. - ABAETETUBA - PA, 2019.
108 f.: il.

Orientador: ANDREWS JOSÉ DE LUCENA.
Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal Rural
do Rio de Janeiro, PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
GEOGRAFIA, 2019.

1. Clima Urbano. 2. Ilha de Calor Urbana. 3.
Sensoriamento remoto. 4. Amazônia. I. LUCENA, ANDREWS
JOSÉ DE, 1978-, orient. II Universidade Federal Rural
do Rio de Janeiro. PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
GEOGRAFIA III. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA / INSTITUTO MULTIDISCIPLINAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

KAHOMA CARDOSO DE ANDRADE RIBEIRO

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestra em Geografia, no Programa de Pós-Graduação em Geografia, área de concentração em Espaço, Questões Ambientais e Formação em Geografia.

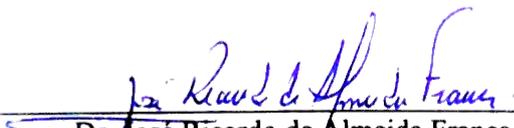
DISSERTAÇÃO APROVADA EM 30/08/2019.



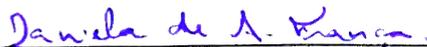
Dr. Andrews José de Lucena - UFRRJ
(Orientador)



Dr. Heitor Soares de Farias - UFRRJ
(Examinador interno)



Dr. José Ricardo de Almeida França - UFRJ
(Examinador Externo à Instituição)



Dra. Daniela de Azeredo França - CEMADEN
(Examinador Externo à Instituição)

A todos que se fizeram presentes comigo nesta trajetória.

AGRADECIMENTOS

Expresso aqui a minha gratidão a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Primeiramente a Deus, que com a sua permissão me concedeu sabedoria para concluir esta etapa da minha vida.

A minha mãe, Lucilene Cardoso, exemplo de dedicação e amor, mostrou-me com garra e determinação como superar todos os obstáculos da vida.

Ao meu pai, Ademir Andrade, que sempre me motivou a conquistar os meus objetivos.

Aos meus avós, Nazaré e Francisco, sempre carinhosos, motivando-me aos conhecimentos e saberes da nossa tão amada Amazônia.

Aos meus irmãos e familiares, que acompanharam de perto todo o esforço por mim investido, e que sempre se fizeram presentes, incentivando-me para que eu continuasse nesta trajetória acadêmica.

Aos meus sobrinhos Renan Vitor, Leonan e Lucas, que trouxeram a alegria para a minha vida.

Ao meu marido, companheiro e parceiro das discussões da climatologia geográfica, Ivan Linhares Ribeiro, por todo amor, incentivo, paciência e por sempre confiar na minha capacidade intelectual em almejar os meus objetivos.

À família Ribeiro, Ivete Helena, José Milton e Livia, pelo carinho, incentivo e apoio em todos os momentos que se fizeram presentes.

À Marília Rabelo, amiga de longa data, que sempre me incentiva e compartilha, mesmo a distância, todos os momentos da minha vida.

À Shirley Tozi, minha profesora e amiga, uma grande motivadora das pesquisas da região amazônica.

Às amigas, Carolina Oliveira e Joelma Pantoja, parceiras da Geo/IFPA, pela amizade e carinho.

Ao meu orientador Andrews Lucena, pela amizade, pela dedicação e por todos os ensinamentos durante a etapa de construção da pesquisa, por aceitar e acreditar que eu seria capaz de enfrentar este desafio.

Ao Vitor Miranda, pela sua gentileza e coração enorme, por todo suporte nos conhecimentos sobre linguagem de programação do MATLAB.

Ao grupo LASA - Laboratório de Aplicações de Satélites Ambientais do Departamento de Meteorologia da UFRJ, pela infraestrutura e convivência ao longo do mestrado.

À Andreia Vergílio, que me acolheu na cidade de Seropédica, por seu carinho e pelas diversas vezes que me ajudou e compartilhou desabafos durante o início do curso.

À Gabriela Alves, minha parceira do mestrado, pela amizade construída e pelas diversas vezes que me acolheu e escutou as minhas angústias. Sua existência foi essencial em todo esse processo.

Aos meus queridos professores Heitor Farias, Gustavo Mota, Tiago Marino, Clézio dos Santos, Sérgio Ricardo Fiori, Guilherme Ribeiro, Ana Maria Marques, Monika Richter, pelos ensinamentos durante essa jornada da pós-graduação e pela importância que cada um representa na minha formação acadêmica.

Aos colegas da turma do PPGGEO/2017, pelas vivências e troca de conhecimentos durante esta caminhada acadêmica.

Às minhas diretoras da Escola Municipal Maria do Carmo Fadul Ferreira, Valéria Rangel e Jaqueline Carvalho pela compreensão das omissões de alguns momentos da rotina do trabalho escolar por conta dos compromissos com o mestrado. Sempre com apoio e palavras de incentivo, isso foi fortalecedor para que esse sonho se concretizasse. Vocês são mais que diretoras! Obrigada!

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal

de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001" e "This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001.

RESUMO

RIBEIRO, Kahoma Cardoso de Andrade. **Análise da Temperatura da Superfície Continental para o estudo da ilha de calor na Região Amazônica: O caso de Ananindeua/Pa.** 2019. 108 p. **Dissertação** (Mestrado em Geografia). Instituto de Agronomia/Instituto Multidisciplinar. Universidade Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. RJ. 2020.

A Região Amazônica guarda uma rica biodiversidade representada por sua importância biológica e climática tanto em escala local como regional. Em sua localização oriental, espalha-se uma das principais manchas urbanas responsáveis por grandes concentrações demográficas do bioma amazônico, a Região Metropolitana de Belém. O presente trabalho analisa a Temperatura de Superfície Continental (TSC) para o estudo da ilha de calor urbana em uma cidade da Região Tropical/Equatorial da Amazônia Oriental Brasileira, a cidade paraense de Ananindeua, por meio das imagens de satélite Landsat. É realizada uma revisão da literatura nacional e internacional sobre os estudos que aliam o clima urbano com o sensoriamento remoto, com enfoque nas regiões equatoriais. Na seção de material e métodos foram utilizadas imagens de satélite dos anos de 1984, 1999, 2008 e 2018. Além disso, elaborou-se os seguintes produtos para análise: o mapeamento do uso do solo com seis classes de uso; a Temperatura da Superfície Continental (TSC); o Índice de Vegetação Ajustada pelo Solo Modificado (MSAVI) e o Índice de Área Construída (IBI). A ilha de calor urbana é definida por meio das diferenças encontradas entre a TSC na classe de uso "Área antropizada" e as demais classes. Como resultado desse estudo, os valores de TSC que contribuíram para a formação da ilha de calor urbana, estão dispostos da seguinte maneira: 8,1 ° C (1984), 6,0°C (1999), 12, 5°C (2008) e 8,9°C (2018). Desta forma, observa-se que os valores mais elevados da TSC destacaram em bairros como Guajará (1984), Curuçambá (1999), Atalaia (2008) e Maguari-Cajuí (2018). Essas áreas mais quentes estão associadas, principalmente, nos espaços das classes de área antropizada e de solo exposto e os valores mais baixos nas categorias de uso de vegetação de terra-firme, de várzea e de capoeira.

Palavras-chave: Clima Urbano, Ilha de Calor Urbana, Sensoriamento remoto.

ABSTRACT

RIBEIRO, Kahoma Cardoso de Andrade. Continental Surface Temperature Analysis for the study of heat island in the Amazon Region: The case of Ananindeua / Pa. 2019. 108 p. Dissertation (Master in Geography). Institute of Agronomy / Multidisciplinary Institute. Rural University of Rio de Janeiro, Seropedica. RJ. 2020

The Amazon Region has a rich biodiversity represented by its biological and climatic importance at both local and regional scale. In its eastern location, sprawls one of the main urban spots responsible for large demographic concentrations of the Amazon biome, the Belém Metropolitan Region. The present work analyzes the Continental Surface Temperature (TSC) for the study of the urban heat island in a city of the Tropical / Equatorial Region of the Eastern Brazilian Amazon, the city of Para Ananindeua, through satellite images Landsat. A review of the national and international literature on studies that combine urban climate with remote sensing, focusing on equatorial regions, is performed. In the material and methods section, satellite images from 1984, 1999, 2008 and 2018 were used. In addition, the following products were developed for analysis: land use mapping with six classes of use; Continental Surface Temperature (TSC); Modified Soil Adjusted Vegetation Index (MSAVI) and Constructed Area Index (IBI). The urban heat island is defined by the differences found between the TSC in the "Anthropized Area" use class and the other classes. As a result of this study, the TSC values that contributed to the urban heat island formation are as follows: 8.1 ° C (1984), 6.0 ° C (1999), 12, 5 ° C (2008) and 8 9 ° C (2018). Thus, it is observed that the highest values of TSC stood out in neighborhoods such as Guajará (1984), Curuçambá (1999), Atalaia (2008) and Maguari-Cajuí (2018). These warmer areas are associated, mainly, in the spaces of the anthropized area and exposed soil classes and the lowest values in the categories of use of terra firme, floodplain and capoeira vegetation.

Keywords: Urban Climate, Urban Heat Island, Remote Sensing.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ARIE - Área de Relevante Interesse Ecológico

BNHB - Banco Nacional da Habitação

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMET- Instituto Nacional de Meteorologia

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

ISA - Instituto Socioambiental

NASA - *National Aeronautics and Space Administration*

ONU - Organização das Nações Unidas

EUA – Estados Unidos da América

USGS - *United States Geological Survey*

FIGURAS

FIGURA 1 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE ANANINDEUA – PA.....	19
FIGURA 2 - PROJETO DE HABITAÇÃO “CONJUNTO CIDADE NOVA” EM ANANINDEUA – PA.....	21
FIGURA 3 - LOCALIZAÇÃO DO COMPLEXO CIDADE NOVA EM ANANINDEUA – PA.....	21
FIGURA 4 - FOTOS: A E B (VISTA AÉREA DE ANANINDEUA); C (VIA DE ACESSO PARA ANANINDEUA, ÁREA CONURBADA AO MUNICÍPIO DE BELÉM) E D (VIA PÚBLICA DO BAIRRO CIDADE NOVA EM ANANINDEUA).....	22
FIGURA 5 - LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE ANANINDEUA E DE SUA REGIÃO INSULAR.....	23
FIGURA 6 – LOCALIZAÇÃO DAS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO E DO QUILOMBO ABACATAL EM ANANINDEUA.....	24
FIGURA 7 - FOTOS: A, B E C - ÁREA INSULAR DE ANANINDEUA. A FOTO D - CASA DO QUILOMBO ABACATAL NA ÁREA CONTINENTAL DO MUNICÍPIO.	25
FIGURA 8 - PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO – ÁREAS DE VÁRZEAS.	26
FIGURA 9 - CARACTERÍSTICAS DA ILHA DE CALOR URBANA. VISÕES TRANSVERSAIS DAS TEMPERATURAS DO AR MEDIDAS NA UCL (CAMADA DE COBERTURA URBANA) E TEMPERATURAS DA SUPERFÍCIE (POR EXEMPLO, COMO OBSERVADO POR UMSENSOR REMOTO) SOB CONDIÇÕES DE ILHA DE CALOR DURANTE (I).	29
FIGURA 10 – FLUXOGRAMAMETODOLÓGICO DA DISSERTAÇÃO.....	40
FIGURA 11 - IMAGEM LANDSAT 5 TM DA ÓRBITA PONTO: 223/061 DO DIA 27/07/1984.....	45
FIGURA 12 – INTERVALO DE CORES E VALORES DE TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE CONTINENTAL.	52
FIGURA 13 – INTERVALO DE CORES E VALORES DE TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE CONTINENTAL.	53
FIGURA 14 - MAPEAMENTO DE USO DO SOLO DO MUNICÍPIO DE ANANINDEUA, ANO DE 1984 (IMAGEM LANDSAT 5/TM).....	60
FIGURA 15 - MAPEAMENTO DE USO DO SOLO DO MUNICÍPIO DE ANANINDEUA, ANO DE 1999 (IMAGEM LANDSAT 5/TM).....	61
FIGURA 16 - MAPEAMENTO DE USO DO SOLO DO MUNICÍPIO DE ANANINDEUA, ANO DE 2008 (IMAGEM LANDSAT5/TM).....	62
FIGURA 17 - MAPEAMENTO DE USO DO SOLO DO MUNICÍPIO DE ANANINDEUA, ANO DE 2018 (IMAGEM LANDSAT 8/OLI).	63
FIGURA 18 – ÍNDICE DE VEGETAÇÃO AJUSTADA PELO SOLO MODIFICADO (MSAVI) DO MUNICÍPIO DE ANANINDEUA.	66
FIGURA 19 – RECORTE DO JORNAL “O LIBERAL”, A POPULAÇÃO EM PROL DO VERDE.....	67
FIGURA 20 – RECORTE DO JORNAL O LIBERAL: “ARBORIZAÇÃO PARA A CIDADE NOVA”.	68
FIGURA 21 – ÍNDICE DE ÁREA CONSTRUIDA (IBI) DO MUNICÍPIO DE ANANINDEUA.	70
FIGURA 22 – A TSC NO MUNICÍPIO DE ANANINDEUA – 1984.	75
FIGURA 23 – A TSC NO MUNICÍPIO DE ANANINDEUA – 1999.	77
FIGURA 24 – A TSC NO MUNICÍPIO DE ANANINDEUA – 2008.	79
FIGURA 25 – A TSC NO MUNICÍPIO DE ANANINDEUA – 2018.	81

FIGURA 26 – CULTIVO DE HORTALIÇAS NO BAIRRO DO CURUÇAMBÁ EM ANANINDEUA.	84
--	----

LISTA DE GRÁFICO

GRÁFICO 1 - EVOLUÇÃO DA POPULAÇÃO ABSOLUTA DO MUNICÍPIO DE ANANINDEUA- PA.	20
GRÁFICO 2 - AS BANDAS ESPECTRAIS MOSTRANDO O SEU COMPRIMENTO DE ONDA E SUAS REGIÕES DE ABSORÇÃO.	42
GRÁFICO 3 - TSC POR BAIRRO - ANANINDEUA (1984).	86
GRÁFICO 4 – TSC POR BAIRRO - ANANINDEUA (1999).	87
GRÁFICO 5 – TSC POR BAIRRO - ANANINDEUA (2008).	89
GRÁFICO 6 - TSC POR BAIRRO - ANANINDEUA (2018).	90
GRÁFICO 7 – TSC X USO DO SOLO NA CIDADE DE ANANINDEUA – 1984.	91
GRÁFICO 8 - TSC X USO DO SOLO NA CIDADE DE ANANINDEUA – 1999.	91
GRÁFICO 9 - TSC X USO DO SOLO NA CIDADE DE ANANINDEUA – 2008.	92
GRÁFICO 10 - TSC X USO DO SOLO NA CIDADE DE ANANINDEUA – 2018.	92

LISTA DE QUADRO

QUADRO 1 - REPRESENTAÇÃO DA ILHA DE CALOR NO ESPAÇO GEOGRÁFICO.	17
QUADRO 2 - UNIDADES DE CONSERVAÇÃO NO MUNICÍPIO DE ANANINDEUA.	24
QUADRO 3 - PRINCIPAIS CAUSAS DAS ILHAS DE CALOR.	30
QUADRO 4 - AS VARIÁVEIS ATMOSFÉRICAS NO CONTROLE DAS ILHAS DE CALOR URBANA.	30
QUADRO 5 - SÉRIE LANDSAT	41
QUADRO 6 - PARÂMETROS DOS PRODUTOS LANDSAT NÍVEL 1.	43
QUADRO 7 - PARÂMETROS LANDSAT NÍVEL 2.	44
QUADRO 8 - CARACTERÍSTICAS DAS BANDAS DOS SENSORES TM, OLI E TIRS.	54
QUADRO 9 - DESCRIÇÕES DAS CLASSES DE USO DO SOLO.	55

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - SÉRIE LANDSAT: PORCENTAGEM DE NUVEM POR QUADRANTE.	46
TABELA 2 - TERRENOS PARA A CONSTRUÇÃO DO CONJUNTO CIDADE NOVA.	72
TABELA 3- A DIFERENÇA DAS MÉDIAS DE TSC ENTRE A ÁREA ANTROPIZADA E AS OUTRAS CLASSES DE USO DO SOLO PARA O ANO DE 1984.	82
TABELA 4 – A DIFERENÇA DAS MÉDIAS DE TSC ENTRE A ÁREA ANTROPIZADA E AS OUTRAS CLASSES DE USO DO SOLO PARA O ANO DE 1999.	83
TABELA 5 – A DIFERENÇA DAS MÉDIAS DE TSC ENTRE A ÁREA ANTROPIZADA E AS OUTRAS CLASSES DE USO DO SOLO PARA O ANO DE 2008.	83
TABELA 6 – A DIFERENÇA DAS MÉDIAS DE TSC ENTRE A ÁREA ANTROPIZADA E AS OUTRAS CLASSES DE USO DO SOLO PARA O ANO DE 2018.	84
TABELA 7 - RELAÇÃO DA TSC NOS BAIRROS - ANANINDEUA (1984).	86
TABELA 8 - RELAÇÃO DA TSC NOS BAIRROS - ANANINDEUA (1999).	88
TABELA 9 - A TSC NOS BAIRROS - ANANINDEUA (2008).	89
TABELA 10 - A TSC NOS BAIRROS - ANANINDEUA (2018).	90

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivo.....	17
1.2 Estrutura da dissertação.....	18
CAPÍTULO 2 - ÁREA DE ESTUDO	19
2.1 Representação político-administrativa	19
2.2 Aspectos físicos.....	22
CAPÍTULO 3 - REVISÃO DA LITERATURA	27
3.1 Clima urbano e ilhas de calor.....	27
3.2 Definição e caracterização da ilha de calor.....	28
3.3 Abordagens metodológicas para ilha de calor	31
3.3.1 Clima urbano e ilhas de calor: pesquisas na literatura Internacional.....	32
3.3.2 Clima urbano e ilhas de calor: pesquisas na literatura para regiões tropicais-equatoriais.	35
CAPÍTULO 4 - MATERIAL E MÉTODOS	40
4.1 Plataforma Landsat	41
4.2 Processamento de dados.....	45
4.2.1 NDVI	47
4.2.2 MSAVI	48
4.2.3 NDBI	48
4.2.4 NDWI.....	49
4.2.5 IBI.....	49
4.2.6 TSC.....	50
4.3 Mapeamento no uso do solo.....	54
4.4 Cálculo da Ilha de Calor Urbana.....	56
CAPÍTULO 5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
5.1 O uso do solo em Ananindeua	57
5.2 Índice de Vegetação e Urbanização em Ananindeua.....	65
5.3 A TSC no estudo da Ilha de Calor em Ananindeua.....	73
5.3.1 O ranking da TSC nos bairros.	85
5.3.2 A TSC nos diferentes usos do solo.....	91
CONSIDERAÇÕES FINAIS	94
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97
Endereço eletrônico	107

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Gerais

A Região Tropical/Equatorial do planeta guarda uma rica biodiversidade representada por sua importância biológica e climática tanto em escala local como regional, a imensa floresta Amazônica. Esse bioma é palco de debates políticos internacionais que abordam sobre seu uso e racional e preservação ambiental.

Em sua localização oriental, espalha-se uma das principais manchas urbanas responsáveis por grandes concentrações demográficas metropolitanas do bioma amazônico, na Região Metropolitana de Belém, onde encontra-se a cidade de Ananindeua.

O histórico de ocupação dessas principais cidades guarda um invasivo processo de colonização que importaram modelos urbanos externos a realidade do bioma amazônico. As formações urbanas foram ganhando formas e espaços que atendiam os interesses de um desenvolvimento político e territorial para garantir a soberania nacional.

Dessa forma, a falta de planejamento urbano altera o funcionamento e o ritmo dos serviços ambientais e climáticos do ecossistema amazônico, respondendo de maneira e muitas vezes caóticas, atingindo a população residente, como problemas como enchentes, terras caídas, ilha de calor, entre outros problemas derivados dessa ocupação.

Com o crescimento das cidades amazônicas, indaga-se, a que ponto as modificações do uso do solo no espaço urbano podem alterar/influenciar o comportamento térmico da cidade? Como a ilha de calor se espacializa em um ambiente urbano amazônico? Essas questões nortearam o desenvolvimento do estudo presente, ainda que não seja tão abundante as referências de estudos sobre ilha de calor no espaço urbano-equatorial-amazônico.

Ananindeua surge com um contexto histórico associado ao crescimento urbano da cidade de Belém. Segundo Pinheiro *et al* (2007, p.152) “ a conurbação das sedes municipais de Ananindeua com Belém não se fez apenas pela proximidade físico-geográfica entre as duas cidades, mas foi também resultado do avanço das áreas urbanas de Belém no sentido oeste-leste, isto é, no sentido de Ananindeua”, vide a formação de áreas de influências e amortização das metrópoles amazônicas para atender os fluxos e inchaços populacionais proveniente da convergência de serviços e demandas da capital.

Situada no arco de ocupação do município de Belém, Ananindeua saiu de uma condição de “quintal da capital”, emancipando-se no ano de 1943, mas sem perder a influência que a capital paraense sempre exerceu em sua dinâmica. A intensa ocupação antrópica de Ananindeua se deu de forma acelerada, apagando, aos poucos, do meio urbano a presença de áreas verdes, sobretudo uma das principais espécies vegetais, o Ananin, árvore escolhida como símbolo e nome do município que no dialeto tupi significa “terra de ananin”.

No entanto, esse tipo de alteração do meio urbano segue uma lógica mundial,

intensificando-se a partir da Revolução Industrial. A urbanização, por conseguinte, teve seu ritmo acelerado através do crescimento das cidades e do êxodo rural. De acordo com os dados do relatório da ONU (ONU-HABITAT, 2016)¹ existe atualmente cerca de 54% da população mundial vivendo em cidades, a expectativa é que esse número alcance 60% ainda em meados deste século.

Segundo o resultado do último Censo do IBGE (2010), a população brasileira apresenta 84,4% (169,9 milhões) de pessoas que habitam nas áreas urbanas. Em contrapartida, 15,6% (29,8 milhões) vivem em áreas rurais. Ao nível municipal, Ananindeua concentra 99,75% (470,819 mil) das pessoas morando em áreas urbanas e 0,24% (1,161 mil) em áreas rurais.

Esse cenário demográfico só reafirma que a cidade, enquanto local de aglomeração de pessoas e jogos de interesses políticos e econômico (SANTOS; SILVA 2014, p.35) concentram parcelas significativas da população. Isso reproduz o espaço urbano transformado e modificado em relação a sua paisagem natural.

A substituição dos espaços naturais em ambientes urbanizados altera a dinâmica natural dos elementos climáticos atribuindo características de cada atmosfera urbana em relação às áreas vizinhas.

A urbanização é um processo inerente ao desenvolvimento das cidades. Esse fenômeno contribui para uma organização socioespacial que remodela os espaços urbanos de acordo com sua importância funcional e política, caracterizando assim um padrão espacial que se apresenta de modo diferenciado em cada cidade.

No ambiente urbano, essas características ficam mais evidentes pela presença de derivações que segundo Monteiro (2015, p.86):

“se apresentam na massa de edificações urbanas: sua arquitetura, numa estruturação morfológica e dinâmica funcional, com seu sistema viário de circulação interna e de relacionamento regional, ao cabo do que as primitivas condições geoecológicas do sítio vão sendo derivados por acréscimos. Aterros, represamentos e reservatórios d’água; eliminação de acidentes topográficos indesejáveis; substituições ou alterações, como aquelas produzidas na vegetação original extensivamente ou em manchas, em parques ou jardins etc. Tudo isso, aliado à própria dinâmica da população aí concentrada, circulando e desempenhando variadas atividades e serviços, faz com que as cidades sejam — por excelência — os lugares onde as resultantes ambientais configurem-se como obra conjunta de uma natureza retrabalhada e afeiçoada aos propósitos do viver humano.”

Lombardo (1985) destaca que o crescente desenvolvimento dos espaços urbanos constitui uma preocupação de todos os profissionais e segmentos ligados à questão do meio ambiente, pois as cidades avançam e apresentam um crescimento rápido e sem planejamento adequado, o que contribui para uma maior deterioração do espaço urbano.

Mendonça (2001, p. 82) argumenta que:

“A intensificação das preocupações com o ambiente urbano deriva, dentre outros, do incremento das cidades no que diz respeito ao seu crescimento e complexidade, fato aliado à agudização da queda da qualidade de vida urbana, notadamente nas cidades grandes e áreas metropolitanas”.

¹ Organização das Nações Unidas (ONU), relatório “Urbanization and development: Emerging Futures” do ano de 2016 produzido pelo Programa das Nações Unidas para os Assentamentos Humanos (ONU- Habitat).

A problemática ambiental tem maior projeção a partir do desenvolvimento das regiões metropolitanas devido ao crescimento acelerado da mancha urbana que compromete uma ocupação desordenada dos espaços sem a prévia avaliação e planejamento dos mesmos.

O ambiente urbano se torna o espaço transformado e vivido. “A cidade é, cada vez mais, a morada do homem” (MONTEIRO; MENDONÇA, 2013, p.10), lugar das mais intensas manifestações de impactos ambientais, gerados a partir de um desequilíbrio da relação homem-natureza por uma lógica que transcende a necessidade natural.

Monteiro (2015, p. 95) utiliza-se da seguinte relação:

“Toda ação ecológica natural e as associações aos fenômenos da urbanização constituem o conjunto complexo sobre o qual o operador age. Por isso, tudo o que não é atmosférico e que se concretiza no espaço urbano, incluindo o homem e demais seres vivos, constitui elementos do sistema, estruturando-se em partes que, através de suas reações, definem atributos especiais.”

Conforme demonstrado por Monteiro (2015), a atmosfera urbana opera a partir das influências naturais e antrópicas existente no espaço da cidade, definindo-o como parte peculiar do sistema Clima Urbano. Essa atuação ativa dos elementos do sistema, bem como, em conjunto com os elementos naturais faz com que a atmosfera urbana opere e se estabeleça uma organização climática típica. E qualquer alteração nestes elementos, reflete positiva ou negativamente nesse aspecto climático.²

Cada elemento com sua particularidade interfere em parte nesse processo climático local, seja somando atribuições para a amenização ou elevação da temperatura, ou mesmo para estabelecer uma dinâmica própria de vento, entre outros exemplos.

A importância de conhecermos o ambiente urbano e seus elementos, favorecem o entendimento do estudo climático local. Entendendo que, a partir de uma visão sistêmica, a cidade é complexa e apresenta grande expressão geográfica, representada por uma diversidade da paisagem local que modifica os fluxos de energia, interagindo com a forma, estrutura e função do uso dos espaços urbanos, apresentando assim manifestações dessa interferência nos fenômenos climáticos como: radiação, temperatura, circulação geral da atmosfera, regimes pluviométricos e etc.

Neste sentido, a cidade torna-se alvo de diversos campos disciplinares do conhecimento incluindo as mais variadas abordagens de estudos ambientais, dentre os quais o estudo do clima urbano e de sua forma mais expressiva, a Ilha de Calor.

Sobre as diversas abordagens que a cidade proporciona e por ser palco da manifestação da ilha de calor, Lucena (2012, p.6) explana que o assunto sobre ilha de calor integra uma discussão que vai além de um caráter específico de análise, passando pelos mais diversos ramos das ciências em seus aspectos interdisciplinar, multidisciplinar e transdisciplinar.

Como forma de representação e atuação no espaço geográfico, a ilha de calor poderá ser abordada em diversos eixos temáticos, segundo o Quadro 1:

² É um termo utilizado por Monteiro (2015) em seu estudo do Sistema Clima Urbano (S.C.U).

Quadro 1 - Representação da ilha de calor no espaço geográfico.

Eixos	Representação no espaço geográfico
Ambiental	Os núcleos mais quentes das ilhas de calor provocam danos à saúde e à produção humana, como também à flora e à fauna;
Econômico	As áreas mais quentes oneram custos energéticos, como na utilização mais frequente de condicionadores de ar;
Cultural	Há uma segregação socioespacial na localização dos imóveis e classes sociais, sendo aquelas mais próximas a áreas verdes destinadas às classes média alta da sociedade;
Político	Alvo de dissensões e discussões entre poder público e especialistas (ambientalistas, associação de moradores, câmaras comunitárias) na aprovação e licenciamento de empreendimentos imobiliários, como a verticalização da orla.

Fonte: Adaptado de Lucena (2012).

Essa representação demonstra as mais variadas formas de abordagens dos estudos que envolvem as problemáticas da ilha de calor. E a cidade como palco de um comportamento térmico múltiplo, agrega uma coexistência de espaços que se diferenciam através das suas variadas funções e usos. A pesquisa em curso propõe apresentar o padrão espacial e temporal da temperatura da superfície em Ananindeua, cidade equatorial sulamericana, no estado do Pará, e identificar os principais espaços favoráveis à ilha de calor na cidade.

1.1 Objetivo

Estabeleceu-se como objetivo geral: analisar a temperatura de superfície continental da cidade de Ananindeua a partir do campo térmico das imagens Landsat para a identificação de ilhas de calor urbana. Para auxiliar a realização desta pesquisa, foram traçados os seguintes objetivos específicos, como:

- ✓ analisar a série temporal das imagens Landsat-5 e 8 para identificar a relevância e condições espaciais da área de estudo;
- ✓ realizar a classificação do uso do solo para a área de estudo;
- ✓ mapear os índices espectrais Índice de Vegetação Ajustada pelo Solo Modificado (MSAVI) e Índice de Área Construída (IBI);
- ✓ mapear a temperatura de superfície continental (TSC) para identificar os espaços quentes e quantificar a ilha de calor urbana;

1.2 Estrutura da dissertação

Esta pesquisa está estruturada em cinco capítulos, respectivamente:

- ✓ Capítulo 1: faz-se uma abordagem introdutória sobre a importância do estudo da ilha de calor no espaço geográfico no contexto do clima urbano e o seu caráter interdisciplinar no campo da ciência e os objetivos traçados para o desenvolvimento da pesquisa;
- ✓ Capítulo 2: define a área de estudo, a sua representação político-administrativa e os aspectos físicos do Município de Ananindeua.
- ✓ Capítulo 3: tem-se uma revisão sobre as principais referências que contribuíram para a construção do conceito de clima urbano, em especial, sobre os aspectos que caracterizam o fenômeno da ilha de calor, considerando os principais trabalhos de reconhecimento internacional e nacional que abordam esta temática.
- ✓ Capítulo 4: esta seção destaca a utilização do sensoriamento remoto, a partir das imagens de satélite Landsat, como técnica para a elaboração dos mapas de uso do solo, o cálculo da Temperatura da Superfície Continental (TSC) e dos índices espectrais baseados em refletância de superfície (NDVI, MSAVI, NDBI, NDWI e IBI) e, finalmente, a estimativa da ilha de calor urbana.
- ✓ Capítulo 5: aborda os resultados dos produtos de sensoriamento remoto para a compreensão espacial e temporal da ilha de calor urbana na cidade de Ananindeua.

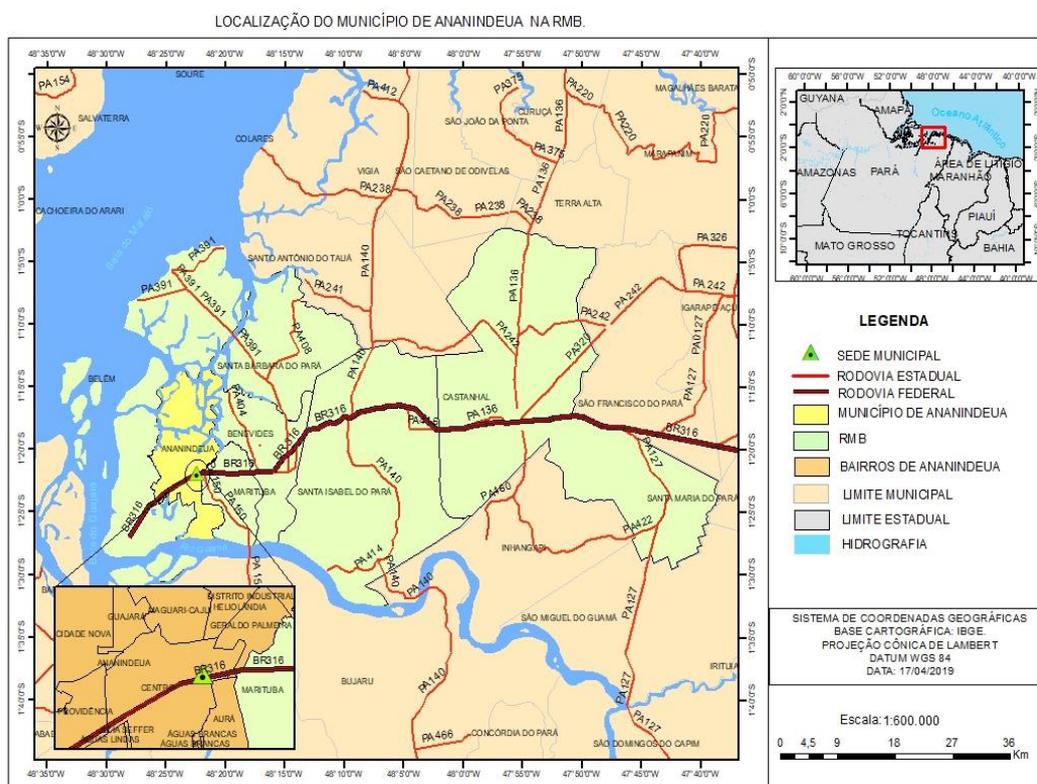
CAPÍTULO 2 - ÁREA DE ESTUDO

2.1 Representação político-administrativa

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas - IBGE (2010) o município de Ananindeua é o segundo mais populoso do Estado do Pará, com uma população de aproximadamente 471.980 habitantes, e o quarto da região Norte.

O município pertence à Região Metropolitana de Belém – RMB (Figura 1), composta por sete municípios: Belém (capital paraense), Ananindeua, Marituba, Benevides, Santa Bárbara do Pará, Santa Isabel do Pará e Castanhal. Apresenta sua sede municipal localizada nas seguintes coordenadas geográficas: 01° 21' 58 "de latitude Sul e 48° 22' 22" de longitude Oeste.

Figura 1 - Mapa de localização do Município de Ananindeua – PA.



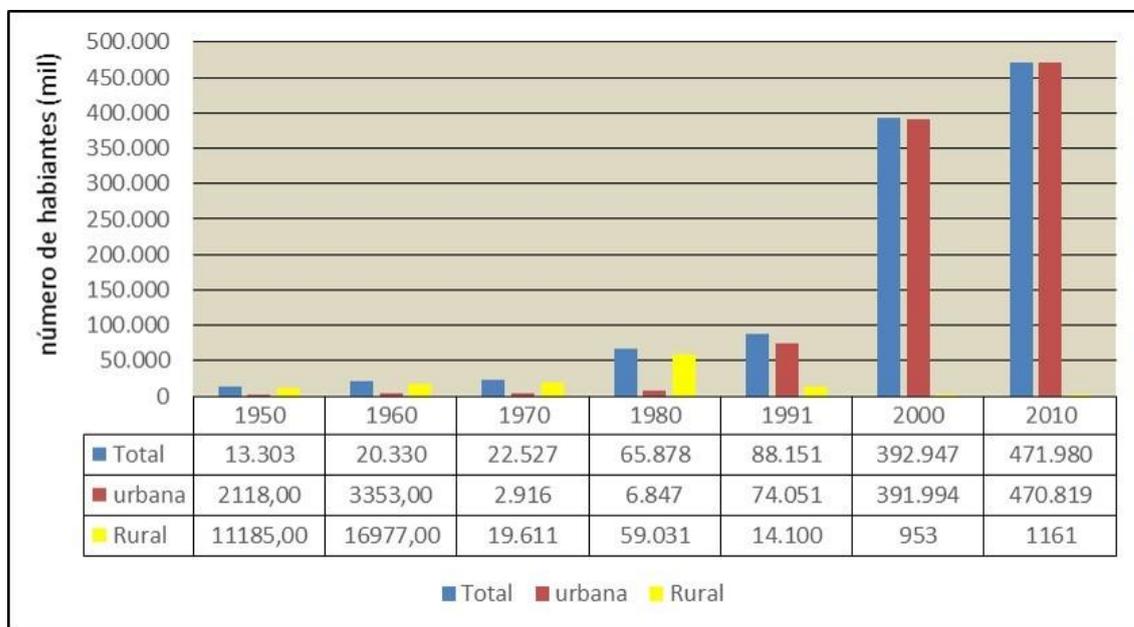
Fonte: Elaborado pela autora.

O histórico de formação político-econômico-social do município de Ananindeua está muito atrelado à Belém, desde meados do século XX (IDESP, 2011). Essa forte relação socioespacial resulta do crescimento na especulação imobiliária e dos fluxos migratórios que convergem para a capital paraense, caracterizando deste modo o início do impacto da expansão urbana de Belém e sua influência direta no processo de formação urbana de Ananindeua.

Segundo Santos (2014, p.110) o processo de metropolização de Belém desde meados da década de 1970, influenciou o expressivo crescimento da população no município de Ananindeua. No entanto, desde a sua emancipação como categoria

Município no ano de 1943, Ananindeua passou por aumentos demográficos significativos, como no Gráfico 1:

Gráfico 1 - Evolução da população absoluta do Município de Ananindeua- PA.



Fonte: IBGE. Censos Demográficos de 1950/60/70/80/91/00/10.

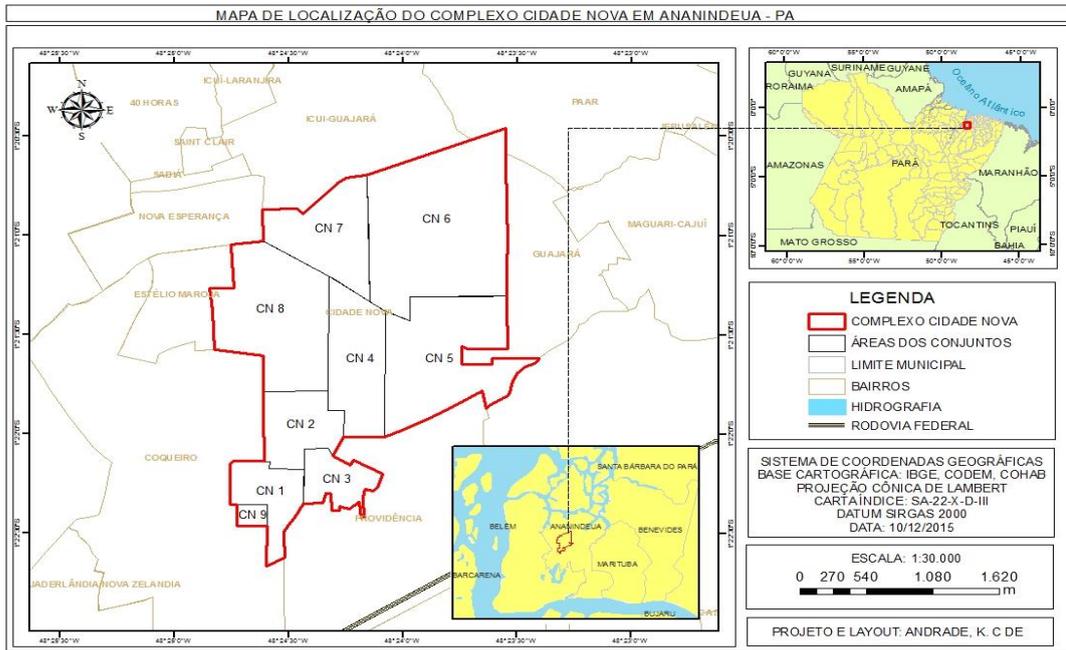
Segundo Rodrigues (1998, p. 141), entre as décadas de 1970 e 1980 o município “torna-se uma reserva já escassa para as demandas habitacionais e para as conquistas populares e pela via da invasão”, isso retrata uma tendência da urbanização das grandes cidades brasileiras, após a década de 1940.

Essa situação estende-se também na expansão para a periferia da região metropolitana sob diferentes formas, viabilizado através de mecanismos estatais como política urbana, habitacional e outras políticas sociais (RODRIGUES 1998, p. 153).

A partir da década de 1970 o município passa a compor uma lógica nacional na dinâmica das áreas urbanas influenciada por políticas de habitação popular, que segundo Rodrigues (1998) foi viabilizado através Banco Nacional de Habitação (BNH) por meio do Plano Nacional de Habitação Popular (PLANHAP).

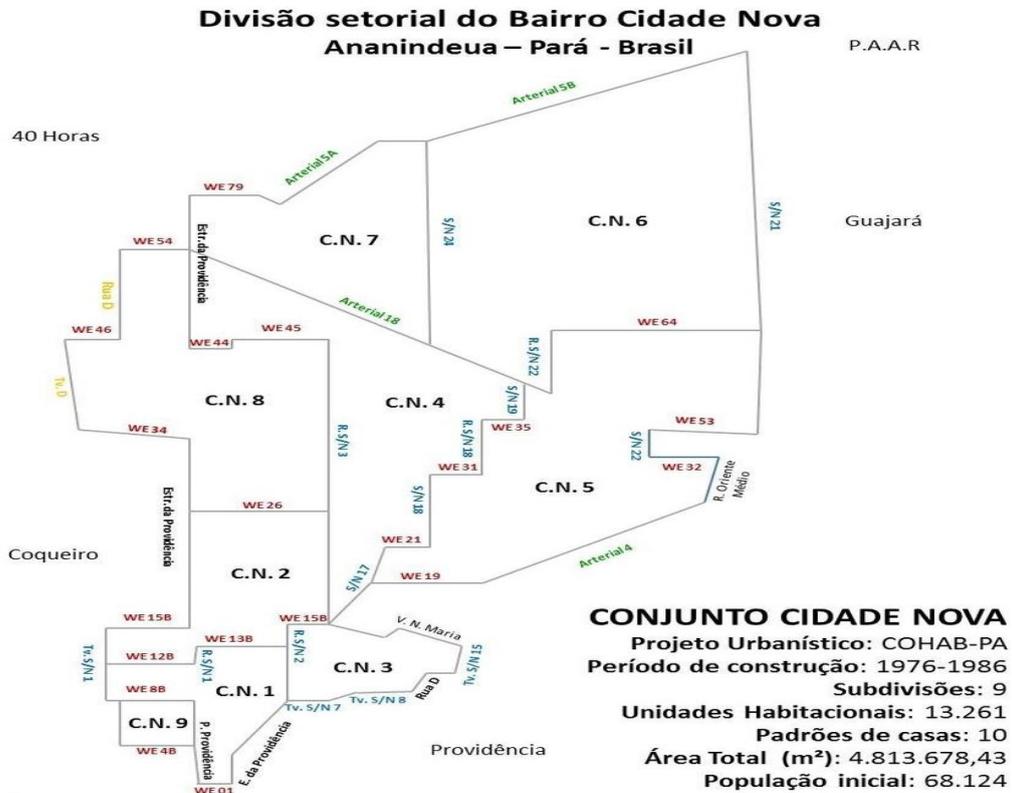
Unidades habitacionais como a “Cidade Nova” são exemplos de projetos de habitação que foram implementados na justificativa de um ordenamento imediato da periferia belenense (SANTOS, 2014; RODRIGUES, 1998). Esse processo resultou não apenas na ocupação através do financiamento das casas, como também influenciou o surgimento de ocupação espontâneas as margens desses conjuntos habitacionais (ver Figura 2 e 3).

Figura 2 - Projeto de habitação “Conjunto Cidade Nova” em Ananindeua – PA.



Fonte: Andrade (2016).

Figura 3 - Localização do Complexo Cidade Nova em Ananindeua - PA.



Fonte: Furtado (2007).

A intensificação do processo de urbanização de Ananindeua foi acelerada pelo inchaço urbano de Belém acompanhado do “espraiamento da malha urbana” da capital paraense (SANTOS, 2014). Isso refletiu em uma concentração populacional na área continental de Ananindeua, principalmente na área central do município, onde mais de 99% da população reside atualmente (Figura 4).

Figura 4 - Fotos: a e b (vista aérea de Ananindeua); c (via de acesso para Ananindeua, área conurbada ao município de Belém) e d (via pública do bairro Cidade Nova em Ananindeua).



Fonte: a (Skyscrapercity, 2018); b (LOBATO, 2002); c (SÁ, 2018) e d (FURTADO, 2017).

O desmatamento da área continental do município foi consequência do seu processo histórico de formação socioespacial que alcançou 78,03% até o ano de 1986 (MENDES, 2003, p.67). Essas informações foram adquiridas a partir de análise de imagens do satélite Landsat 5 TM. Em se tratando da área total do município (incluindo área continental e insular), segundo dados do PRODES (2018), dos 185,057 km² de extensão territorial do município de Ananindeua, 47,19 % (87,3 km²) foram desmatados até o ano de 2017. O agressivo processo de devastação concentrou-se em modo mais expressivo nas áreas centrais do município, devido a expansão e desenvolvimento das malhas urbanas nas últimas décadas.

2.2 Aspectos físicos

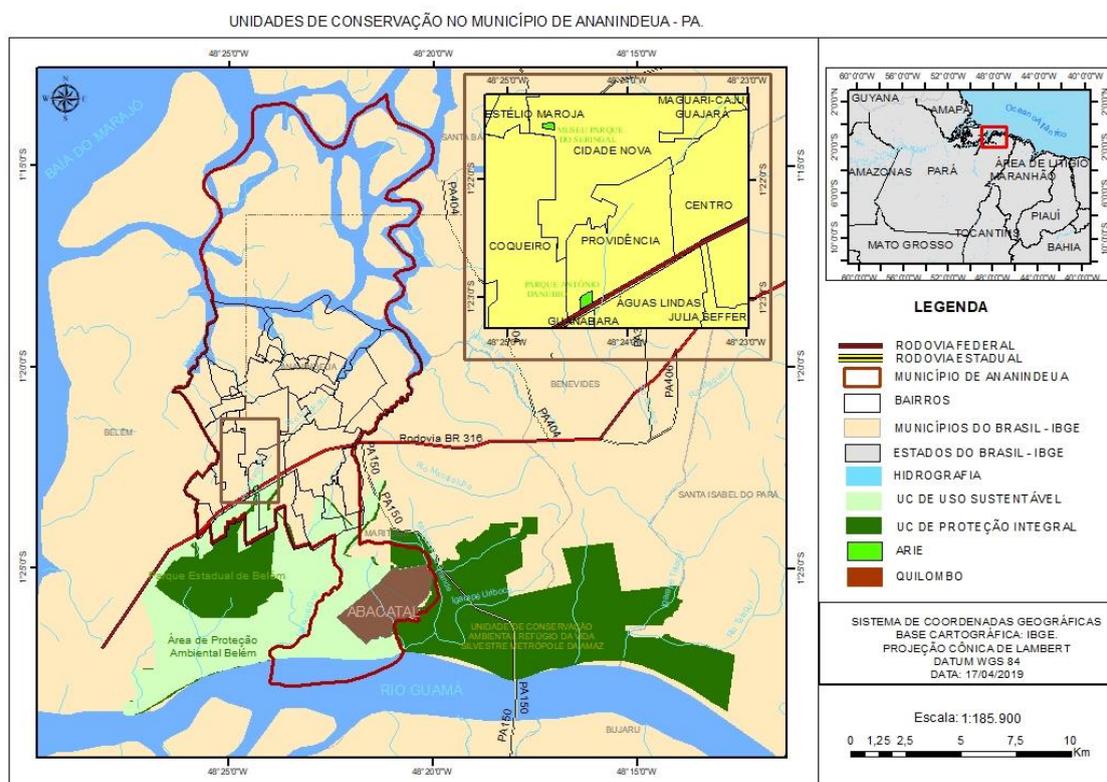
O município de Ananindeua é constituído por uma parte continental ao sul e insular ao norte, formado por 9 ilhas: Viçosa, João Pilatos, Santa Rosa, Mutá, Arauari, São José da Sororoca, Sororoca, Sassunema e Guajarina (SILVA, 2010), conforme ilustra a Figura 5.

Quadro 2- Unidades de Conservação no Município de Ananindeua.

Tipo de UC	Nome da UC	Estância / Localização
Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE).	Parque Ambiental de Ananindeua Antônio Danúbio.	Municipal / Ananindeua.
Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE).	Museu Parque do Seringal.	Municipal / Ananindeua.
Refúgio de Vida Silvestre (Proteção Integral).	Refúgio de Vida Silvestre Metrópole da Amazônia.	Estadual / Cobre uma área total de quatro municípios: Ananindeua, Benevides, Marituba e Santa Isabel do Pará.
Área de Proteção Ambiental de Uso Sustentável.	Área de Proteção Ambiental da Região Metropolitana de Belém.	Estadual / Está localizado nos municípios de Belém e Ananindeua.

Fonte: Dados organizados pela autora (SEMAS/ISA/FAPESPA).

Figura 6 – Localização das Unidades de Conservação e do Quilombo Abacatal em Ananindeua.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 7 - Fotos: a, b e c - área insular de Ananindeua. A foto d - casa do Quilombo Abacatal na área continental do município.



Fonte: a e c (LOBATO, 2002); b e d (FURTADO, 2009, 2017).

Quanto a geologia, é representado pelos sedimentos Terciários da Formação Barreiras, e do Quaternário Subatual e Recente. Apresentando um relevo de níveis baixos como várzeas, terraços e, predominantemente, pelos baixos platôs, inseridos na unidade morfoestrutural do Planalto Rebaixado da Amazônia, região do Baixo Amazonas (FAPESPA, 2016). No entanto, o relevo de topografia plana é integrado a unidade geomorfológica denominada Planície Amazônica, que inclui o Pediplano Pliocênico, Pediplano Neo-Pleistocênico e a planície de inundação, mais conhecida como várzea (ANANINDEUA, 2013).

Segundo MATTA (2002) os tipos de solos predominantes são: Latossolo Amarelo e Gleissolo Háptico, e em menor proporção Neossolos, Quartzarênicos, Plintossolos e Neossolos Flúvicos.

O componente hidrográfico é influenciado pelas oscilações das marés oceânicas (Figura 8), presentes na dinâmica das áreas insulares e de borda do município de Ananindeua. Neste sentido, funcionam como um limite natural os rios: Guamá, ao sul, na fronteira com Belém; o Maguari-Açu, na parte norte e rio Benfica limitando a Nordeste limitando com o município de Benevides. O rio Maguari-Açu deságua no furo do Maguari, a noroeste, formando um limite natural com a capital paraense. (ANANINDEUA, p. 5, 2013).

Figura 8 - Planície de inundação – áreas de várzeas.



Fonte: Ananindeua (2013).

CAPÍTULO 3 - REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Clima urbano e ilhas de calor

Estudar o clima urbano consiste em entender o padrão dos elementos climáticos e sua interação com a cidade. Quando modificamos ou substituímos a estrutura natural do ambiente, modifica-se a composição atmosférica, o balanço de calor e as características da superfície. Essas mudanças geram efeitos no campo térmico, físico-químico e pluviométrico do espaço urbano.

O conceito de clima urbano está associado aos efeitos do conjunto de elementos pertencentes aos processos climáticos que compõem e interagem na atmosfera urbana. Fatores que contribuem para acentuar esses efeitos estão relacionados com a disposição das rugosidades das cidades, a heterogeneidade urbana, que dependendo da escala de análise podem originar alterações na turbulência atmosférica urbana, albedo e estocagem de calor, evapotranspiração e balanço energético da superfície. (TAHA, 1997; ARNFIELD, 2003; KANDA, 2006).

A natureza térmica da cidade envolve a maioria dos processos atmosféricos da atmosfera urbana, passando desde o balanço de energia, que dispõe do controle/equilíbrio de entrada e saída de energia, os processos convectivos, estocagem e dissipação de calor, turbulência do ar, passando pelas atividades biológicas e antrópica de todo o meiorbano.

É o campo térmico que, associado à disposição das rugosidades urbanas e a composição do material do uso e ocupação do solo, em uma situação de estabilidade atmosférica, responde diretamente aos efeitos mais evidentes do clima urbano, como a Ilha de calor.

De acordo com Oke (1987), a ilha de calor urbana é a principal manifestação do clima urbano que surge através de modificações atmosféricas e da superfície na área urbana, acontecendo principalmente em uma escala local.

As ilhas de calor urbana não são responsáveis pela mudança climática global porque as cidades ocupam uma fração pequena da superfície terrestre. Como produto do clima urbano, “os efeitos climáticos locais às vezes confundem na aferição das mudanças climáticas globais por causa da localização das estações meteorológicas serem situadas nas áreas urbanas ou bem próximas da cidade” (VOOGT, 2002, p.661).

Mesmo com a dificuldade de medição térmica dentro de uma escala específica de observação, a ilha de calor urbana receberá as alterações climáticas causadas por fatores humanos em nível local, além de uma adição de qualquer aumento ou modificação térmica proveniente de mudanças climáticas de âmbito global nas áreas urbanas.

Autores como Monteiro (2015, p. 113) admite que o clima da cidade represente uma organização complexa, integrando uma visão sistêmica com uma estrutura que apresenta vários graus de hierarquia funcional e diferentes níveis de resolução. Os subsistemas que compreendem essas hierarquias estão associados aos canais de percepção que integram o Sistema Clima Urbano como: Canal I (componentes termodinâmicas do clima – conforto térmico); Canal II (componentes físico-químico, qualidade do ar) e Canal III (Hidrometeorológico – meteorológico de impactos). Cada canal de percepção refere-se ao efeito da produção antrópica na atmosfera urbana.

Nesse sentido, a importância de estudos que contemplem a identificação das ilhas de calor urbana, sua distribuição espacial e sua evolução temporal para o entendimento da interferência urbana no comportamento climático das cidades, necessitam de investigações que incorporem as particularidades de cada lugar ou região.

3.2 Definição e caracterização da ilha de calor

O entendimento conceitual e a caracterização da ilha de calor se faz necessária para o entendimento correto das análises espaciais do clima urbano.

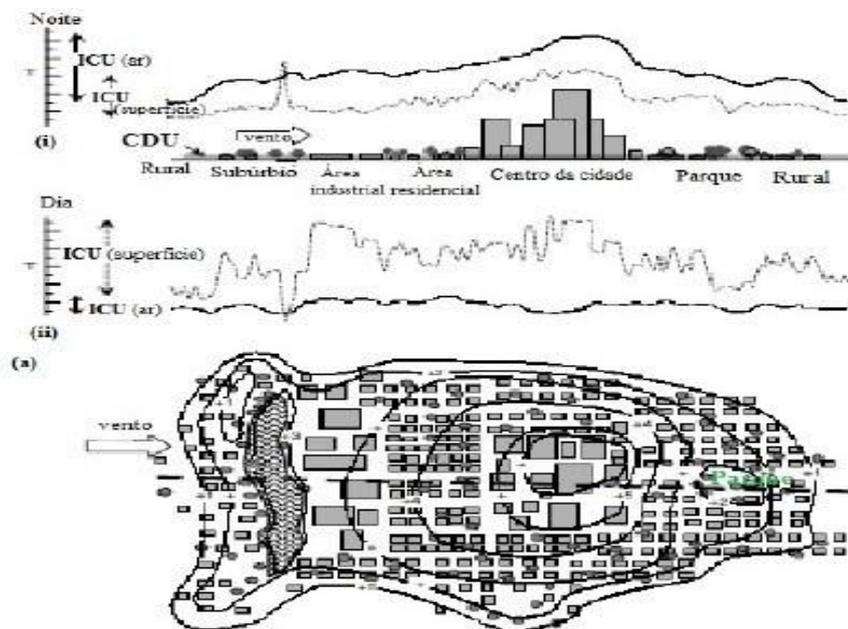
Sendo assim, Voogt (2002, p.661) define ilha de calor urbano como o “calor característico das áreas urbanas, quando comparadas ao seu entorno (não urbanizado). No entanto, pode-se referir tanto ao aumento da temperatura do ar quanto ao calor relativo da superfície ou aos materiais relativos a essa superfície”.

Os tipos de ilhas de calor referem-se ao frequente aumento da temperatura na camada de ar atmosférico mais próxima da superfície. Desta forma, surge várias nomenclaturas como: ilha térmica, utilizada como sinônimo (LUCENA, 2013); ilha de frescor urbana (IFU) ou vale urbano fresco (VUF), identificação de áreas mais frias no interior da ilha de calor (RIZWAN *et al*, 2008); ilhota de calor, quando aparecem pequenas áreas mais quentes em regiões suburbanas e arredores (GARCÍA, 1999); ilha seca, está relacionado as áreas mais quentes e que apresentam umidade relativa mais baixa que o entorno (GARCÍA, 1999); ilha de calor urbana da superfície, é a tradução da expressão em inglês *Surface Urban Heat Island* – SUHI, que se diferencia da ilha de calor urbana por captar os dados de temperatura de superfície através de técnicas de sensoriamento remoto, em vista da outra utilizar os dados de temperatura do ar por meio de instrumentos como termômetros das estações convencionais ou automáticas, ou de instrumentos coletados em pesquisa de campo (LUCENA, 2013).

A SUHI é caracterizada pela medida indireta da temperatura, exigindo assim, uma correção das propriedades radiativas que influenciarão os comprimentos de ondas de emissão e reflexão da radiação, detectadas pelo sensor (VOOGT e OKE, 2003).

Segundo Lucena (2013, p. 31) o que justifica a nomenclatura ilha de calor é o “padrão espacial do contorno das isoterms, representando um desenho de um ou várias feições de ilhas”. Como podemos observar na figura 9, a seguir:

Figura 9 - Características da ilha de calor urbana. Visões transversais das temperaturas do ar medidas na UCL (camada de cobertura urbana) e temperaturas da superfície (por exemplo, como observado por um sensor remoto) sob condições de ilha de calor durante (i).



Fonte: VOOGT (2002) Adaptado de Lucena (2013).

Sobre as características da ilha de calor, Lucena (2013, p. 32) explica:

“A ilha de calor caracteriza-se por três aspectos principais: forma, intensidade e localização do seu núcleo mais quente. Esses aspectos são distintos em cada cidade, em função do momento do dia e da época do ano, do tempo atmosférico, da localização geográfica, incluindo sua morfologia natural, como morros, corpos hídricos e áreas verdes, e das propriedades térmicas dos materiais que compõem a superfície urbana”.

A forma, intensidade e localização da ilha de calor está diretamente relacionada ao uso e ocupação da superfície urbana, seja ela contendo elementos naturais ou mesmo apresentado uma cobertura alterada pela modificação da superfície original em prol dos espaços que atendam às necessidades da cidade.

Streutker (2003), Weng *et al.* (2003), Kumar e Shekhar (2015) e Pereira Trindade *et al.* (2017) mostram em seus estudos que a ilha de calor urbana é consequência direta da urbanização, destacando ainda que a vegetação tem uma relação direta com a amenização da temperatura.

Voogt e Oke (2002) argumentam que as principais causas da ilha de calor decorrem de uma complexa interação de vários atributos internos do sistema, como demonstrado na Quadro 3.

Quadro 3 - Principais causas das ilhas de calor.

Causa	Descrição
Superfície urbana	A ampliação da superfície conduz ao aquecimento devido a uma maior absorção de radiação solar; Construções pouco espaçadas reduzem o fator de visão do céu e reduzem a perda de calor radiativa, particularmente à noite; O telhado das construções reduz a perda de calor convectiva da superfície e próximo da superfície de ar.
Propriedades térmicas da superfície	Materiais de construções urbanas têm uma superfície termal maior, ampliando sua capacidade de estocar e suportar calor.
Condições da superfície	A impermeabilização da superfície urbana por construções e pavimentação reduz a evaporação; mais energia é canalizada em calor sensível ao invés de calor latente (calor retornado pela evaporação da água).
Calor antropogênico	Calor liberado por uso de energia urbana em construções e veículos e pelos próprios habitantes da cidade.
Efeito estufa urbano	A atmosfera poluída e mais quente emite mais radiação em direção à superfície da cidade. A umidade urbana reforçada pode também contribuir para esse efeito.

Fonte: Lucena (2012) adaptado de VOOGT (2003).

Voogt e Oke (2002) também destacam as variáveis naturais capazes de interferir e controlar as manifestações das ilhas de calor urbana, como observamos na Quadro 4, a seguir:

Quadro 4 - As variáveis atmosféricas no controle das ilhas de calor urbana.

Controle	Controle
Vento	Aumento da velocidade do vento e de sua turbulência diminui a magnitude da ilha de calor urbana.
Vento (advecção)	Transporte horizontal de calor: advecção quente pode reforçar a ilha de calor urbana; advecção fria pode suprimi-la.
Nuvem	A nuvem reduz o arrefecimento radiativo pela superfície; nuvens espessas e baixas têm maior efeito em relação às nuvens finas e altas.
Umidade	Entre os efeitos variáveis, ela funciona como um agente que modifica a estrutura termodinâmica da atmosférica.

Fonte: Lucena (2012) adaptado de VOOGT (2003).

Oke (1995, p. 288) disserta que a ‘forma e o tamanho das ilhas de calor variam no

tempo e no espaço, de acordo com as condições meteorológicas, locais e urbanas”. Essas características influenciam na escala espacial climática que será utilizada e no uso de técnicas empregadas no estudo e entendimento desse fenômeno climático.

Existem diferentes técnicas para a identificação das ilhas de calor urbanas que auxiliam na aquisição e tratamento da informação climática que são estudadas e implementadas nos mais variados campos de pesquisa.

3.3 Abordagens metodológicas para ilha de calor

Segundo Lucena (2012) a literatura climática urbana possui um número expressivo de estudos observacionais nos últimos 20 anos, delimitado basicamente por quatro abordagens metodológicas: análises de séries temporais, a utilização de transectos fixos e móveis, técnicas de sensoriamento remoto e a modelagem atmosférica.

Trabalhos como o de Arnfield (2003), Grimmond (2006), Souch e Grimmond (2006), Sorre (2006), Gartland (2010), Stewart (2011), Lucena (2012) apresentam contribuições com base nas metodologias e técnicas aplicadas para o estudo do clima urbano e ilhas de calor.

Os estudos de séries temporais, segundo Lucena (2012, p. 22), apresentam como “atributo principal a análise da evolução dos dados meteorológicos, observando o padrão temporal e a tendência para melhor compreender o clima”. A estatística é uma ferramenta fundamental nas análises dessa técnica (CHUNG *et al.*, 2004; FUJIBE, 2011; HOMAR *et al.*, 2010; LUCENA, 2012; VILANI e SANCHES, 2013; DUHAN *et al.*, 2013; REN e ZHOU, 2014; YU e LI, 2015; SAJJAD *et al.*, 2015; CHENG *et al.*, 2017; GOLROUDBARY *et al.*, 2018).

O uso dos transectos de redes móveis e fixas, colocados em localizações estratégicas na cidade, tem a finalidade de verificar a temperatura do ar através da aferição dos dados coletados e registrados (ALCOFORADO e ANDRADE, 2006; SUN *et al.*, 2009; MURPHY *et al.*, 2011, CHOW *et al.*, 2011; YAN *et al.*, 2018).

Com o advento da tecnologia, o sensoriamento remoto tornou-se muito utilizado em pesquisas de clima urbano e ilhas de calor. Coiner e Levine (1979) definem sensoriamento remoto com a coleta de informações por sensores localizados em alguma distância dos objetos ou atividades que estão sendo detectados. Desta forma, os sensores podem registrar características físicas dos objetos facilitando as análises dos estudos propostos (STREUTKER, 2003; CHEVAL *et al.*, 2009; STATHOPOULOU and CARTALIS, 2009; IMHOFF *et al.*, 2010, MALLICK *et al.*, 2012; LUCENA, 2012; SOBRINO *et al.* 2012; LAZZARINI e MARPU, 2013; ANDRADE e CORRÊA, 2014; WU, *et al.*, 2014; SOUZA *et al.*, 2015; GHOBADI *et al.*, 2015; CORRÊA *et al.*, 2016; SILVA JÚNIOR *et al.*, 2018; AZHDARI, *et al.*, 2018; LI e MENG, 2018; PERES *et al.*, 2018).

A modelagem atmosférica é utilizada a partir de modelos numéricos com simulações de fenômenos atmosféricos compreendendo situações temporais e espaciais em diversas escalas.

Essa abrangência de possibilidades, através da modelagem, somatizam alternativas para os estudos urbanos incorporando uma nova abordagem e auxiliando as técnicas tradicionais como o uso de transectos fixos e móveis, dados de estação

meteorológica entre outros. Autores como HAFNER e KIDDER (1999), KANDA (2006), LUCENA (2012) e TEIXEIRA e AMORIM (2017), utilizam em seus trabalhos a modelagem para estudos urbanos de ilha de calor juntamente com experimentos no laboratório, imagens de satélites e integração de dados de variação da temperatura do ar com mudanças nas feições da superfície respectivamente, entre outras contribuições (YOSHIKADO, 1994; EZBER *et al.*, 2007; VAN WEVERBERG *et al.*, 2007; KARAM *et al.*, 2010; ZHANG *et al.*, 2010; OLESON *et al.*, 2011; LUCENA, 2012; MAIA, 2013; HAMDI, *et al.*, 2014; TAKANE *et al.*, 2015; MIDDEL, *et al.*, 2015; LI, *et al.*, 2016; ZHAO *et al.*, 2017; GARUMA, 2017; GAO *et al.*, 2018).

3.3.1 Clima urbano e ilhas de calor: pesquisas na literatura Internacional.

O campo da climatologia urbana cresceu rapidamente nos últimos anos, reflexo do aumento da produção na literatura que investiga a influência do homem em seu ambiente, o que representa uma tentativa para obter em detalhes uma visão da alteração climática nas cidades.

A primeira síntese sobre o conhecimento de clima das cidades foi realizada no século XX em Munique com o primeiro livro do Padre Albert Kratzer, cuja sua primeira edição data de 1937. Este trabalho compreendeu uma revisão literária até então pioneira que reuniu 255 artigos sobre os problemas relacionados da influência da população, a indústria e o clima. A segunda edição do trabalho resultou na citação de 533 artigos (LANDSBERG, 1981).

Segundo Alcoforado (2010, p.19) o manual de R. Geiger “O clima das cidades” que trata sobre a climatologia local é um livro que apresenta alguns exemplos interessantes sobre o assunto. A geografia do clima urbano indica uma produção bibliográfica pioneira e concentrada nas regiões de latitudes médias em cidades de alto nível sócio-econômico, como é o caso da Europa. Devido ao desenvolvimento urbano de Londres e a sua organização econômico-espacial ter sido expressiva possibilitou os primeiros registros de metodologias para a análise do efeito da urbanização na atmosfera urbana, mesmo com as limitações tecnológicas da época. Os primeiros estudos tiveram uma metodologia com usos de transectos para auxiliar na investigação das diferenças térmicas da cidade.

No início do século XIX a primeira pesquisa voltada para o estudo do calor urbano foi iniciada por Luke Howard (1833), em Londres, Inglaterra. O autor não cita a nomenclatura ilha de calor, mas seu estudo serviu de base para os estudos futuros da temática. A comparação de temperaturas entre campo e cidade, utilizando transectos, foi a metodologia empregada para analisar as consequências das concentrações urbanas na atmosfera (MONTEIRO, 2015, p.84).

Os principais estudos se destacam pela observação empírica das temperaturas nas áreas centrais de cidades comparadas as áreas rurais, essa abordagem tradicional e clássica para a identificação da ilha de calor urbana norteou outros estudos fora da Europa central, disseminando essas observações para as outras partes do mundo.

Emilien Renou fez descobertas similares aos estudos de Howard sobre Paris durante a segunda metade do século XIX (1855, 1862, 1868) constatando evidências de alteração no clima da cidade com uma diferença de 1°C, na mesma altitude, entre campo e cidade, considerando ainda que o resfriamento radioativo é maior no campo e menor na cidade (LANDSBERG, 1981 b).

Wilhelm Schimidt descobriu essas mesmas condições semelhantes em Veneza

no início do século XX (1917, 1929) além de iniciar investigações micrometeorológicas da paisagem urbana utilizando veículos motorizados instrumentados como ferramenta de pesquisa, resultando isolinhas de elementos meteorológicos. (LANDSBERG, 1981 b).

Augusto Schmauss (1927) foi um dos pioneiros a relacionar a influência atmosférica na cidade de Munique, na Alemanha, ocasionando um aumento dos índices de chuva na cidade em relação aos totais pluviométricos registrados em estações fora do perímetro urbano. A partir disso, surgiu o interesse em incorporar fatores climáticos e outros elementos do ambiente físico no planejamento urbano (LANDSBERG, 2006).

Ainda em terras inglesas, surgiram trabalhos como a primeira monografia voltada para a ilha de calor, por Chandler (1965), que monitorou as temperaturas da área central com as áreas da vizinhança, encontrando uma diferença térmica entre elas de até dois graus, no período do verão. O meteorologista Landsberg (1965) produziu uma obra intitulada *The Climate of Towns*, onde observou as médias térmicas anuais mais altas na cidade, considerando a observação das temperaturas mínimas, as chuvas e nevoeiros. Sua obra resultou em uma síntese sobre os estudos de climatologia urbana (MONTEIRO, 2015, p.87 e 88).

Na segunda metade do século XX, William P. Lowry escreve o artigo intitulado *Empirical Estimation Effects on Climate: A problem Anayisis*, datado do ano de 1977, o qual foi evidenciado um estudo sobre a natureza do clima urbano, analisando o problema da estimação empírica dos efeitos urbanos sobre o clima. O autor analisa os períodos pré-urbano e urbano na tentativa de isolar o efeito da urbanização, simulando através de equações situações anteriores a urbanização. É um modelo para determinar o efeito da urbanização para cada elemento climático e por tipo de tempo, sendo exequível somente em cidades construídas de forma planejadas e que apresente previamente o conhecimento de dados meteorológicos da área (OKE, 1984 a).

Tim Oke realizou estudos observacionais e de modelagem sobre os balanços de energia e as transferências radioativas de energias no espaço urbano. Em 1972 iniciou a divulgação de seus trabalhos, tendo somente no ano de 1978 sua primeira publicação com a edição do livro *“Boundary Layer Climates”*, que reúne uma síntese da aplicação dos princípios físicos da natureza da atmosfera perto da superfície, reunindo conceitos de sistemas atmosféricos, ambientes naturais atmosféricos e ambientes atmosféricos modificados pelo homem. Em 1984 Oke escreveu uma obra intitulada *“Methods in urban climatology”*, esta chama a atenção para a necessidade de estudos climáticos para o planejamento urbano, analisando os métodos (metodologias e técnicas) em uso na climatologia urbana.

Landsberg (1981) menciona em sua obra, denominada *“The Urban Climate”*, a ciência do efeito do clima urbano nas cidades e os aspectos climáticos do planejamento urbano, compreendendo as razões claras das relações físicas que criam as diferenças climáticas das áreas urbanas.

No ano de 1987 é lançada a segunda edição do livro *“Boundary Layer Climates”* de Tim Oke com ênfase dada as camadas próximas da superfície, a natureza térmica das nuvens convectivas, estabilidade atmosférica e a estrutura da camada limite planetária, analisando os processos que envolvem a vegetação entre diferentes culturas, os efeitos da topografia na modificação dos fluxos de ar, incluindo a compreensão para o fluxo de ar e balanço de energia para as cidades e os efeitos da geometria do edifício no meio urbano na ilha de calor.

Oke *et al.*, (1992) realizam um estudo pioneiro sobre a climatologia física de

uma cidade tropical, investigando o balanço de energia superficial da cidade do México. Foram realizadas medições diretas da radiação das ondas líquidas e do fluxo de calor sensível turbulento a partir de uma torre de 28 m localizada a cerca de 4 km do centro da cidade. Os resultados se assemelharam ao comportamento das cidades temperadas em relação à magnitude do índice de Bowen, diferenciando apenas no maior armazenamento de calor.

Em 1995 Oke desenvolve o artigo sobre *“The heat island of the urban boundary layer: characteristics, causes and effects”* onde explica conceitos em relação à ilha de calor na camada limite urbana, características observadas, estrutura térmica e os efeitos climáticos da ilha de calor urbana.

Jauregui, (1997) descreve a ilha de calor da cidade do México usando dados de duas estações meteorológicas, instaladas em um local rural. Os resultados mostraram que a ilha de calor noturna (75%) foi mais frequente do que a ilha de calor diurna (25%), além disso, os contrastes térmicos urbanos/rurais apresentaram uma variação ao longo do ano de 5° C na estação seca e 1°-3° na estação chuvosa.

Taha (1997) explica em seu artigo *“Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat”* as características do clima da cidade, as causas e efeitos da ilha de calor urbano. A ação do calor antropogênico na intensificação dos processos e os impactos no albedo da superfície e na evapotranspiração.

No século XXI o aumento do acervo de pesquisas, novas metodologias, revisões com diferentes enfoques ajudam no entendimento do padrão da atmosfera urbana que muito influencia em nosso dia-a-dia.

Deosthali (2000) elaborou um estudo sobre o impacto do crescimento urbano sobre as ilhas de calor e umidade na cidade de Pune, Índia. Como metodologia de estudo, foram utilizadas técnicas de medições móveis em 170 locais distribuídos pela cidade, observando a temperatura do bulbo seco e o do bulbo úmido em psicômetros devidamente calibrados. Constatou-se que no núcleo da cidade, o período noturno apresenta “ilhas de umidade” e “ilhas secas” ao amanhecer.

Voogt e Oke (2003) destacam que muito se tem avançado na investigação dos fatores físicos que determinam ou influenciam a ilha de calor urbana e que essa disseminação crescente amplia as oportunidades para estudar a ilha de calor e clima urbanos modificados de forma geral através da aplicação do sensoriamento remoto termal.

Arnfield (2003) no artigo *“Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water and the urban heat island”*, discute os avanços nos estudos de processos climáticos relacionados à turbulência atmosférica urbana e aos processos de trocas de energia e água, em escalas de proporções variadas no ambiente urbano. Em um segundo momento o autor explora a literatura sobre o campo da temperatura urbana, destacando a ilha de calor.

Sorre (2006) teve uma contribuição fundamental para os estudos de referencial teórico da climatologia, incluindo, a partir de uma visão geográfica, a compreensão da importância dos elementos meteorológicos, suas variações no tempo e no espaço e a influência que esses exercem na sociedade. O autor observa a dinâmica do clima através de análise integradas dos elementos meteorológicos e as massas de ar, atribuindo ao clima um ritmo específico que depende das características de cada lugar.

Grimmond (2006) em seu artigo *“Progress in measuring and observing the*

urban atmosphere”, desenvolve observações sobre os avanços na compreensão do clima urbano, abordando os métodos e análises para verificar as instrumentações capazes da melhor interpretação dos processos na atmosfera urbana.

Roth (2007) no trabalho “*Review of urban climate research in (sub) tropical regions*” mostrando os principais trabalhos sobre a ilha de calor na região subtropical, comparando com o padrão climático urbano de cidade das regiões de latitudes temperadas.

Rizwan *et al.* (2008) no artigo “*A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island*”, enfocam os conceitos básicos, procedimentos e as ferramentas usadas na compreensão, do planejamento das mitigações dos efeitos da ilha de calor.

Alcoforado (2010) é portuguesa e autora do livro intitulado “*Climatologia para o ensino*”, e desenvolve um programa de temas selecionados da temática do clima urbano que surgiu da elaboração de uma disciplina opcional de climatologia, resultando em uma revisão bibliográfica com o desenvolvimento de temas que vão desde a bibliografia fundamental do clima urbano, passando pelos seus componentes, suas características, perspectivas de aplicações que apresentam atividades práticas ao longo de cada tópico explorado.

Golroudbary *et al.* (2018) mostraram a detecção de mudanças do clima das áreas urbanas da Holanda utilizando cinco anos de observações meteorológicas (2011-2015) pelos dados das redes automáticas e amadoras para investigar os efeitos urbanos e parâmetros meteorológicos com foco na temperatura (Ilha de calor) e precipitação, para isso, a metodologia utilizada foi baseada em Wolters & Brandsma (2012). Constataram que a análise horária indicou que a ilha de calor urbana é mais proeminente ao pôr do sol, excedendo 2° C de temperatura, ocorrendo com mais proeminência no verão. Os resultados mostraram também que há uma maior evidência da ilha de calor urbana e da precipitação nas áreas urbanas da Holanda, obtidas a partir dos dados das estações amadoras, e que esses dados estão de acordo com os resultados apresentados na literatura, ressaltando ainda que, existem 7% a mais de precipitação ocorrendo em cidades do que em áreas rurais.

Sem a pretensão de esgotar a bibliografia disponível que contribuíram para a consolidação dos estudos do clima urbano, como as referenciadas nos séculos XIX e XX, as preocupações das influências humanas no ambiente urbano continuam durante o atual século XXI, considerando novos métodos e novas tecnologias que ampliam ainda mais o conhecimento sobre aspectos climáticos e seus efeitos na atmosfera local. As inúmeras produções resultantes contribuem para a disseminação dos estudos aplicados em várias partes do mundo.

3.3.2 Clima urbano e ilhas de calor: pesquisas na literatura para regiões tropicais-equatoriais.

Sobre as demonstrações de análises do clima urbano e ilhas de calor na escala internacional, percebemos uma concentração de trabalhos das regiões temperadas do globo terrestre. Neste sentido, trataremos dos principais autores que estudam clima urbano e ilha de calor na escala de regiões tropicais de latitudes menores para assim seguirmos entendendo a reprodução desses estudos adaptados à realidade local, como é o caso da região equatorial brasileira.

Oke *et al.* (1990) esclarecem que é angustiante saber pouco sobre o clima das cidades tropicais, haja vista que, problemas como expansão populacional e provável

degradação ambiental, incluindo os aspectos do clima urbano como a poluição do ar, o estresse térmico, inundações implicam em uma série de questões, incluindo a saúde, segurança, produtividade e conservação.

Existe uma dificuldade notória quando se trata dos estudos de clima urbano na região tropical. Ayoade é um clássico na climatologia para os trópicos e, portanto, uma importante referência para essas regiões. Por conta da escassez de uma bibliografia mais ampla, além das regiões temperadas, insistimos com a contribuição de Ayoade.

Nos trópicos, a ocorrência de precipitação e a umidade relativa do ar são elementos que definem fundamentalmente as estações nessa região. Além disso, os trópicos constituem uma área que possui um domínio climático tropical composto de uma cobertura insuficiente de dados e do modesto desenvolvimento de modelos locais e de técnicas analíticas para estudar o tempo e o clima. (AYOADE, 2006, p.10).

Uma das causas para o pouco estudo da região tropical seria essa falta de informações que de certa forma tem influenciado as pesquisas meteorológicas e climatológicas nas baixas latitudes.

Alguns trabalhos realizados sobre o clima urbano na região dos trópicos serão aqui destacados como referências nesses estudos.

Sham (1987) se propõe a fazer um estudo da ilha de calor urbana para a cidade de Kuala Lumpur na Malásia comparando dados de estações meteorológicas do campo e da cidade, indicando uma diferença de 6° a 7 ° F no verão.

Adebayo (1987) analisou os diferentes usos da terra na observação dos diferentes microclimas na cidade de Ibadan, Nigéria, observando a infraestrutura das diferentes superfícies e sua influência na variação nas propriedades térmicas, albedo e o ambiente aerodinâmico. Utilizou como metodologia o padrão do uso da terra da cidade como base para análise espacial da ilha de calor urbana.

Chow & Roth (2006) realizam a partir de observações de dados de estações meteorológicas, uma localizada em área rural e outra na área urbana, uma dinâmica temporal da ilha de calor urbana na cidade de Cingapura, utilizando os dados diurnos e variações sazonais da intensidade da ilha de calor no nível do dossel no período de um ano.

Quah e Roth (2012) realizaram um dos primeiros estudos de calor antropogênico realizados em uma cidade tropical, como Cingapura. Estimaram a variabilidade temporal da densidade de fluxo de calor antropogênico de três tipos usos da terra com relação às fontes de calor residual urbano: liberação de calor do tráfego de veículos, edifícios e metabolismo humano. Foram calculados os componentes individuais das fontes de calor, usando uma combinação de abordagens de modelagem top-down e bottom-up do consumo de energia aplicado ao contexto local. Os resultados mostraram que o calor antropogênico atinge valores máximos de 113 W m⁻² no setor comercial, 17 W m⁻² na habitação pública de alta densidade e 13 W m⁻² nas áreas residenciais de baixa densidade. As variações espaciais e temporais de calor antropogênico são atribuídas a diferença no volume de tráfego, no consumo de energia e na densidade populacional.

No contexto do território brasileiro, os estudos de clima urbano tiveram como base teórica metodológica as contribuições de Carlos Augusto Figueiredo Monteiro (1976) que apresentou em sua tese de livre docência na Universidade de São Paulo (USP) a Teoria do Clima Urbano. Uma pesquisa que focalizava entender o clima da cidade sob uma perspectiva conjuntiva e sistêmica. Sua tese foi pioneira nos estudos de

clima urbano no país, permitiu a aplicação em vários outros estudos que vieram em seguida. Seguindo a concepção de Sistema Clima Urbano (SCU), Monteiro conduziu e orientou inúmeros trabalhos nessa linha. Deste modo, sua importante contribuição ajudou a formar a chamada “Escola Brasileira de Climatologia Urbana”.

A temática de clima urbano e ilhas de calor tem sido estudada em algumas cidades brasileiras, como por exemplo: Carvalho (2001) em Natal – RN, Amorim (2002) em Presidente Prudente (SP), Araújo e Sant’Anna Neto (2002) em São Luis (MA), Anunciação e Sant’Anna Neto (2002) em Campo Grande (MS), Moura (2008) em Fortaleza (CE), Rovani et al. (2010) em Santa Maria (RS), Andrade, Roseghini e Mendonça (2010) em Irati (PR), Lucena (2012) no Rio de Janeiro (RJ).

Lombardo (1985) ao estudar as ilhas de calor na metrópole paulista observou as modificações diurna, sazonal e espacial através da combinação de medições de temperaturas e umidade relativa, auxiliado pelo uso de imagens termais para o cálculo de temperatura de superfície. A autora identificou, através da metodologia usada, uma forte relação entre a ocupação do solo urbano e ilha de calor, encontrando também as maiores temperaturas associadas as mais altas densidades populacionais.

Mendonça (1994) utiliza o clima urbano em sua tese de doutorado no contexto do planejamento urbano das cidades de porte médio e pequeno e os efeitos na temperatura do ar para a cidade de Londrina no estado do Paraná. O autor afirma que em locais que concentram fluxo intenso de veículos e pessoas, considerando a aglomeração de edifícios verticais associados a poucos espaços verdes são fatores propícios à formação de ilha de calor urbana.

Brandão (1996) aplica os conceitos da teoria do Sistema Clima Urbano para a cidade do Rio de Janeiro, utilizando dados de estações meteorológicas e transectos fixos e móveis para auxiliar na coleta de dados de temperatura para auxiliar nas possíveis identificações das ilhas de calor. Além de considerar os diferentes usos da terra dentro da cidade para selecionar os seus pontos amostrais, na tentativa de se aproximar ao máximo da realidade térmica local.

Apesar das últimas décadas apresentarem uma crescente produção nos trabalhos de clima urbano, ainda é incipiente o conhecimento da realidade climática da maioria das cidades do Brasil, assim como, o número de proposições teórico-metodológico para o estudo do clima urbano é diverso quando se trata de cidades equatoriais da Amazônia brasileira.

Entre alguns estudos nas cidades equatoriais, Costa e Mattos (2000) estudou a influência da estrutura urbana sobre o padrão da ilha de calor urbana durante as épocas chuvosa e menos chuvosa na cidade de Belém/PA. Foram utilizados psicrômetros convencionais sem aspiração, com precisão de 0,2°C, colocados no interior de abrigos meteorológicos padronizados de madeira e distribuídos em 18 locais distintos, cujos os resultados mostraram que a época menos chuvosa apresenta uma ilha de calor mais bem definida, alcançando valores em torno de 4,5 °C nos bairros mais urbanizados. Em contrapartida, tem-se menos contraste térmico com apenas 2°C na época mais chuvosa, reflexo da influência da grande nebulosidade e precipitação pluvial da região.

Silva (2009) analisou a influência das áreas verdes no clima da cidade de Manaus, através do estudo comparativo e espacial dos atributos climáticos temperatura, umidade relativa e precipitação, utilizando temperatura em 13 pontos da cidade nos períodos de agosto de 2008 e março de 2009. A variação térmica espacial na área urbana resultou em até 8,0 °C, no primeiro período, e 6°C no segundo. A umidade relativa

alcançou, respectivamente, 41% e 23% e a precipitação correspondeu a variação máxima de 106 (mm).

Castro (2009) identificou através de técnicas de sensoriamento remoto as ilhas de calor e de frescor urbanas na área continental do município de Belém, levando em consideração a variação da vegetação entre os anos de 1997 e 2008. De acordo com o resultado da pesquisa, verificou-se que no ano de 2008 ocorreu um aumento das ilhas de calor urbanas e redução das ilhas de frescor em diversas partes da área continental de Belém, em consequência da ausência de cobertura vegetal em relação ao ano de 1997. Esse aumento ocorreu paralelo ao processo de expansão da cidade, ocasionando assim, um aumento no desconforto térmico para a população.

Carvalho, Soares & Silva (2013) identificaram o papel da ilha de calor na redução de áreas verdes decorrente da urbanização na cidade de Manaus no estado do Amazonas, tornando assim, um fator agravante, pois essas áreas tem uma grande importância para o balanço climático na cidade. Nas imagens termais da cidade de Manaus dos anos de 1990, 2003 e 2011 as temperaturas nas áreas densamente ocupadas se apresentaram mais elevadas em relação às áreas que possuem vegetação, confirmando assim que a urbanização contribui para a alteração do microclima da cidade.

Pavão *et al.* (2015) ao analisarem a distribuição espaço-temporal da temperatura e do albedo da superfície, estimados por sensoriamento remoto no sudoeste da Amazônia, observaram que os menores valores do albedo da superfície e temperatura ocorreram em áreas de floresta e campo sujo. Os maiores valores de albedo e temperatura ocorreram em áreas de campo limpo e urbana com média entre 17 - 60% e a temperatura da superfície obteve valores médios entre 15 - 22%, respectivamente, maiores do que as áreas das florestas.

Souza *et al.* (2015) ao estudarem a influência do crescimento urbano sobre o microclima local das cidades de Manaus e Belém, nas análises de tendências mostraram uma elevação na temperatura de até 1,5 °C nos últimos 50 anos. Foram calculadas a média de temperatura e precipitação do período de 1961 a 2010, paralelo ao mapeamento do crescimento da área urbana de Manaus e Belém.

Santos *et al.* (2016) ao observarem a interferência o microclima da cidade de Bragança/PA, verificaram que as áreas com maior ocupação com construções e com maior pavimentação perderam menos calor, levando à formação de pequenas ilhas de calor noturnas mais intensas, utilizaram dados horários de temperatura do ar e umidade relativa do ar coletados através de micros data-logger com aproximadamente 1,5m de altura do solo.

Corrêa *et al.* (2016) em trabalho realizado na Floresta Nacional (FLONA) do Tapajós e seu entorno, avaliaram a variação da temperatura de superfície em Diferentes Usos e Cobertura do Solo, através de imagens Landsat 5 e 8. Evidenciaram uma amplitude térmica de 13°C na FNT+ZA e concluíram que na FLONA Tapajós a manutenção da cobertura florestal reduz as amplitudes térmicas.

Rodrigues (2017) realizou um estudo sobre a mudança do padrão térmico na área da Primeira Léguas Patrimonial da cidade de Belém-PA. Utilizou o mapeamento do uso do solo, levantamento das temperaturas, espacial e temporal, com base nos dados do INMET, de miniestações fixas, transectos e trabalho de campo para registros e observações. Os resultados da temperatura de superfície apresentaram temperaturas entre 8°C a 13°C nas áreas mais quentes e com pouca arborização. O levantamento e mensuração da temperatura do ar, entre os anos de 1978 a 2014, constatou que a

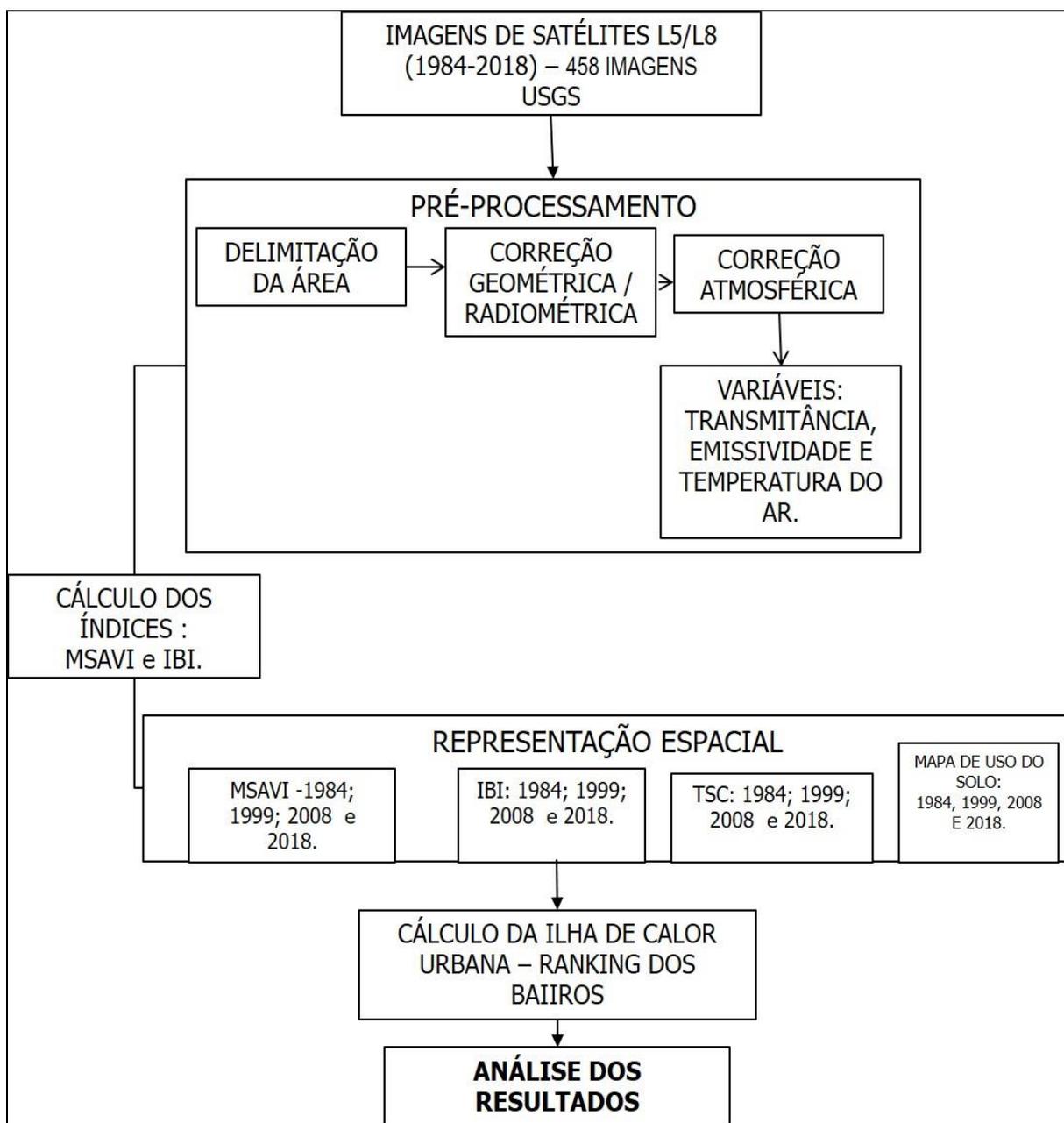
temperatura na cidade de Belém vem aumentando gradativamente ao longo desses anos.

Silva Júnior *et. al.* (2018) ao estimarem a temperatura da superfície por sensoriamento remoto para a região da Amazônia Ocidental Brasileira, encontraram um significativo aumento da temperatura da superfície e focos de incêndio para o ano de 2016. Apresentando os maiores valores de temperatura, entre 23°C e 26°C para cidade e pecuária entre 25,8°C e 28,6°C, respectivamente para 2015 e 2016.

CAPÍTULO 4 - MATERIAL E MÉTODOS

Os procedimentos metodológicos da dissertação seguem de acordo com o fluxograma representada na Figura 10, objetivando: identificar e analisar a ilha de calor em Ananindeua –PA, através da utilização de imagens de satélites e todo o processo de tratamento e representação espacial de índice de vegetação (MSAVI), índice de área construída (IBI), temperatura de superfície (TSC) e uso do solo.

Figura 10 – Fluxogramametodológico da dissertação.



Fonte: Elaborada pela autora.

4.1 Plataforma Landsat

A plataforma *Land Remote Sensing Satellite* (LANDSAT) representa um importante banco de dados de imagens de satélites do mundo. São quatro décadas contribuindo para o avanço das pesquisas científicas e acesso gratuito dos seus dados.

O programa LANDSAT teve início nos anos de 1960, a partir de um projeto desenvolvido pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), Agência Espacial Americana, e dedicado exclusivamente à observação dos recursos naturais terrestres. Segundo o Serviço Geológico dos Estados Unidos - *USGS* (2018), desde o início da operação em 1972 até o presente momento, oito plataformas atuaram e algumas atuam para aquisição de imagens, como está ilustrado na Quadro 5.

Quadro 5 - Série LANDSAT

SATÉLITE	SITUAÇÃO	INSTRUMENTO SENSOR
Landsat 1	Lançado em 23/07/72 – Desativado em 06/01/78.	<i>ReturnBeamVidicon</i> (RBV) e <i>Multispectral Scanner System</i> (MSS).
Landsat 2	Lançado em 22/01/75 – Desativado em 02/02/82.	<i>ReturnBeamVidicon</i> (RBV) e <i>Multispectral Scanner System</i> (MSS).
Landsat 3	Lançado em 05/03/78 – Desativado em 31/03/83.	Versões modificadas do RBV (<i>ReturnBeamVidicon</i>) e MSS (<i>Multispectral Scanner System</i>).
Landsat 4	Lançado em 16/07/82 – Desativado em 14/012/1993.	<i>Scanner Multispectral</i> (MSS) e <i>Thematic Mapper</i> (TM).
Landsat 5	Lançado em 01/03/84 – Ativo até novembro de 2011.	<i>Scanner Multispectral</i> (MSS) e <i>Thematic Mapper</i> (TM).
Landsat 6	Lançado em 05/10/93 – Perdido após o lançamento	<i>Enhanced Thematic Mapper</i> (ETM).
Landsat 7	Lançado em 15/04/99 – ativo até o presente.	<i>Enhanced Thematic Mapper Plus</i> (ETM+).
Landsat 8	Lançado em 11/02 2013 - presente.	<i>Operational Land Imager</i> (OLI) e <i>Thermal Infrared Sensor</i> (TIRS).

Fonte: Dados - *USGS*.

Com o período de revista ou imageamento da terra a cada 16 dias, o satélite LANDSAT apresenta as seguintes características:

- Órbita polar heliossíncrona.

- Altitude entre 919 km (Landsat 1, 2 e 3) e 705 km (demais plataformas).
- Inclinação orbital de 98°.
- Área imageada de 185 km.

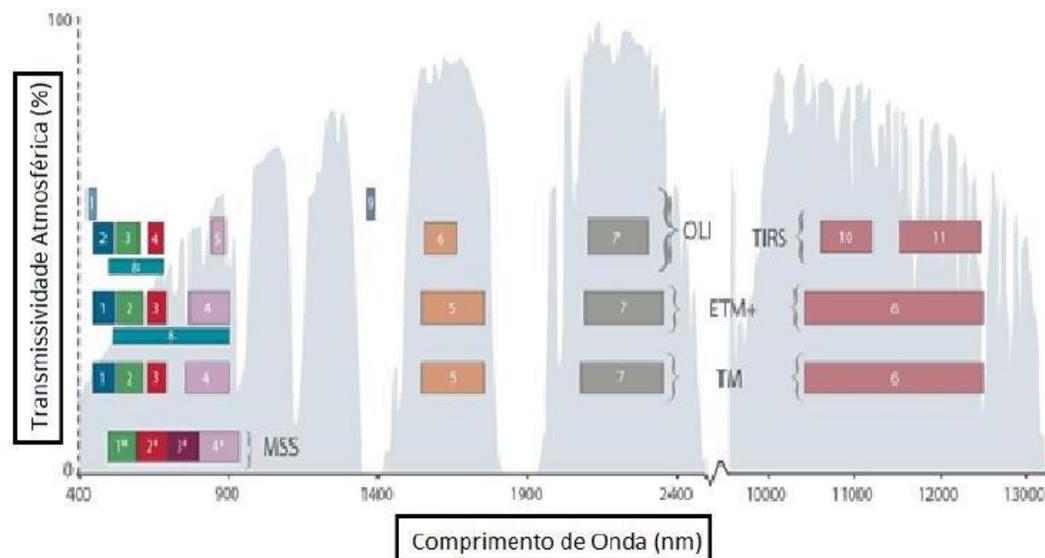
Quanto aos sensores, quatro sistemas operam nessas plataformas: multispectral scanner system (MSS), o return beam vidicom (RBV), o TM e o ETM+. O MSS e o RBV operaram nas plataformas Landsat 1, 2 e 3; o MSS e o TM, nas plataformas Landsat 4 e 5; o, nas plataformas Landsat 6 (ETM) e 7 (ETM+) e o Landsat 8 (OLI) e (TIRS).

O sensor MSS foi lançado a bordo dos cinco primeiros satélites LANDSAT, com exceção do L3 que foi projetado com a banda termal, os demais tinham quatro canais dispostos nas regiões do visível e infravermelho próximo.

Já o sensor TM, a bordo do L4 e L5 opera com 7 bandas nas regiões do visível, infravermelho próximo, médio e termal. Com uma eficiência na resolução espacial, acurácia radiométrica e posicionamento geométrico.

O sensor ETM esteve apenas a bordo do L6, porém não entrou em órbita devido as falhas técnicas. O avanço de técnicas no sensor ETM, ocasionou em um produto sensor ETM+ com melhoras na acurácia do sistema, ampliou a resolução da banda termal para 60 metros e com a banda pancromática operante permitiu a composição colorida com uma resolução espacial de 15 metros, como é demonstrado no Gráfico 2.

Gráfico 2 - As bandas espectrais mostrando o seu comprimento de onda e suas regiões de absorção.



Fonte: Adaptado USGS (2018).

Com a novidade de dois sensores acoplados no L8, um direcionado a reflectância (OLI) e outro pela parte termal (TIRS). A grande diferença, além no número de bandas, nove no OLI e duas no TIRS, ampliam-se os estudos de áreas como: costeira, mascaramento de nuvens e composições pancromáticas.

De acordo com Lucena (2012, p. 64) “a principal diferença entre esses sistemas sensores dá-se pelas características de resolução espectral e espacial e pela sensibilidade radiométrica das bandas”.

O USGS desenvolveu produtos derivados de dados Landsat, prontos para aplicação em pesquisas, classificados nos níveis 1 e 2 com o objetivo de disponibilizar para monitoramento, avaliação e projeção de mudança no uso e cobertura da terra.

Os produtos de dados do Landsat nível 1 são processados dentro de um padrão de parâmetros, apresentando números digitais (DN) dimensionados e calibrados, disponibilizando o algoritmo de conversão para o redimensionamento dos DNs para os valores de radiâncias ou reflectâncias da parte superior da atmosfera (TOA)³.

Os parâmetros dos produtos Landsat nível 1 são processados no Sistema de Geração de Produtos Landsat (LPGS), como apresentado no Quadro 6:

Quadro 6 - Parâmetros dos produtos LANDSAT Nível 1.

Nível de Processamento	Parâmetros
Formato de saída	GeoTIFF
Método de reamostragem	Convolução Cúbica (CC)
Tamanho de pixel	30 metros (TM, ETM +, OLI) e 60 metros (MSS) (bandas refletivas).
Projeção de mapa	Universal Transverse Mercator (UTM) (projeção estereográfica polar para cenas com latitude central maior ou igual a -63, 0 graus).
Sistema Geodésico Mundial	Datum WGS 84
Orientação da imagem	Norte

Fonte: Dados USGS.

Além disso, os produtos Landsat Nível 1 são disponíveis com a calibração radiométrica e ortoretificados usando pontos de controles e Modelo Digital de Elevação (MDE).

Os produtos Landsat Nível 2 apresentam dois tipos de sistemas: o primeiro são dados gerados pelo Sistema de Processamento Adaptativo de Distúrbios do Landsat Ecossistema (LEDAPS) utilizando esses algoritmos para os dados Landsat MSS/TM 4- 5 e ETM + 7, aplicando rotinas de correção atmosférica do MODE (Espectrorradiômetro de Imagem de Resolução Ecossistêmica) para os produtos de nível 1.

³ Ver o processamento dessas transformações em: <https://landsat.usgs.gov/using-usgs-landsat-8-product>

Para produtos como refletância de superfície (TOA), temperatura de brilho, máscaras para nuvens, sombras de nuvens, nuvens adjacentes, terra e água são derivados dos dados de: vapor de água, ozônio, altura geopotencial, espessura óptica do aerossol e elevação digital, resultados da simulação dos modelos de transferência radiativa do Solar Spectrum (6S). E o segundo é empregado para dados de Refletância de Superfície Landsat 8 gerados a partir do Código de Refletância de Superfície Landsat (LaSRC), utilizando um modelo de transferência radioativa único, além de, operar com o ângulo solar e zênite para os cálculos de correção atmosférica (MASEK *et al.*, 2006).

Devida a longa série de dados Landsat ao longo de quatro décadas e as especificidades dos sensores, os algoritmos e sistemas utilizados acabam se diferenciando para atender as devidas características particulares de cada sensor, como observamos algumas dessas características no Quadro 7:

Quadro 7 - Parâmetros LANDSAT Nível 2.

Parâmetro	Landsat 4–5, 7 (LEDAPS)	Landsat 8 (LaSRC)
Reflexão de TOA	Visível (Bandas 1 a 5,7)	Visível (Bandas 1 a 7, 9 OLI)
Temperatura de Brilho TOA	Térmica (Banda 6)	Térmica (Bandas 10 e 11 TIRS)
Refletância de Superfície (SR).	Visível (Bandas 1 a 5,7)	Visível (Bandas 1 a 7) (somente OLI)
Bandas térmicas usadas no Processamento de refletância de superfície?	Sim (a faixa de temperatura de brilho 6 é usada na estimativa de nuvens).	Não
Modelo de transferência radiativa	6S	Algoritmo interno
Nível de correção térmica	Apenas TOA	Apenas TOA
Unidades de banda térmica	Kelvin	Kelvin
Ângulo sol	Centro de cena dos metadados de entrada.	Centro de cena dos metadados de entrada.
Visualizar o ângulo do zênite.	Dos metadados de entrada.	Codificado para 0.
Temperatura do brilho da parte superior da atmosfera calculada.	Sim (banda 6 TM / ETM +).	Sim (Band 10 e 11 TIRS).
Máscara de nuvem	CFmask	CFmask

Fonte: Adaptado do USGS.

A escolha do sistema sensor e as características dos parâmetros utilizados no processamento da imagem são essenciais para o bom funcionamento das futuras análises a serem abordadas. No caso de dados de temperatura de superfície é viável que utilize bandas termais (LANDSAT 5 e 8, respectivamente bandas 6 e 10).

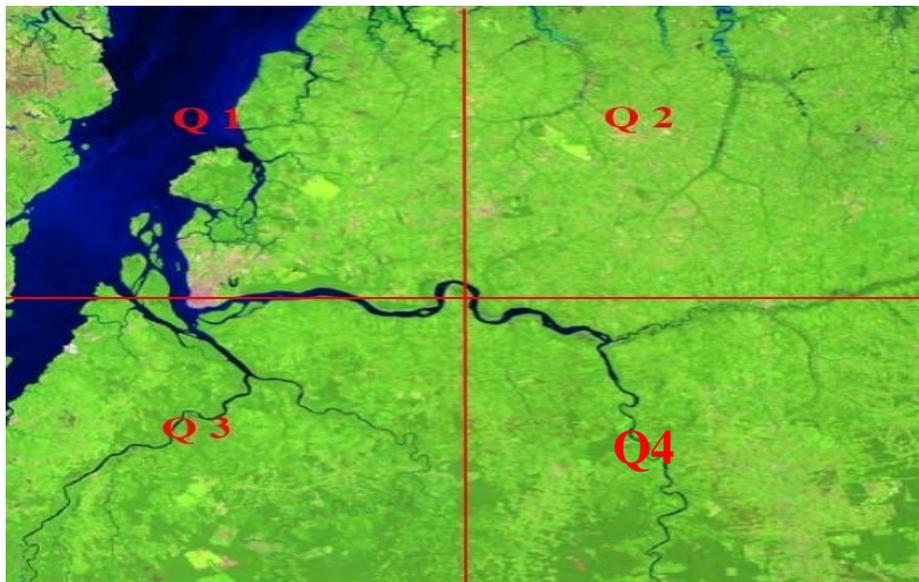
Entre as técnicas mais modernas do estudo do clima urbano, o satélite LANDSAT é considerado uma das ferramentas pioneiras no mapeamento espacial na identificação da temperatura e detecção da ilha de calor urbana (VOOGT e OKE, 2003).

4.2 Processamento de dados

A disponibilidade de acesso do banco de dados do satélite Landsat MSS/TM 5 e OLI/TIRS 8 do USGS reúne, aproximadamente, 458 imagens entre 1984 e 2018 que cobre a área de estudo em questão para download gratuito. As cenas Landsat estão situadas na órbita-ponto 223-061, e corresponde a passagem no período matutino entre 12h 40m e 13h 30m (GMT), correspondendo o horário local (hora de Brasília) entre 9h40 e 10h30.

As imagens de satélite utilizadas no estudo passaram por critérios de avaliação do banco de dados disponível pelo USGS. O primeiro foi a ausência ou a baixa presença de nuvens sobre a região continental do município de Ananindeua, o que ratifica as características equatoriais da área em questão. A Divisão de Geração de Imagens (DGI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), também disponibiliza as imagens Landsat conforme a distribuição existente de nuvens por quadrantes, conforme a figura 11.

Figura 11 - Imagem Landsat 5 TM da órbita ponto: 223/061 do dia 27/07/1984.



Fonte: Adaptado do DGI/INPE.

O segundo critério adotado é a condição radiométrica das imagens, verificada visualmente, a partir da presença de ruídos ou falhas em uma das bandas que prejudicasse o processamento radiométrico. Foram escolhidas as imagens que estão entre os quadrantes 1 e 3, como destacada na Figura 11. Desta forma, a intenção foi seleccionar as imagens com ausência ou baixa presença de nuvens na área estudada.

Com base nesses critérios foram selecionadas 9 imagens (ver Tabela 1), considerando a dificuldade em encontrar cenas da região Amazônica que se enquadrem dentro dos critérios estabelecidos, muitas imagens foram rejeitadas por apresentar nuvens espessas e contínua, comprometendo a visibilidade e uso para as análises posteriores.

Além disso, a grande presença da nebulosidade nas cenas advém da intensa atividade convectiva dos sistemas atmosféricos que atuam na região, como linhas de instabilidades que caracterizam grandes conglomerados de nuvens cumulonimbus e formadas devido à circulação da brisa marítma (MOLION, 1987; FISCH et al., 1998; MORENGO & NOBRE, 2005).

Segundo FISCH et al. (1998, p. 102), fatores como nebulosidade e o regime de precipitação determinam o clima amazônico, sendo as suas características resultados de complexos sistema de fenômenos meteorológicos.

Tabela 1 - Série LANDSAT: porcentagem de nuvem por quadrante.

Data de aquisição da imagem	Sensor	Porcentagem de nuvem por quadrante (Q)
27/07/1984	TM	0%
17/07/1986	TM	10% nos Q1, Q3 e Q4; 20% no Q2.
17/05/1987	TM	10% nos Q1 e Q4; 30% no Q3 e 20% no Q2.
10/08/1989	TM	20% no Q1; 10% nos Q1 e Q3 e 0% Q4.
20/07/1993	TM	10% nos Q1, Q3 e Q4; 20% no Q2.
21/06/1994	TM	10% no Q1; 20% no Q2 e 0% nos Q3 e Q4.
21/07/1999	TM	10% nos Q1 e Q3; 30% nos Q2 e Q4.
13/08/2008	TM	0%
07/06/2018	TM	10% Q3 e 0% no Q1, Q2, Q4.

Adaptado - INPE/USGS

Diante do pouco número de imagens Landsat sem a presença das nuvens na área de estudo, utilizou-se quatro imagens para utilizar na representação por década, o critério estabelecido foi o a menor porcentagem das nuvens presente, ou mesmo a sua ausência, ficando assim as seguintes imagens a serem analisadas: 27/07/1984; 21/07/1999; 13/08/2008 e 07/06/2018.

Após a escolha das imagens, foram feitas as solicitações dos produtos Landsat Surface Reflectance Level-2, sob demanda, pelo sítio web do USGS⁴.

O *upload* foi feito listando as imagens do Landsat nível 1 contendo a nomenclatura de todas as imagens solicitadas em um arquivo de texto *txt*, anexando com o pedido dos produtos que atendem as necessidades da pesquisa.

⁴ <https://espa.cr.usgs.gov/> acessado para a solicitação das imagens Landsat TM 5 e OLI/Tirs 8.

O pré-processamento das imagens consistiu em etapas que visaram corrigir quaisquer distorções geométricas, radiométricas, atmosféricas e mascaramento de nuvens que atrapalhe a boa legitimidade dos dados espaciais.

Na etapa da correção geométrica, mais conhecida como georreferenciamento das imagens, que consiste no reposicionamento da imagem através de parâmetros da imagem de referência, no caso onde as imagens foram associadas a uma projeção cartográfica conhecida em função de uma imagem base ou dado vetor já georreferenciada.

No caso das diferenças de resoluções das bandas termais que apresentam diferentes resoluções (120 m L5, 60 m L7 e 100 m L8), o processo de reamostragens das bandas foi solucionado a partir da divisão o número de linhas e colunas das bandas menores pelas maiores, obtendo-se assim um fator de correção que posteriormente foi multiplicado pelo número de linhas e colunas. Atualmente as imagens LANDSAT já vem reamostradas para 30 metros.

Apesar das imagens apresentarem uma correção geométrica, é importante verificar se as informações de georreferenciamento das imagens consistem com as informações espaciais do município de Ananindeua, além de ser feita a reprojeção do Universal Transverse Mercator (UTM) para a zona 22 Sul que se refere a área de estudo.

O mascaramento de nuvem utilizados nas imagens solicitadas pelo USGS está associado ao uso do algoritmo CFMask que faz o preenchimento de nuvem, sombra de nuvem e os 'pixels' de neve, gelo no processamento de produtos de dados Landsat solicitado por demanda. O uso do algoritmo CFMask apresenta uma melhor precisão geral entre os muitos algoritmos testados usando nossos dados de validação (FOGA *et al.*, 2017, QIU *et al.*, 2017).

Os índices espectrais derivados do Landsat Surface Reflectance de 30 metros (m) para o Landsat 4–5 Thematic Mapper™ (MASEK *et al.*, 2006) e o Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) / Sensor Infravermelho Térmico (TIRS) (VERMOTE *et al.*, 2016) serão utilizados para identificação de ilhas de calor urbana.

Neste trabalho utilizou-se os seguintes índices: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para compor a formação do IBI (Índice de área construída), Índice de Vegetação Ajustada pelo Solo Modificado (MSAVI) que auxiliarão na identificação das áreas com a presença de vegetação. Além disso, utilizaremos o Índice de Área Construída (IBI) para análise das áreas antropizadas e a Temperatura da Superfície Continental (TSC) para auxiliar na identificação dos espaços da ilha de calor urbana.

4.2.1 NDVI

O NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index* (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) foi desenvolvido por Rouse *et al.* (1974) para avaliar a condição geral da vegetação. Utilizado para destacar a vegetação através da refletância no infravermelho próximo e a refletância no vermelho.

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \quad (1.0)$$

O NDVI segundo Ponzoni *et al.* (2012) está baseado na diferença entre a máxima absorção em duas regiões espectrais do vermelho e do infravermelho-próximo, para o satélite LANDSAT5 correspondem as bandas 3 e 4, no LANDSAT 8 são as bandas 4

e 5. Adaptando a equação de NDVI para os respectivos sensores, teremos:

$$\text{Landsat 5: NDVI} = (\text{Band 4} - \text{Band 3}) / (\text{Band 4} + \text{Band 3}). \quad (2.0)$$

$$\text{Landsat 8: NDVI} = (\text{Band 5} - \text{Band 4}) / (\text{Band 5} + \text{Band 4}). \quad (3.0)$$

Os valores de NDVI estão associados às superfícies específicas, a exemplo de corpos hídricos, solo e vegetação que apresentam simultaneamente NDVI os valores mais baixos (negativo), valores médios e valores mais altos, representando diferentes valores que variam de -1 a +1.

4.2.2 MSAVI

Índice de Vegetação Ajustada pelo Solo Modificado (MSAVI), desenvolvido por Qi *et al* (1994), é um índice que procura abordar algumas das limitações do NDVI quando aplicado em área de solo exposto. Calculado como uma razão entre os valores R e NIR com uma função L indutiva aplicada para maximizar a redução dos efeitos do solo no sinal da vegetação (USGS, 2018). Os valores do MSAVI podem variar entre -1 a 1.

$$(2 * \text{NIR} + 1 - \text{sqrt}((2 * \text{NIR} + 1)^2 - 8 * (\text{NIR} - \text{R}))) / 2 \quad (10)$$

$$\text{Landsat 5: MSAVI} = (2 * \text{Band 4} + 1 - \text{sqrt}((2 * \text{Band 4} + 1)^2 - 8 * (\text{Band 4} - \text{Band 3}))) / 2. \quad (11)$$

$$\text{Landsat 8: MSAVI} = (2 * \text{Band 5} + 1 - \text{sqrt}((2 * \text{Band 5} + 1)^2 - 8 * (\text{Band 5} - \text{Band 4}))) / 2. \quad (12)$$

4.2.3 NDBI

Para o índice do IBI precisa necessariamente calcular os componentes temáticos a seguir:

NDBI (*Normalized Difference Built-Up Index*) - Índice Construído de Diferença Normalizada é utilizado para identificar áreas urbanas e construídas com base no incremento de resposta espectral das áreas construídas entre as bandas do infravermelho médio e infravermelho próximo (Xu, 2007; ZHA et al. 2003).

$$\text{NDBI} = (\rho_{\text{ivm}} - \rho_{\text{ivp}}) / (\rho_{\text{ivm}} + \rho_{\text{ivp}}) \quad (16)$$

Onde,

ρ_{ivm} : refletância do Infravermelho médio

ρ_{ivp} : refletância Infravermelho próximo

$$\text{Landsat 5: NDBI} = (\text{Band 5} - \text{Band 4}) / (\text{Band 5} + \text{Band 4}). \quad (17)$$

$$\text{Landsat 8: NDBI} = (\text{Band 6} - \text{Band 5}) / (\text{Band 6} + \text{Band 5}). \quad (18)$$

Os valores de NDBI podem variar entre -1,0 e +1,0 sempre associando que os valores positivos às áreas edificadas.

4.2.4 NDWI

Ainda como parte da aquisição do IBI, o NDWI - Normalized Difference Water Index (Índice de Água de Diferença Normalizada), proposto por GAO (1996) é uma equação desenvolvida para realçar corpos hídricos e eliminar a influência do solo na vegetação. O valor de NDWI varia de -1 para 1.

O zero é o limiar, ou seja, o tipo de cobertura é a água se $\text{NDWI} \geq 0$ e é não água se $\text{NDWI} \leq 0$ (McFeeters, 1996; BRUBASCHER E GUASSELLI, 2013; BRENNER, V. C.; GUASSELLI, 2015).

$$\text{NDWI} = (\rho_{\text{vd}} - \rho_{\text{ivp}}) / (\rho_{\text{vd}} + \rho_{\text{ivp}}). \quad (19)$$

Onde,

ρ_{vd} : reflectância na faixa do verde

ρ_{ivp} : refletância Infravermelho próximo

$$\text{Landsat 5: NDBI} = (\text{Band 2} - \text{Band 4}) / (\text{Band 2} + \text{Band 4}). \quad (20)$$

$$\text{Landsat 8: NDBI} = (\text{Band 3} - \text{Band 5}) / (\text{Band 3} + \text{Band 5}). \quad (21)$$

4.2.5 IBI

O IBI - *Index Based Built-up* (Índice de Área Construída) foi elaborado considerando a área urbana como um complexo ecossistema composto de materiais heterogêneos, cujo objetivo é separar a área construída. Distingue-se dos índices convencionais por utilizar índices temáticos derivados de dados de satélite em vez de usar diretamente as bandas originais dos sensores. (LUCENA, 2012).

Utiliza três índices temáticos:

- Vegetação (NDVI);
- Água (NDWI);
- Áreas construídas (NDBI).

$$IBI = \frac{[NDBI - (NDVI + NDWI) / 2]}{[NDBI + (NDVI + NDWI) / 2]} \quad (22)$$

Os resultados desta etapa variam entre -1,0 e +1,0 sendo os valores positivos e próximos a 1,0 indicativos de área urbana, enquanto valores negativos e próximos a -1,0 indicativos de área menos urbanizada.

4.2.6 TSC

Kalnay & Cai (2003) afirmam que a temperatura da Superfície Continental modula a superfície do ar nas camadas mais próximas da atmosfera urbana, e atua como uma importante componente para o balanço de energia. Dessa forma, auxilia na determinação do clima interno das edificações, sendo que quaisquer mudanças na temperatura da superfície continental podem refletir na temperatura e clima local.

Diversos trabalhos de clima urbano que utilizam dados de sensoriamento remoto termal fazem uso da temperatura de brilho, associando a temperatura no topo da atmosfera, aproximado assim dos valores da TSC. A simplicidade da abordagem deve ao fato da dificuldade de estimar a TSC, a partir de dados de satélites. Para isso, utilizam-se os parâmetros atmosféricos e a emissividade da superfície (SILVA E SOUZA, 2005; LUCENA, 2012).

Para o cálculo da temperatura de superfície continental (TSC) e posterior identificação da ilha de calor urbana, utilizou-se como base a metodologia empregada por Lucena (2012) baseado nos trabalhos de QIN et al. (2001), Jiménez-Munõz e Sobrino (2003) e Souza e Silva (2005).

A TSC é extraída das informações obtidas através da manipulação das bandas termais das imagens Landsat 5 (TM) e 8 (TIRS), conseqüentemente nas bandas 6 e 10. No entanto, para auxiliar esse processo foram utilizados os produtos derivados do Landsat 5 e 8, como as bandas de reflectância (SR) e as de brilho (BT), incluídas nos cálculos para a estimativa da TSC.

Neste contexto a estimativa da TSC requer o conhecimento da transmitância atmosférica, da temperatura média do ar, referentes ao processo de correção atmosférica, e ainda da emissividade da superfície, dos efeitos atmosféricos produzidos por gases, vapor d'água, aerossóis, etc (QIN *et al.*, 2001, p.350).

Os dados de temperatura, imprescindíveis para o cálculo de transmitância e de temperatura média, serão utilizados do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) da estação de Belém, localizada na latitude: -1.25'48" longitude: -48.25'48", aberta em: 01/11/1923 com uma altitude de 10 metros. Esta estação é a mais próxima do município de Ananindeua em registros históricos de dados meteorológicos e está aproximadamente a uma distância 5 km da área de estudo. A temperatura média do ar foi obtida através da equação apontada por QIN et al. (2001):

$$T_a = 19,73 + 0,909T_o \quad (23)$$

em que,

T_o = temperatura do ar a 2 m da superfície.

Para calcular a transmitância atmosférica, o trabalho de SOUZA & SILVA (2005), relaciona a transmitância com o vapor d'água.

$$(24) \quad \tau_i = 0,951 - 0,1 \cdot w \cdot \exp\left(\frac{3w}{1+w}\right)$$

Onde

w = conteúdo de vapor d'água em g cm⁻², adquirido por meio da equação de Leckner (IQBAL, 1983).

$$w = 0,493 \cdot UR \cdot \frac{e_s}{T_o} \quad (25)$$

em que UR é a umidade relativa, e e_s é a pressão de saturação de vapor d'água à temperatura ambiente em hPa, a qual foi calculada empregando a equação abaixo, proposta por (IQBAL, 1983):

$$e_s = 0,001 \exp\left(26,23 \left(\frac{5416}{T_o}\right)\right) \quad (26)$$

Para o cálculo de emissividade foi usado o NDVI pelo fato de usarmos a banda termal tanto no TM e TIRS, nesse caso, dispensando qualquer outro método mais sofisticado para estimar a emissividade. Nesse sentido, optou-se por adotar a relação entre a emissividade da superfície e o índice de vegetação NDVI (VAN DE GRIEND; OWE, 1993), a seguir:

$$\varepsilon_i = 1,009 + 0,047 \ln \text{NDVI} \quad (27)$$

A partir disso, os resultados da equação apresentarão valores de TSC em graus Kelvin (K), convertidos posteriormente para graus Celsius (C°).

O mapeamento da temperatura de superfície continental foi realizado a partir das imagens do sensor Landsat, observando a diferença da TSC de uma área urbana e uma área não urbana, apoiado na classificação do uso do solo. Por meio dela, percebemos que o comportamento espacial das temperaturas intraurbanas resultam da fonte de calor gerada a partir da cidade, contribuindo assim, para a identificação da ilha de calor urbana.

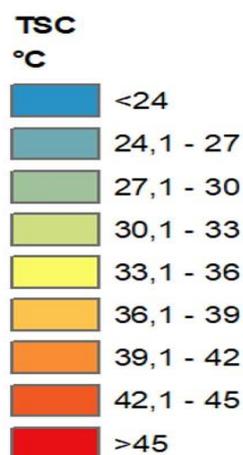
A utilização da tecnologia do sensoriamento remoto em áreas urbanas é relativamente recente. Uma das vantagens em utilizar o sensoriamento remoto está na possibilidade no acesso de dados por apresentar uma maior cobertura do globo terrestre. Oke (2003) disserta que o advento do sensoriamento remoto termal, possibilitou novas abordagens sobre as ilhas de calor urbano, assim como, compreendendo as causas e a correspondência com o uso do solo.

A geração dos dados da TSC restringiu-se apenas ao perímetro urbano da cidade de Ananindeua, justificado pelo fato dessa área, historicamente, sofrer maior interferência humana na transformação do uso do solo urbano.

Foram elaborados mapas de TSC para cada ano estudado. Esses mapas estão padronizados dentro de uma escala de cor com variação das cores primárias no tom do azul, amarelo e vermelho. Demonstrando, respectivamente, uma variação nos valores de temperatura, do mais baixo ao mais alto, encontrada nos bairros do município.

O intervalo de valores de temperatura seguiu esse padrão abaixo (Figura 12):

Figura 12 – Intervalo de cores e valores de temperatura da superfície continental.

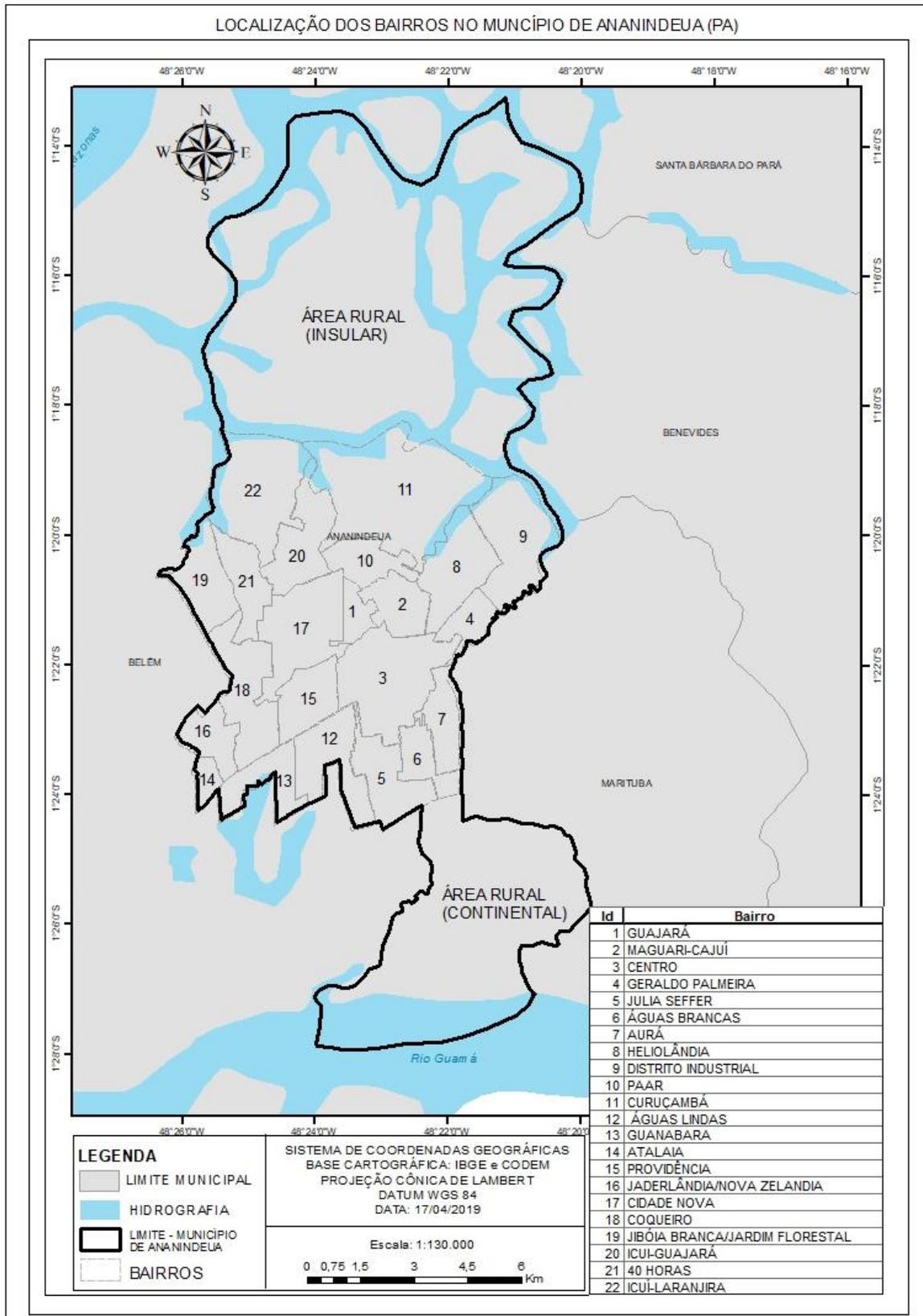


Fonte: Elaborado pela autora.

O mapeamento da TSC levou em consideração a divisão de bairros do município, facilitando a identificação espacial das áreas que apresentaram os maiores contrastes térmicos na evolução temporal analisadas nas imagens escolhidas.

Os bairros foram enumerados (ver figura 13) sem obedecer algum critério de importância histórica, econômica, social, entre outros, foram escolhidos de forma aleatória para facilitar a visualização espacial da TSC em Ananindeua.

Figura 13 – Intervalo de cores e valores de temperatura da superfície continental.



Fonte: Elaborado pela autora.

4.3 Mapeamento no uso do solo

A metodologia proposta para o mapeamento do uso do solo utilizou o conhecimento do processo de ocupação e cobertura da área de estudo, para a realização da classificação supervisionada. Os mapas gerados a partir das imagens: 27/07/1984; 21/07/1999; 13/08/2008 e 07/06/2018, foram analisados mediante a realização e comparação com a temperatura da superfície continental.

Na primeira fase, fez-se necessário a composição das bandas dos sensores TM e OLI, adotando o padrão de falsa cor natural dos canais multiespectrais R5G4B3 e R6G5B4, respectivamente. As bandas de reflectâncias selecionadas são derivadas dos produtos do USGS e foram escolhidas através das seguintes características espectrais (Quadro 8):

Quadro 8 - Características das bandas dos sensores TM, OLI e TIRS.

TM	OLI/TIRS	CARACTERÍSTICAS
3	4	Banda do visível vermelho, utilizada para análise de diferenciação da vegetação, por apresentar propriedade de absorção de clorofila.
4	5	Banda do infravermelho próximo, utilizada para a demarcação de redes de drenagem e de corpos d'água e diferenciar certos tipos de vegetação em análise de rugosidade.
5	6	Banda do infravermelho médio, utilizada para análise de saúde da vegetação, especialmente sobre a situação hídrica, devido sua boa resposta do teor da umidade.

Fonte: Costa et al. (2016) adaptado de Fitz (2008).

O uso das composições das bandas multiespectrais facilitará no processo de classificação das imagens. Fitz (2008, p.129) adverte que a classificação de uma imagem resulta na identificação de determinados elementos nela presente e, também, pela combinação do 'pixel' a uma determinada classe preestabelecida.

As classificações de imagens multiespectrais podem ser de dois tipos: supervisionada e a não supervisionada. A classificação supervisionada será adotada nesta pesquisa e partirá da seleção das amostras vetorizada sob forma de polígonos, definindo elementos notáveis para a padronização do treinamento (FITZ, 2008, p.132).

O princípio da classificação supervisionada é baseado no uso de algoritmos que determinam os 'pixels' que representarão valores de reflexão típicos de uma determinada classe. A área de treinamento representa o comportamento médio das classes que serão mapeadas posteriormente (NOVO, 1988, p.283)

O método classificador escolhido foi o método mais tradicional de classificação supervisionada, o Método da Máxima Verossimilhança (MAXver). A eficácia desse

método dependerá do número e precisão de amostra de classes multiespectrais.

Segundo Fitz (2008) os procedimentos para a realização dessa classificação seguem os seguintes passos:

- ✓ escolher os polígonos delimitadores para cada uma das classes;
- ✓ estabelece um relacionamento entre as feições determinadas pelos polígonos e as áreas que aparecem na imagem;
- ✓ define uma probabilidade de um dado ‘pixel’ externo aos polígonos das suas respectivas classes;
- ✓ o “software” executa essas operações e gera um mapa temático com as classes determinadas pelo usuário.

A definição das classes partiu do conhecimento e experiência com a área de estudo, dos dados do censo demográfico do IBGE, fotografias aéreas da Companhia de desenvolvimento e Administração da Área Metropolitana (CODEM-PA), imagens do *Google Earth*, documentos oficiais do município de Ananindeua (ANANINDEUA, 2013), trabalhos desenvolvidos sobre uso e ocupação de solo no município como de Costa *et al.* (2016; 2016).

As classes ficaram assim definidas como mostrado no Quadro 9.

Quadro 9 - Descrições das classes de uso do solo.

Classes	Descrições
Área antropizada	Considera-se nesta classe áreas urbanizadas formadas por construções (áreas residenciais, comerciais e industriais), vias de circulação, e/ou áreas de habitação das comunidades da região insular (ribeirinhos) e quilombola (Abacatal).
Vegetação de terra firme	Vegetação arbórea nativa, secundária e localizada principalmente em área de terra firme.
Vegetação de várzea	Localizada nas planícies de inundações às margens dos cursos d’água, periodicamente inundada.
Capoeira	Vegetação em estágios de regeneração natural, formações arbustivas, áreas de agriculturas, pastos abandonados e campos naturais.
Solo exposto	Inclui-se nesta classe as áreas com exposição do solo, ausente da cobertura vegetal, propícia a incidência de processos erosivos.
Hidrografia	Corpos d’água (rios, lagos, canais e áreas alagadas).

Elaborada pela autora.

4.4 Cálculo da Ilha de Calor Urbana

O cálculo da ilha de calor urbana será baseado na metodologia que Lucena (2012) utilizou em seu doutoramento para identificar a ilha de calor urbana através do sensoriamento remoto na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Utilizando a diferença entre a TSC mais alta e mais baixa, dentre as imagens do mesmo tempo cronológico, Lucena (2012) quantificou a ilha de calor urbana, calculando a diferença da média entre a classe urbano e a classe de vegetação.

Por esse mesmo viés e respeitando as particularidades e diferenças das classes utilizadas neste trabalho, a identificação da ilha de calor urbana para Ananindeua é dada pela subtração dos valores médios da TSC da classe área antropizada entre todas as médias da TSC das classes de vegetação de terra firme, vegetação de várzea e capoeira, as mesmas classes utilizadas no mapeamento do uso do solo para o município.

Deste modo, as áreas que exibem os valores de temperaturas mais altas, a ilha de calor urbana, apresentam uma tendência nas classes de áreas antropizadas e capoeira e as áreas mais amenas, no seu entorno, as classes de vegetações como áreas de frescor.

CAPÍTULO 5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos resultados desta dissertação foi dividida nos seguintes tópicos:

1. o uso do solo em Ananindeua;
2. os índices de vegetação e urbanização em Ananindeua;
3. a TSC na identificação Ilha de Calor Urbana em Ananindeua.

O primeiro tópico disserta sobre a configuração espacial do uso do solo em Ananindeua e sua evolução observada nos anos de 1984, 1999, 2008 e 2018. A partir disso, a identificação das transformações ocorridas entre as classes do uso de solo nos anos estudados, servirá de base para identificar a dinâmica do espaço urbano na cidade, sua estrutura e as possíveis relações com o efeito da ilha de calor urbana.

O segundo tópico trata dos índices de vegetação, analisado através do MSAVI, e do Índice de área urbana, por meio do IBI. Ambos auxiliam a identificação das respostas espectrais das imagens dos quatro anos analisados e, posteriormente, utilizaremos os dados e sua relação com a TSC para o entendimento das respostas espectrais dos índices mencionados com a formação de ilha de calor na cidade.

O terceiro e último tópico analisa a espacialidade da TSC em Ananindeua, nos anos escolhidos, como instrumento de análise para entender quais os espaços que apresentam as maiores temperaturas dentro da temporalidade pré-estabelecida, o padrão termal do seu entorno e a identificação da ilha de calor urbana.

Ainda para o último tópico, tem-se a análise dos mapas da TSC durante os anos escolhidos, o ranking de calor nos bairros de Ananindeua, observando quais bairros apresentam uma tendência de temperaturas mais altas, relacionando com espaços distintos do uso do solo com a TSC, MSAVI e IBI.

A evolução temporal da TSC na cidade auxilia a identificação e estudo das áreas com píxeis que apresentam valores que realçam espaços da ilha de calor urbana, em contraste das áreas que apresentam valores termais menores. No entanto, essa diferença entre valores da TSC e as classes que reúnem áreas antropizadas e vegetadas evidenciam os espaços da ilha de calor na cidade de Ananindeua.

Por meio dos dados relacionados, são exibidos os gráficos entre as classes do uso do solo, os índices espectrais correlacionando as temperaturas de superfície continental para todos os anos estudados. Assim, têm-se a visualização gráfica que facilita a interpretação dessas informações das análises finais.

5.1 O uso do solo em Ananindeua

O uso do solo de Ananindeua (ver Figuras 14, 15, 16 e 17), apresenta uma concentração da classe “área antropizada” na parte central continental do município. A área que integra Ananindeua com a região metropolitana de Belém apresenta uma intensa ocupação de áreas antropizadas.

Deu-se a denominação da classe de “área antropizada” devido à configuração socioespacial do município. A pequena expressão da ocupação da região insular e da comunidade quilombola do Abacatal (localizada na parte continental), geraria uma dificuldade na classificação dessas áreas, por isso, integramos as mesmas na classe das áreas urbanas, visto que essas áreas sofreram interferências humanas com o objetivo de manter moradias dos habitantes.

A área antropizada apresenta uma consolidação em concordância ao histórico de ocupação demonstrado nas últimas décadas no município. Em decorrência disso, o crescimento urbano possibilitou uma maior ocupação de áreas periféricas e não planejadas a partir da valorização imobiliária dos conjuntos habitacionais

implementados a década de 70.

Obedecendo as tendências da urbanização brasileira, após 1940, a implantação dos complexos habitacionais em Ananindeua, deve ser entendida quanto à lógica de evolução de Belém, mediante a política habitacional, concebida como ação do Estado brasileiro no período em que se insere a baixa taxa de lucro com o objetivo de assegurar níveis aceitáveis de acumulação de capital, materializada por meio do planejamento, dentro de uma perspectiva política, social e econômica.

“A política habitacional [...] é frequentemente concebida como política social, destinada a redução do déficit habitacional e a geração de empregos para as camadas mais carentes da população. Sua implementação a confirma também como política econômica e como política política. Neste caso, ela se revela em seus objetivos iniciais de acomodação de tensões sociais, ao ser proposta como forma de compensação dada à população urbana pobre [...] é uma política econômica, após a fase de desaceleração da economia brasileira entre 1962/64, surge no bojo da reforma financeira e de outras políticas governamentais implantadas no período 1964/67 [...]” (RODRIGUES, 1998, p. 49)

Segundo Rodrigues (1998), o Município de Ananindeua apresenta relação direta com Belém, que no processo de crescimento demográfico da capital, apresentou um crescimento na especulação imobiliária e recebeu um grande quantitativo de pessoas vindas da capital que habitou suas terras e estreitou ainda mais as relações entre ambas, servido como um lugar para dormitório dos fluxos migratórios que convergiam para a capital paraense, caracterizando deste modo, o início do impacto da expansão urbana de Belém em Ananindeua.

Neste contexto, as áreas dos conjuntos habitacionais, como a exemplo dos maiores conjuntos do município de Ananindeua, o Conjunto Cidade Nova (aparece em grande ênfase na área central do município na (Figura 14), que nasce como fruto de uma modificação do espaço e da paisagem pela interferência do capital imobiliário. Visto que no passado teve sua área degradada pelas constantes derrubadas da mata virgem servindo para o fornecimento de postes que abasteciam a instalação da rede de iluminação de Belém ou de lenha para a extinta ferrovia e indústrias da capital. (PENTEADO, 1968, p.376)

Com isso, a classe antropizada apresenta uma relação crescente da parte central do município para as áreas de influências das cidades adjacentes, principalmente para capital Belém. As áreas que mais concentram as cores em vermelho representam a classe de área antropizada, apresentam-se como grandes “manchas” espalhadas pelo município.

Essas grandes manchas se desenvolvem e se encontram ao longo da observação das imagens que demonstram os anos de 1984, 1999, 2008 e 2018, aumentando a sua concentração no último ano.

Segundo Penteado (1968), os elementos que usualmente faziam parte da paisagem na cidade de Ananindeua, que outrora foi modificada e degradada, devido às ações antrópicas da década de 60, tinha como elementos desse cenário as “zonas de capoeiras”. Estas áreas eram próximas de habitações simples, em geral, de barracas “isoladas, (e) quase sempre”, envoltas de árvores frutíferas com presença de espécies como o jambeiro (*Eugenia malaccensis*)⁵.

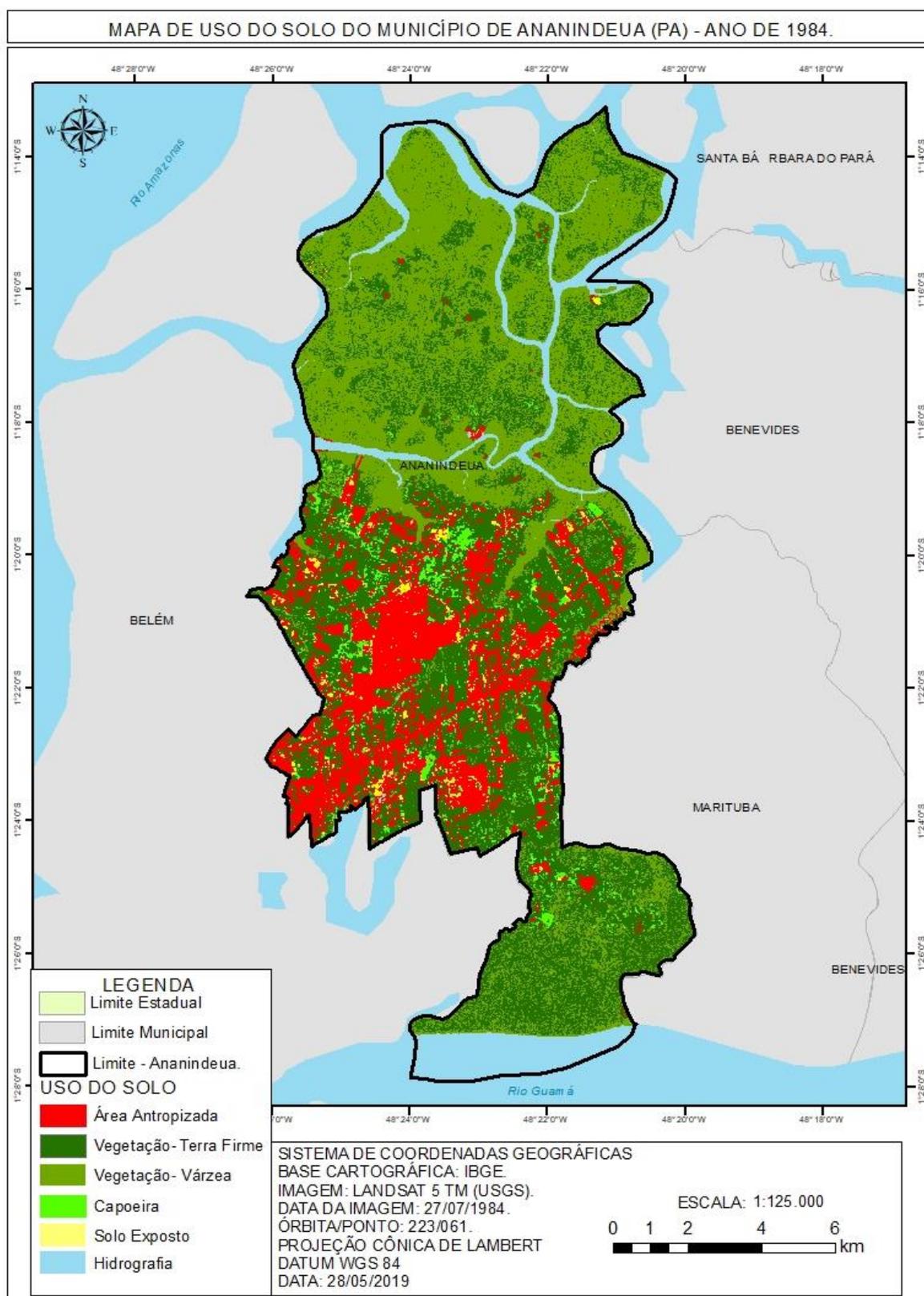
Segundo a mesma fonte acima, era muito comum a presença de sítios ou granjas para uso rural-produtivo, voltado ao consumo coletivo, antes da instalação dos conjuntos habitacionais, que o transformara posteriormente em urbano-habitacional.

A classe de capoeira identificada nos mapas das Figuras 14, 15, 16 e 17, na

⁵ Nome científico do jambeiro, segundo site http://www.todabiologia.com/botanica/nomes_arvores.htm.

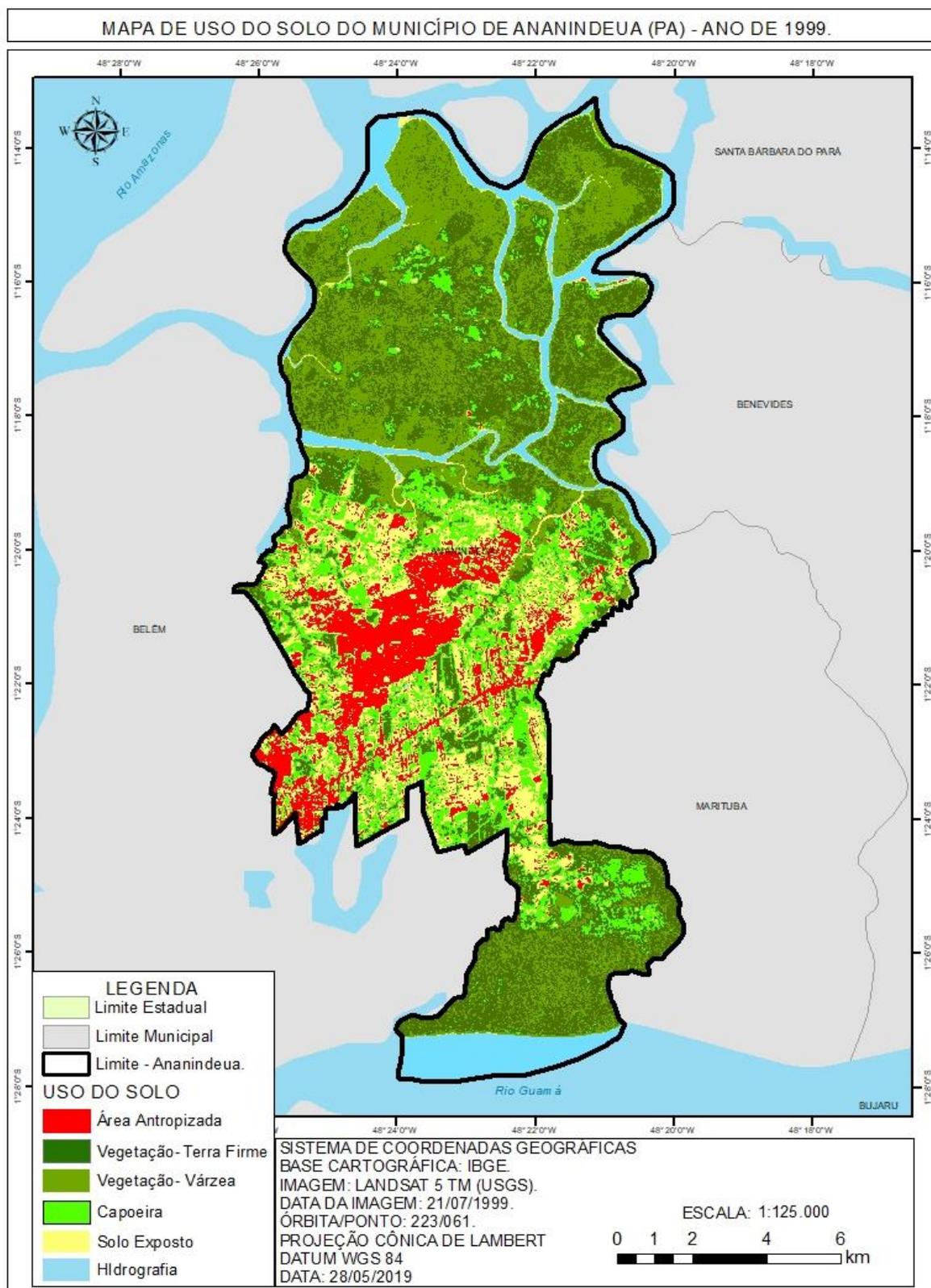
cor verde limão, retrata as áreas que definimos como: vegetação em estágios de regeneração natural, formações arbustivas, áreas de agriculturas, pastos abandonados e campos naturais. Essas áreas se destacam, inicialmente, próximas as áreas urbanas, e nos anos seguintes área de expansão da cidade, substituindo áreas que anteriormente eram de vegetação de terra-firme e de várzea.

Figura 14 - Mapeamento de uso do solo do município de Ananindeua, ano de 1984 (Imagem Landsat 5/TM).



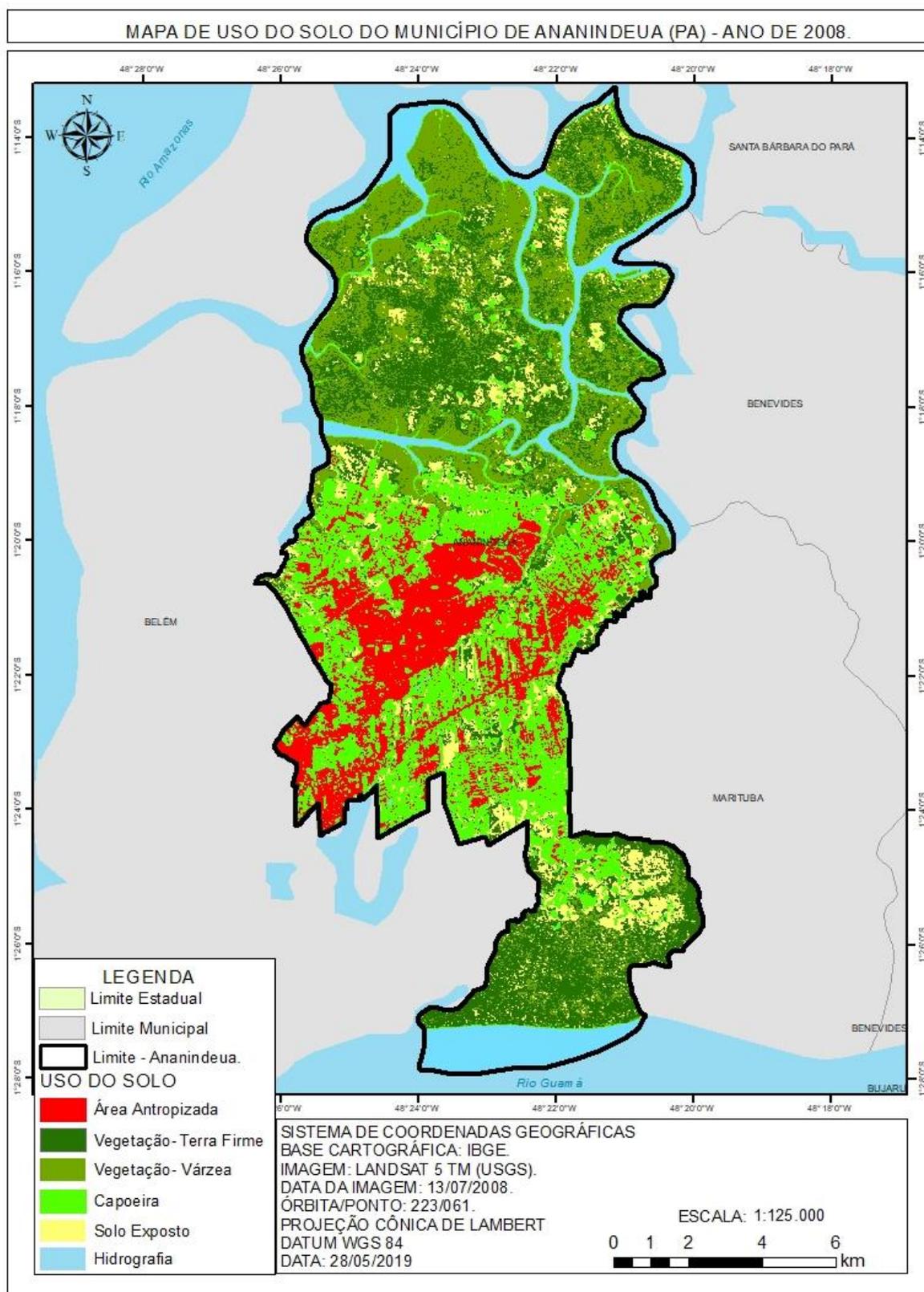
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 15 - Mapeamento de uso do solo do município de Ananindeua, ano de 1999 (Imagem Landsat 5/TM).



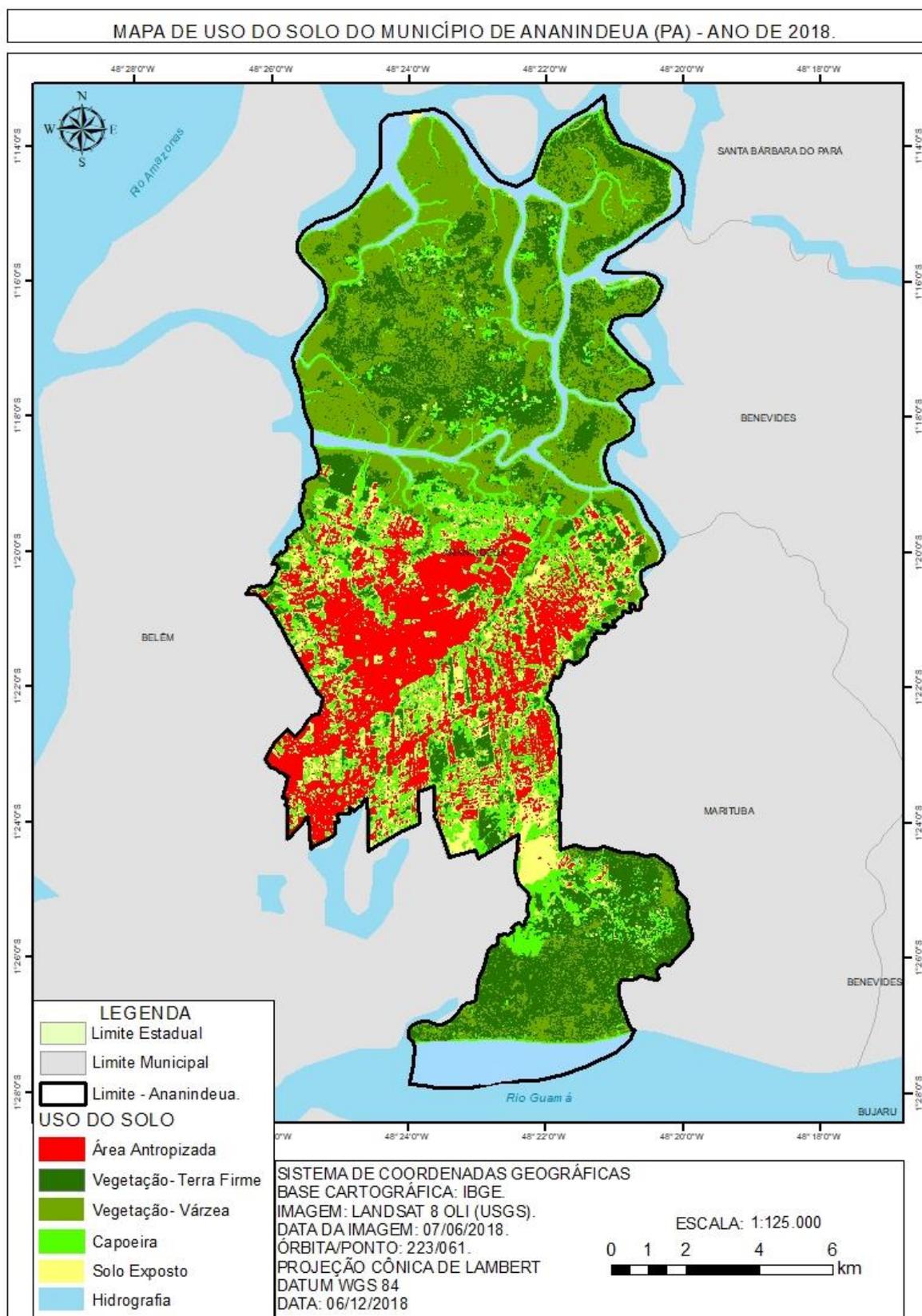
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 16 - Mapeamento de uso do solo do município de Ananindeua, ano de 2008 (Imagem Landsat5/TM).



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 17 - Mapeamento de uso do solo do município de Ananindeua, ano de 2018 (Imagem Landsat 8/OLI).



Fonte: Elaborado pela autora.

Além desses critérios, observa-se um enclave desses espaços, nas áreas urbanas, nas áreas desmatadas das ilhas e no entorno da comunidade quilombola. De acordo com a observação das imagens, nota-se que as áreas antes identificadas e alteradas pela classe de capoeira nos anos seguintes somaram-se as classes das áreas antropizadas, estabelecendo as áreas de expansão urbana, principalmente na área continental do município de Ananindeua.

A cobertura vegetal de maior porte do município de Ananindeua foi classificada em dois grupos: vegetação de terra-firme e de várzea. A classe “vegetação de terra firme” caracterizada por áreas que não são inundadas periodicamente, apresenta uma concentração maior nas áreas insulares (ao norte) e continental (ao sul) de Ananindeua. Essa realidade está condicionada a fatores como: a baixa ocupação antrópica das ilhas e na comunidade quilombola e a existência de áreas protegidas em Ananindeua (mostradas na tabela 2).

De acordo com o Plano de Desenvolvimento Sustentável para o Município de Ananindeua com vigência de janeiro de 2013 a janeiro de 2015, instituído pelo Decreto Nº 15.163, de 12 de Dezembro de 2012, o município de Ananindeua possuía, na última avaliação fitogeográfica, realizada no ano de 1988, uma área de aproximadamente 1.976,0 hectares recoberta por floresta, com bastante alteração antrópica. Essas áreas foram bastante desmatadas e seus solos usados de maneira desordenada, devastando essas áreas verdes em atividades agropecuárias, construções de habitações em conjuntos habitacionais e entre outras. Desta forma, dando início a um processo lento de regeneração da vegetação natural secundária.

O histórico de ocupação do município de Ananindeua apresenta uma herança de devastação de área verde em toda a sua extensão e conseqüentemente a modificação da sua paisagem. Conforme Penteado (1968), Rodrigues (1998) e Almeida (2006) o planejamento de Ananindeua foi pensado através de políticas sociais e não destacava a conservação da cobertura vegetal como parte da estratégia de uso e ocupação do solo.

Em paralelo ao acelerado processo de urbanização que norteiam as grandes cidades do Brasil, algumas cidades médias já apresentam significativas contradições em relação à disposição da vegetação em seu ambiente. Dessa forma, a cidade de Ananindeua não foge a essa condição e retrata uma paisagem modificada ao longo do tempo pela ação antrópica e seu adensamento urbano, reflete diretamente na qualidade ambiental.

No entanto, a vegetação de terra-firme, identificada nos mapas na cor verde escuro, demonstra a modificação dessas áreas ao longo dos anos observados. Correspondendo com coerência ao processo de formação histórico-espacial da cidade, esse tipo de vegetação foi sendo suprimida dos espaços urbanos com maior concentração no seu entorno e áreas rurais do município.

Na “classe de vegetação de várzea” apresenta um espaço de domínio de áreas alagadas periodicamente, encontrando-se em maior expressão nas ilhas, no entorno da hidrografia presente no município e no extremo sul do município. Nessa classe, a vegetação está sob a influência do “fenômeno das marés” que condicionam essas áreas e potencializa a diversidade e potencial econômico extrativista dessas áreas.

O solo exposto foi classificado com a intenção de reconhecer nessas áreas a influência do comportamento térmico nas bandas termais do satélite Landsat 5 e 8. De acordo com as imagens das Figuras 14, 15, 16 e 17, nota-se que essa classe aparece como uma intermediadora entre área devastadas da cobertura original, seja ela destinada para construção urbana ou mesmo para alguma atividade. Essa classe

crece e acompanha a evolução da cidade ao longo do observado nos mapas de classificação do uso do solo.

Em relação a imagem de 2018, percebe-se uma presença frequente da classe uso do solo margeando as classes destinadas às vegetações de terra firme, várzea e capoeira. Esta proximidade não apresenta um indicativo positivo no que se refere ao uso e preservação das áreas florestadas, visto que essas últimas ficam expostas as possíveis alterações antrópicas do uso do solo.

5.2 Índice de Vegetação e Urbanização em Ananindeua

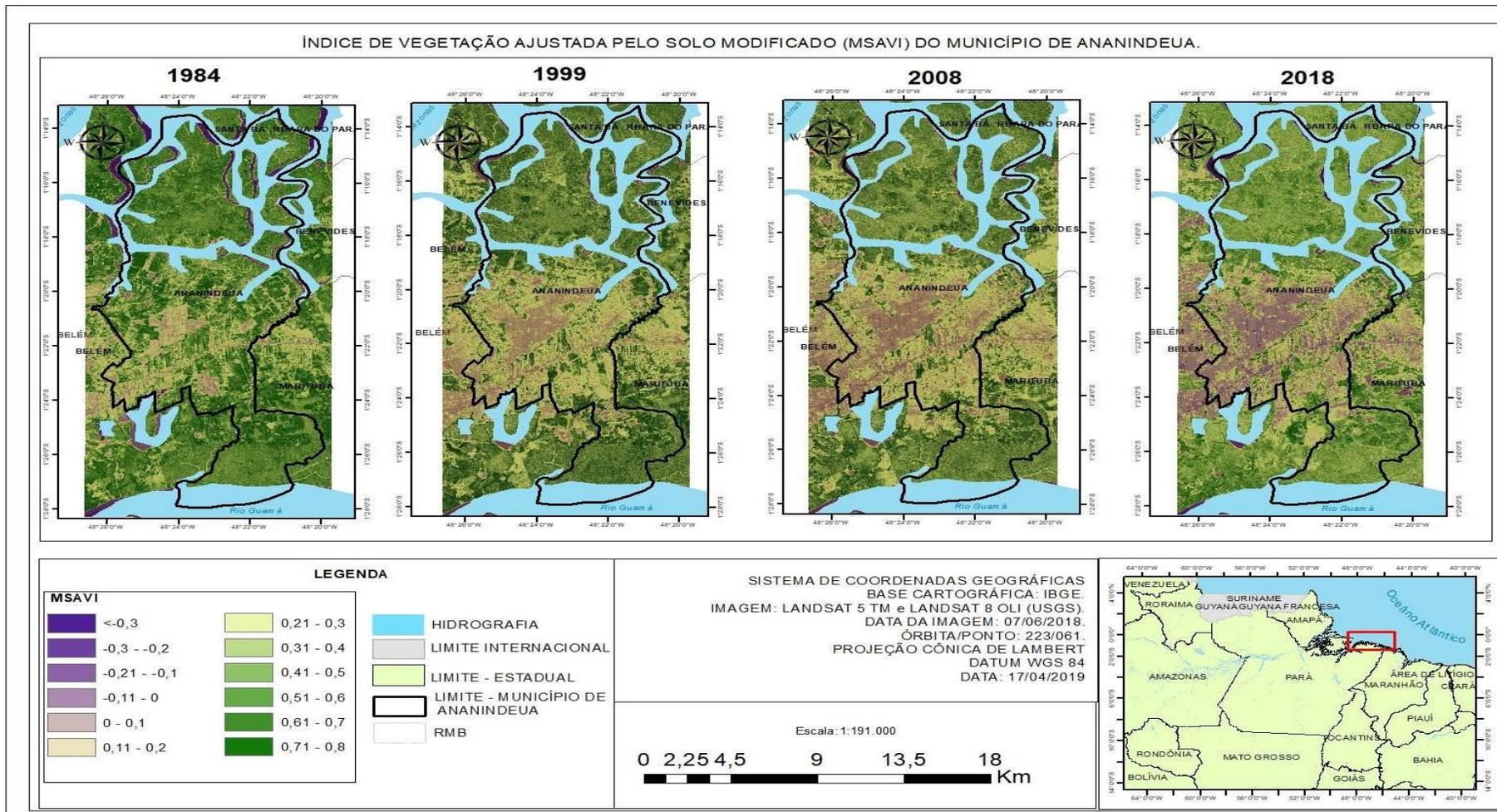
A vegetação nas áreas urbanas é essencial para uma boa qualidade de vida nas cidades. Mesmo considerando suas várias funcionalidades, o verde não impera como elemento preponderante no espaço urbano.

Em paralelo ao acelerado processo de urbanização que norteiam as grandes cidades do Brasil, algumas cidades médias já apresentam expressivas contradições em relação à disposição da vegetação em seu ambiente. Dessa forma, a cidade de Ananindeua não foge a essa condição e retrata uma paisagem que foi modificada ao longo do tempo pela ação antrópica e seu adensamento urbano, refletindo diretamente na qualidade ambiental da cidade.

Para analisar a vegetação e urbanização do município de Ananindeua, o uso dos índices MSAVI e IBI, respectivamente, foram importantes na identificação e análise das áreas vegetadas e alteradas ao longo do período analisado.

A identificação da cobertura vegetal realizada através do MSAVI (ver Figura 18), utilizado para inferir e monitorar a presença da vegetação através das imagens de sensores multiespectrais. Essas áreas estão relacionadas, principalmente, com as classes de vegetação de terra firme, de várzea e capoeira.

Figura 18 – Índice de Vegetação Ajustado pelo Solo Modificado (MSAVI) do município de Ananindeua.



Fonte: Elaborado pela autora.

Com o objetivo de diminuir a influência do solo nas áreas de vegetação, optou-se em utilizar o MSAVI ao invés do NDVI. O MSAVI traz uma versão melhorada do Índice de Vegetação Ajustada pelo Solo (SAVI) que trata da correção da influência do fundo do solo, maximizando a redução dos efeitos do solo no sinal da vegetação quando esta for baixa (OLIVEIRA *et al*, 2007; USGS, 2018).

A escala de cor que varia dos tons de verde ao roxo exemplifica o quanto a presença e escassez dos índices de vegetação MSAVI nas imagens dos anos de 1984, 1999, 2008 e 2018. As áreas que possuem uma maior concentração de vegetação como do extremo norte e sul do município, apresentam a coloração mais verde, chegando à índices na faixa de valores 0,9 e 1, considerados os maiores dessa escala.

No ano de 1984 é possível perceber algmas formas urbanas em fase de formação nesse período, voltadas para as construções dos conjuntos habitacionais com a principal “mancha” na região central do município indicando a localização dos nove conjuntos que formam o Complexo Cidade Nova.

A cobertura vegetal vai perdendo espaço nessa região central do município com o aumento populacional, conforme ilustra o gráfico 1, que passa de 22.527 habitantes no ano de 1970 para 65.878 habitantes, no ano de 1980. Esse aumento reflete a ocupação e uso do solo sendo alterado e ao mesmo tempo, tem-sê a modificação da cobertura vegetal percebida no decorrer dos outros anos. A crescente mancha urbana acontece em torno da ocupação dos conjuntos habitacionais, isso justifica o aumento da área em tom de roxo no município.

A preocupação e o reflexo da falta de espaços verdes no espaço urbano de Ananindeua foram registrados em um grande jornal de circulação da época na década de 1990. Segundo registros do jornal “O liberal”, o tema da área verde teve destaque através de manifestações e incômodos da população local aos efeitos causados e sentidos pela falta de arborização na cidade, conforme é demonstrado na Figura 19.

Essa reportagem funciona como registro histórico da década de 1990, da preocupação com o bem-estar da população e traz à tona um caso em específico de uma das áreas mais urbanizadas atualmente de Ananindeua, o Complexo Cidade Nova.

A falta de espaços verdes no núcleo urbano da Cidade Nova foi o “motor” da mobilização de grupos de moradores, ao reivindicar por mais árvores na cidade, isso resulta da preocupação em preservar as poucas áreas verdes existentes no Complexo, na época.

Figura 19 – Recorte do jornal “O Liberal”, a população em prol do verde.



Fonte: Acervo da Biblioteca Pública Arthur Vianna, O Liberal. À direita, imagem do ano de 1990 e à esquerda, do ano de 1991.

Como estratégia de conscientizar e instruir a população, formaram apresentações teatrais e projetos voltados a promover a arborização dos conjuntos, destacando o quão importante e necessária a presença da vegetação para amenizar as altas temperaturas sentidas pela população.

Como a exemplo da reportagem da Figura 19, mesmo em anos distintos a ênfase dada ao tema das áreas verdes como fator importante para a condição do conforto térmico é a preocupação percebidas nos relatos das reportagens. Áreas voltadas para o lazer, onde naturalmente eram espaços destinados para a prática de esportes, brincadeiras, rodas de conversas, entre outras distrações, são as mais comentadas e sentidas quanto a falta de vegetação causa desconforto na utilização dos espaços.

Em contrapartida, as decisões políticas administrativas cientes da falta do verde urbano da Cidade Nova, cria na década de 1990 um projeto de arborização apoiado pela prefeitura municipal de Ananindeua, por intermédio da Secretaria de Obras e o setor de Terras e Fiscalização (ANDRADE, 2016).

De acordo com a reportagem apresentada na figura 20, Hermógenes Alves, chefe do serviço de Terras e Apoio ao Micro Produtor Rural, elaborou um projeto de arborização para as áreas livres dos canteiros. A principal meta do projeto era o plantio de três mil jameiros e castanheiras, com a finalidade de ocupar as áreas ociosas do canteiro e efetuar assim um “controle das construções irregulares (barracas de vendas com armação de madeira) nas principais artérias do complexo habitacional Cidade Nova”.

Figura 20 – Recorte do jornal O Liberal: “Arborização para a Cidade Nova”.



Fonte: Acervo da Biblioteca Pública Arthur Vianna. O Liberal (Belém, 14 de junho de 1991).

O recorte de jornal apresentado na Figura 20 destaca uma fala da entrevista com Hermógenes Alves, o qual diz: “queremos que os integrantes das associações, centros comunitários e, sobretudo a comunidade estudantil alertem a população para a importância da arborização”.

As razões para tal cenário apresentam-se na condição histórica da carência de políticas públicas voltadas para a preservação de áreas verdes no perímetro urbano. Depois dos anos de 1990 não há registro de projetos de arborização ou algo semelhante

que seja voltado para a preservação da vegetação existente em documentação resgistrado em diários oficiais ou mesmo em plano diretor do município. Essas ações acompanham o aumento das áreas antropizadas e a redução das áreas verdes observadas na figura 18 no município de Ananindeua nos anos entre 1984 e 2018.

O espraiamento da mancha urbana observada na Figura 21 reflete um adensamento no entorno de dois eixos urbanos, considerando o índice de IBI. O primeiro tem como centro principal a Cidade Nova e expande entre os bairros (ver Figura 2) Coqueiro, Providência, Guajará, Maguari, PAAR, 40 horas, Icuí-Guajará, direcionando-se para a região conurbada com a capital paraense, demonstrada na figura 20.

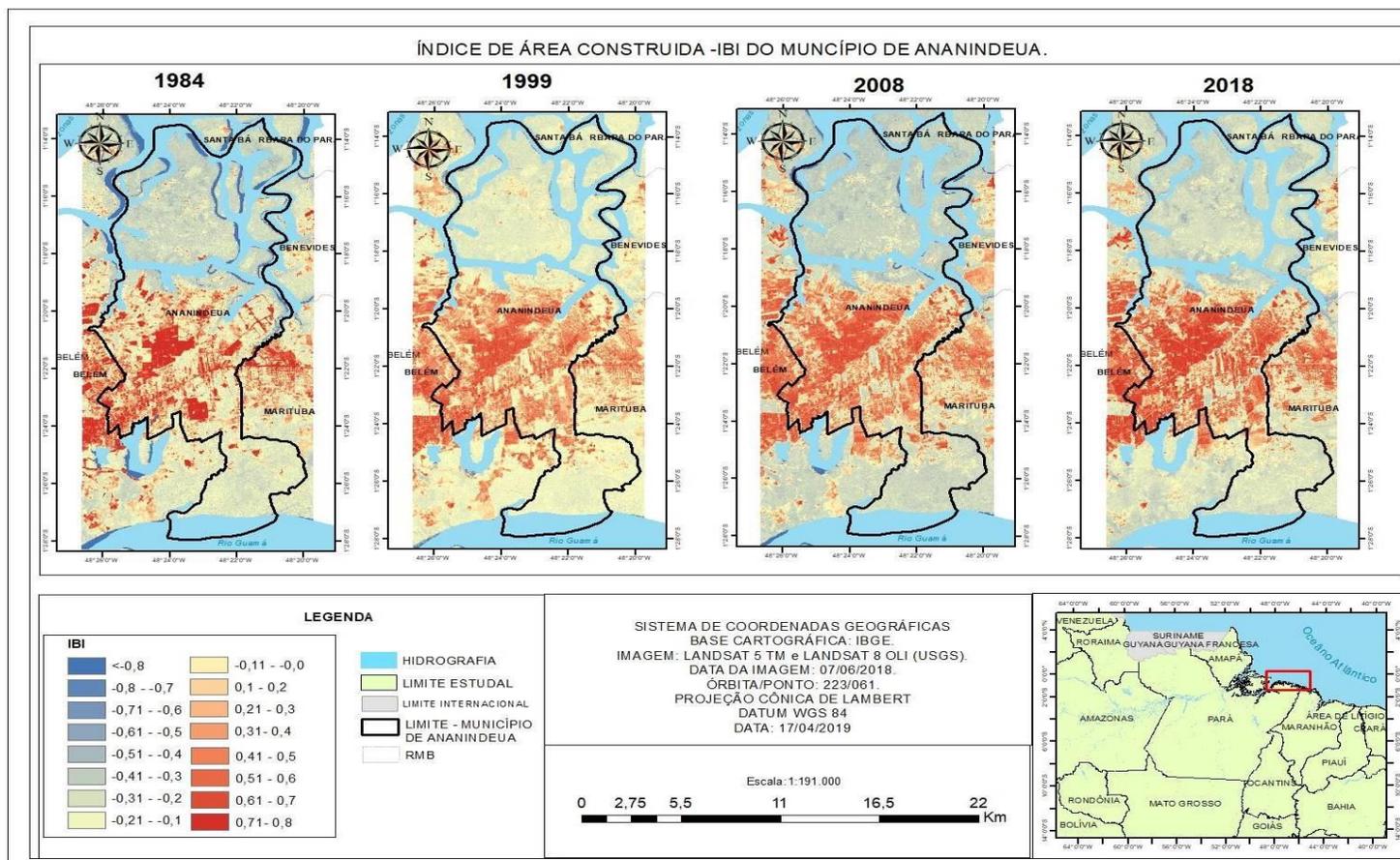
Já o segundo, abrange uma área em torno do centro antigo da cidade, localizada em torno da sede municipal (ver Figura 1), onde se localizava antiga estação de trem da ferrovia Belém-Bragança que integrava Belém com a região do litoral paraense, contribuindo na formação dos seguintes bairros: Centro, Águas Brancas, Geraldo Palmeira, Heliolândia, direcionando-se ao município limítrofe, Marituba.

Segundo Lucena (2012, p. 80) o “espaço urbano é um ecossistema complexo, composto de diferentes materias que caracterizam áreas distintas, podendo ser dividido em: vegetação, água e áreas construídas”. Essa base temática compõe índices como: NDVI (vegetação), MNDWI (água), NDBI (área contruída), utilizados para a representação do IBI demonstra uma relação coerente entre a espacialidade das áreas mais urbanizadas do município e os espaços identificados pelo índice de área construída (ver Figura 21).

Essas correspondências auxiliam na comparação do comportamento espectral do IBI identificadas nas imagens de satélites dos anos de 1984, 1999, 2008 e 2018 com o MSAVI, anteriormente ilustrado na Figura 18.

A variação dos valores encontradas para o IBI no município de Ananindeua ficaram entre - 0,8 e 0,8 nos tons de azul ao vermelho. Os valores menores estão entre -0,8 e 0,1, estes representam baixa concentração populacional e menor índice de construção. Tem-se inclusive nessa situação as áreas vegetadas com valores mais baixos, os espaços verdes intraurbanos, a região rural e insular do município.

Figura 21 – Índice de Área Construída (IBI) do município de Ananindeua.



Fonte: Elaborado pela autora.

Os valores mais elevados, na tonalidade que tendem ao vermelho, crescem entre 0,11 e 0,8, considerando áreas da classe urbana, solo exposto e capoeira (vegetação de baixa porte). Concentram-se nesses valores toda a área urbana do município, observando que a mancha em vermelho está de acordo com as áreas conurbadas dos municípios vizinhos, Belém à esquerda e Marituba à direita, e alguns espaços ocupados pelos ribeirinhos, moradores das ilhas do município. Esta última observação demonstra, que ao longo dos anos analisados, ocorreu um aumento espacial do IBI na região das ilhas do município.

Na imagem de 1984, o IBI está aparentemente concentrado na formação em duas grandes aglomerações, o da área da rodovia federal BR – 316 e conjuntos habitacionais que tiveram a sua conclusão ao longo da década de 1980.

A formação diagonal cortando o município no sentido sudeste-leste ocupa a passagem da antiga Estrada de Ferro Belém-Bragança, e sua posterior substituição pela rodovia federal BR 316. Essa área foi palco de uma “colonização orientada” (ÉGLER, 1991) concretizando a penetração e ocupando efetivamente regiões adjacentes de Belém, entre os séculos XIX e XX.

A consolidação dos projetos habitacionais a partir da década de 1980, viabilizada através da política de habitação popular do Banco Nacional de Habitação (BNH) por meio do Plano Nacional de Habitação Popular (PLANHAP) como disserta Rodrigues (1998, p.158), funcionou como “instrumento estatal que definiram o planejamento de alguns espaços de Ananindeua para atender o excedente populacional da capital paraense”.

A maior mancha em vermelho (Figura 21) está localizada na região central continental do município e coincide com a área do Complexo Habitacional Cidade Nova. Almeida (2016) destaca que o primeiro conjunto desse complexo foi inaugurado em dezembro de 1977 com 600 casas, e o último foi inaugurado em julho de 1986 com 120 unidades habitacionais. A outra mancha localizada à direita da rodovia BR 316, localiza-se as áreas do conjunto habitacional Júlia Seffer.

Especialmente, as manchas vermelhas detectadas na imagem de 1984 mostra nitidamente a transição do município de áreas que antes do projeto urbanístico apresentavam espaços rurais. Segundo Penteado (1968, p.393), os espaços destinados aos conjuntos habitacionais, que antes retratavam “ambientes da zona rural, nascem como fruto da interferência do capital imobiliário na modificação e produção do espaço e da paisagem”. As áreas degradadas de mata virgem que existiam naquele lugar serviram como fonte de abastecimento de madeiras para a capital Belém e para a Estrada de Ferro Belém-Bragança, sendo que esta última teve seu encerramento em 1964.

Rodrigues (1998, p. 143) disserta o que os espaços destinados aos projetos urbanísticos eram propriedades rurais, como a presença de sítios e granjas, voltadas ao consumo coletivo. Essas áreas abrigavam famílias japonesas, arrendamento a posseiros para a agricultura de subsistência, somando a essas terras áreas que antes eram conhecidas como posse do Curtume Maguary, como a exemplo da Tabela 2, abaixo:

Tabela 2 - Terrenos para a construção do Conjunto Cidade Nova.

SUB-ÁREA	PROPRIETÁRIO	ÁREA (m²)
Gleba 1	Juvêncio Cunha	69.972,36
Gleba 2	Kumisuke Asada	16.720,75
Gleba 3	Jorge Hasegawa	231.641,00
Gleba 4	Haruich Marikawa	100.000,00
Gleba 5	Kinachiro Kikuta	100.000,00
Gleba 6	Yasuaki Kituta	100.000,00
	Tujui	80.000,00
	Tujui	125.750,00
	Curtume Maguary	776.950,00
	Luiz Daniel Lavareda Reis	518.307,62
	Curtume Maguary	2.748.945,70
C. Nova VIII	Akvia Igaraski	224.003,93
	Michio Takada	59.547,50
	Judite	42.664,00
	Josue	69.600,00
	Jocineide	18.000,00
	Nabone Igawa	87.500,00
	Propira	25.000,00
	Lucia/Terezinha Hasegawa	89.000,00
	Teresinha Hasegawa	62.000,00
SUB-ÁREA	PROPRIETÁRIO	ÁREA (m²)
	Michikazu Takakura	21.250,00
	Yoskid Kawaovachi	30.970,67
C. Nova IX	Tochio Ichida	9.751,50
Total		5.607.575,03

Fonte: Rodrigues (1998). Dados organizados pela autora (2019).

Essas modificações de transição devastaram a floresta primária, restabelecendo novos usos do solo como observamos na evolução das figuras 14, 15, 16 e 17, passando ocupar esses espaços das áreas antropizadas, de capoeira e de solo exposto.

Na década de 1990, representada pela Figura 21 através da imagem do ano de 1999, o processo de urbanização do município já se consolidava, acompanhando o

crescimento da Região Metropolitana de Belém⁶. Em razão disso, Andrade (2016, p.44) relata que a carência de espaços habitáveis na capital paraense “foi mediado pela proposta do mercado interno, imobiliário, da expansão da fronteira econômica e demográfica, reforçada pelas limitações físicas da cidade de Belém que não mais atendia a população de baixa renda”.

Essas alterações são percebidas na transição das imagens de 1984 nos espaços que apresentam áreas com IBI entre -0,2 e 0,2 são aglutinados, principalmente na margem direita da rodovia BR-316, acompanhando o crescimento urbano do município, passando a ser percebida no ano seguinte na imagem de 1999, com IBI entre 0,3 e 0,6.

Na imagem de 2008, as áreas urbanas já estão consolidadas se comparada aos anos anteriores, aumentando assim, substancialmente a sua área construída na margem direita da rodovia BR-316, acompanhando a expansão leste e crescente da Região Metropolitana de Belém. Os valores mais intensos estão no intervalo de IBI 0,6 e 0,8 com destaque para a região periférica que na imagem de 1999 demonstrava o espraiamento urbano e em 2008 sua ocupação tornou-se mais efetiva.

A região periférica vai se adensando com a evolução da imagem de 2018 e as manchas com a coloração mais clara se restringem as áreas menos ocupadas do município, as regiões rurais e insulares. Esse registro deve-se ao fato dessas regiões serem mais afastadas do centro urbano, como é o caso das regiões insulares.

5.3 A TSC no estudo da Ilha de Calor em Ananindeua.

Como intuito de identificar a formação da ilha de calor urbana no município de Ananindeua, realizou-se a espacialização da TSC observada nas Figuras 22, 23, 24 e 25, apresentando desta forma, a evolução temporal da TSC e a possível relação com o padrão térmico por bairro e suas características do uso do solo urbano.

As cores que mais se destacam nos mapas são do tom em azul (cor fria) que apresenta valores abaixo de 30° C, e as cores nos tons que tendem ao vermelho (cor quente), nos valores acima de 36° C.

No mapa que espacializa a TSC com data de 27/07/1984 é mostrado na Figura 22. Algumas áreas quentes chegam a ultrapassar 45°C, como é o caso da temperatura máxima encontrada no bairro do Atalaia com 49,4°C, localizada na direção sudoeste do município. Em segundo lugar está o bairro do Guanabará, apresentando 45,1°C de temperatura máxima, este último localizado na direção sudoeste, região limítrofe e conurbada com a capital paraense.

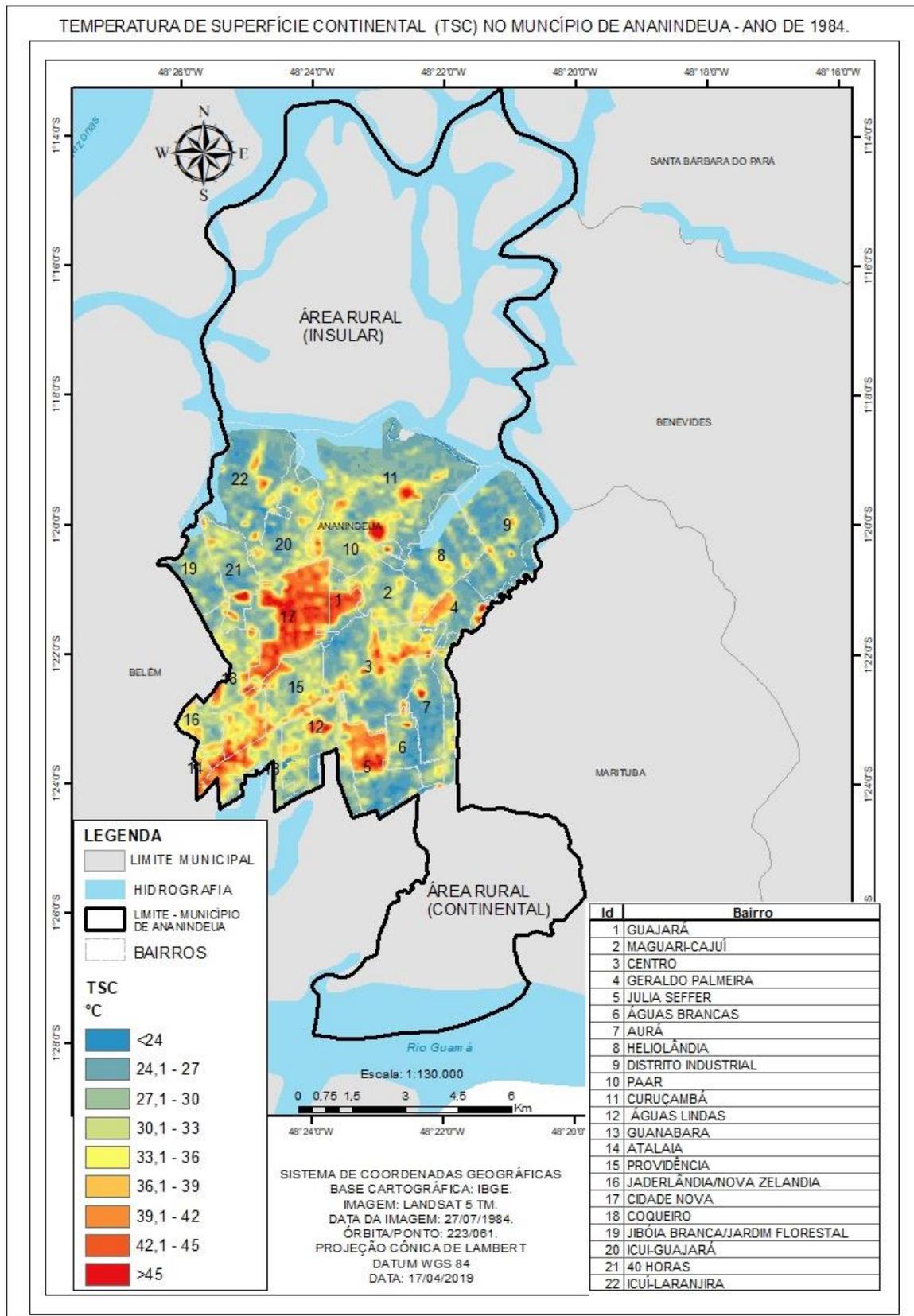
As temperaturas máximas apresentadas na Figura 22 são para áreas que estão acima dos 40° C, destacam-se os bairros: Centro (44,6° C); Jardelândia (44,3°C); Providência (44,0° C); Cidade Nova (43,8 ° C); Distrito Industrial (43,5° C); Águas Lindas (43,4° C); Coqueiro (42,9° C); Guajará (42,0° C); Maguari-Cajuí e Geraldo Palmeira, ambos com 41,6°C; Jíboa-Branca (41,3° C) e Júlia Seffer e 40 Horas com 41° C, e por fim, Heliolândia, Curuçambá e Aurá (40,5°C) e Icuí-Guajará (40,3° C).

O bairro Centro é a região pioneira na ocupação efetiva do município de Ananindeua, com pequenos povoados no entorno da antiga Estação Ferroviária, que atualmente dá lugar a sede municipal de Ananindeua (IDESP, 2011) e ao centro comercial mais antigo da cidade. Sua dinâmica ao logo do final do século XIX e XX

⁶ Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2014), a Região Metropolitana de Belém (RMB) foi criada em 1973, com a primeira alteração feita em 1995, segunda alteração em 2010 e terceira alteração em 2011, esta última estabeleceu a atual configuração RMB incluindo os municípios de: Belém, Ananindeua, Marituba, Benevides, Santa Bárbara, Santa Isabel e Castanhal.

esteve sob influência de todo o fluxo de pessoas e mercadorias que Estrada de Ferro Belém-Bragança causava, e posteriormente, pela rodovia federal BR136 que a substituiu. No entanto, sua antiga ocupação deu-se de maneira muito concentrada, principalmente as margens da rodovia federal BR-316.

Figura 22 – A TSC no município de Ananindeua – 1984.



Fonte: Elaborado pela autora.

Cidade Nova, Maguari-Cajuí, Gujará, Julia Seffer e Curuçambá são bairros que estão em um contexto de formação similar ao já citado anteriormente que trata do planejamento habitacional realizado a partir da década de 1970.

Os bairros Atalaia, Coqueiro, Jarderlândia, Jibóia Branca e Guanabara estão localizados em áreas sob influência da expansão urbana da capital Belém, na direção oeste de Ananindeua. No entanto, a formação e crescimento desses bairros estão diretamente relacionadas aos fluxos e conexões que o município de Ananindeua apresenta com Belém.

Os outros bairros foram se desenvolvendo como reflexo do crescimento urbano de Ananindeua. A localização estratégica da cidade facilita o intercâmbio entre os municípios da região metropolitana de Belém com a capital paraense. Percebe-se que ano de 1984, a TSC está menos expressiva no bairro Jibóia Branca e com mais intensidade nos bairros que estão mais próximo à Belém e na zona de influência da rodovia BR 316.

Os pontos de temperaturas máximas, encontram-se em manchas nos tons de laranja mais escuro e vermelho (TSC 36°C e 45°C), destacando principalmente as áreas da região centro-continental do município de Ananindeua.

As manchas vermelhas começam a diminuir quanto mais afastadas do centro do município. As áreas mais próximas das regiões periféricas apresentam temperaturas mais baixas, principalmente aquelas próximas dos cursos d'água. Essas temperaturas oscilam na escala de valores menores que 30° C, muito por conta da presença de elementos naturais como cobertura vegetal e a influência dos rios.

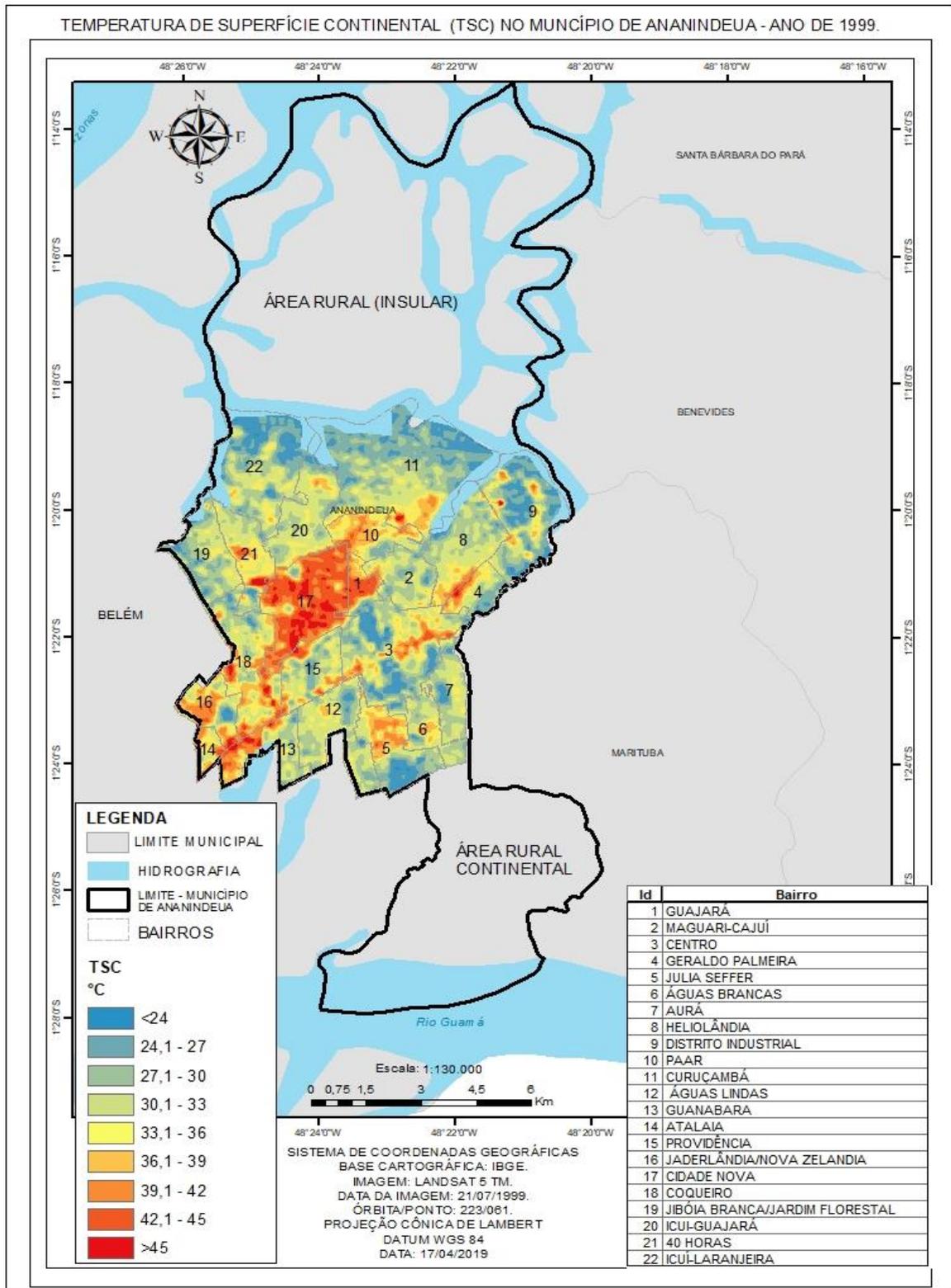
No mapa da Figura 23, tem-se a TSC na imagem datada do dia 21/07/1999. A mancha em amarelo, com TSC entre 33° C e 36°C, expande-se substituindo áreas que antes estavam na coloração de TSC abaixo de 30°C, identificada em todos os bairros de Ananindeua.

A mancha vermelha não aparece com a cor tão intensa se comparado com a imagem de 1984, visto que as temperaturas máximas chegam aos valores de TSC de 36,4° C nos bairros do Distrito Industrial e Guanabara. Os restantes dos bairros apresentam as temperaturas máxima no intervalo da coloração que tendem para o amarelo ao azul, com valores de TSC 30° C e 36° C.

Mesmo com a diminuição das temperaturas máximas, as manchas em tom alaranjado mantêm o padrão espacial de atuação nas maiores concentrações da imagem de 1984. Podemos destacar a possível interferência de algum sistema atmosférico atuante.

Essas concentrações são visíveis em bairros como: Cidade Nova, Júlia Seffer e Atalaia continuam apresentando áreas de concentrações de TSC mesmo com valores mais baixos, em relação ao ano anterior analisado, demonstrando uma expansão das áreas adjacentes. Os valores de TSC mais baixas para esse ano, permanecem nas extremidades da cidade de Ananindeua, próxima aos cursos d'água, em áreas isoladas que gradualemente são cercadas pelas áreas de valores mais altos de TSC.

Figura 23 – A TSC no município de Ananindeua – 1999.



Fonte: Elaborada pela autora.

Os valores mais baixos de TSC espacializados na figura 23, foram identificados com valores abaixo dos 24° C. O bairro Centro apresentou o valor mais baixo de TSC, com 21, 5°, seguidos dos bairros: Icuí Laranjeira e Distrito Industrial com TSC de 22, 4°C; Julia Seffer (TSC de 22,7° C); Heliolândia, Águas Lindas e Jaderlândia com TSC de 22,8° C; Coqueiro (TSC de 23,6° C); Jibóia Branca (TSC de 23,8° C); Geraldo Palmeira, Aurá, Providência com TSC de 23,9° C.

Vale ressaltar a mudança espacial do padrão térmico dos bairros Águas Brancas e Aurá, ambos apareciam em escalas de valores mais baixos de TSC na imagem de 1984 e, posteriormente, aparecem com intervalo de cores mais quentes. Esses bairros estão mais ao sul da cidade de Ananindeua e mais próximas a região rural (continental) do município.

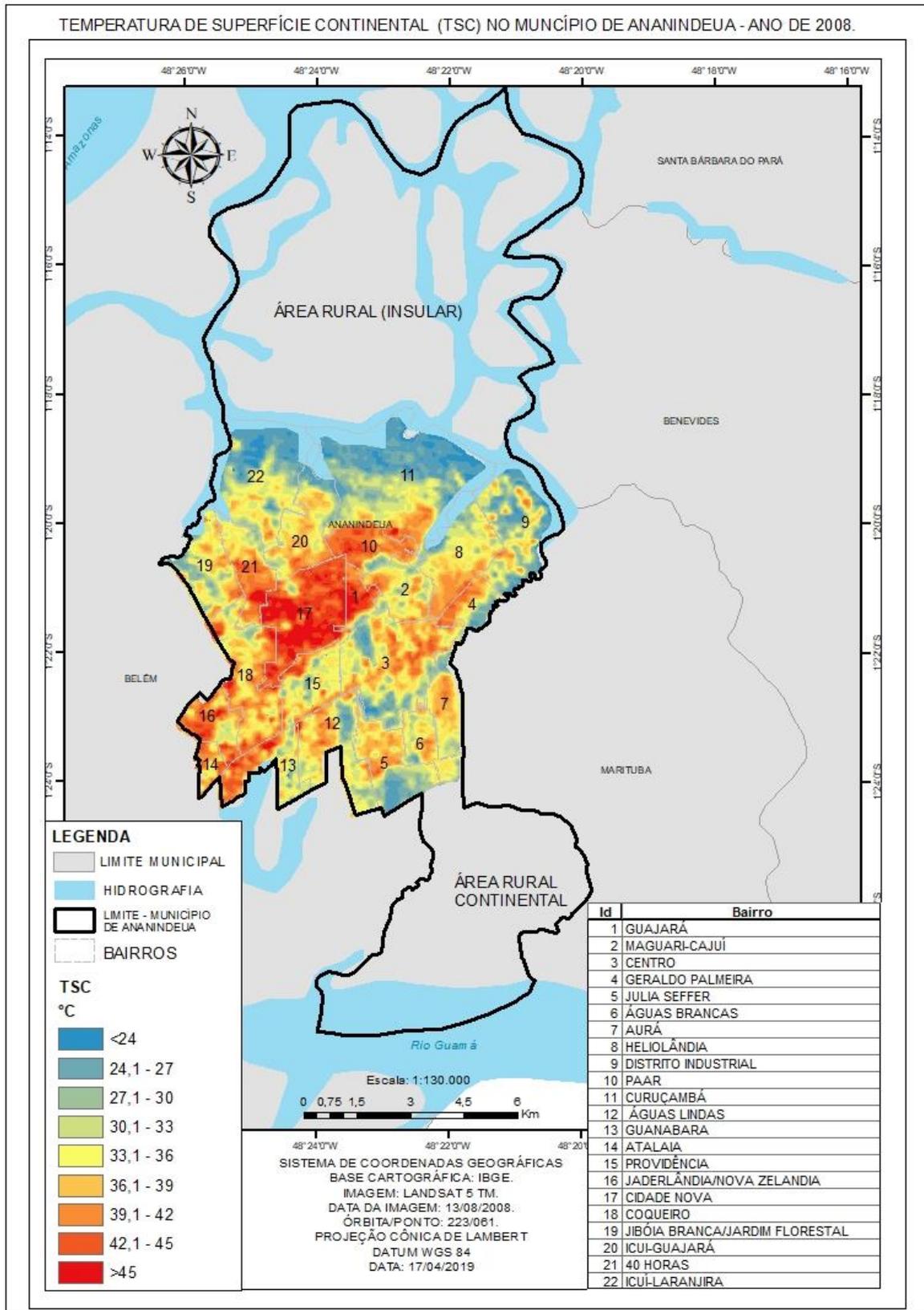
Segundo as Figuras 14 e 15, que mostram o uso e ocupação do solo em Ananindeua, percebe-se a mudança visível da cobertura dessas áreas que passaram de uma predominância de vegetação de terra-firme para capoeira e solo exposto. A identificação dessa mudança no uso do solo apresenta uma coerência na modificação desse espaço na relação com a TSC.

Comparando essas mesmas áreas, citadas anteriormente, aos mapas ilustrados nas Figuras 17 e 20, representados através dos índices de vegetação e área construída, observa-se a relação direta que a TSC exibe na mesma data analisada.

Na imagem seguinte, com data de 13/07/2008 (figura 24), a mancha que envolve a coloração do alaranjado para o vermelho ganha destaque no mapa. Essas áreas marcadas pela cor mais quente são as mesmas áreas pré-definidas nas datas de imagens anteriores. A espacialização da TSC na Figura 24 mostra dois eixos ou áreas de significativo aumento espacial da TSC.

O primeiro eixo em destaque abrange os bairros que cortam a cidade de Ananindeua de forma diagonal, em direção ao Atalaia, Jaderlândia, Jibóia Branca, Cidade Nova, 40 Horas, Guajará, Icuí-Guajará e PAAR. Esses bairros compõem a parte central ao norte da rodovia BR 316, além disso, detêm da área mais populosa do município. Dessa forma, a espacialidade da TSC nesses bairros demonstra seu maior valor, ultrapassando os 45°C.

Figura 24 – A TSC no município de Ananindeua – 2008.



Fonte: Elaborado pela autora.

Contendo um dos centros comerciais mais dinâmicos do município de Ananindeua, o bairro Cidade Nova, consolidou-se e produziu um espaço urbano que antes da década de 2000, restringia-se apenas à função habitacional dentro de uma estrutura planejada para tal fim.

O segundo eixo de destaque da TSC forma-se, agora com mais intensidade, uma área contínua às margens da rodovia BR-316, no sentido dos bairros: Guanabara, Águas Lindas, Julia Seffer, Centro, Maguari-Cajuí, Geraldo Palmeira, Heliolândia, chegando ao Distrito Industrial.

Nesse espaço urbano, formava-se um “corredor” estratégico voltado à instalação de grandes empresas, empreendimentos imobiliários de grande porte e de alto padrão (como a exemplo do Lago Azul), Shopping center (Shopping Castanheira), Universidades privadas (UNAMA, FAAM), Instituto Evandro Chagas, galpões de empresas, entre outros, além de ser o principal acesso dos municípios da região metropolitana à capital Belém.

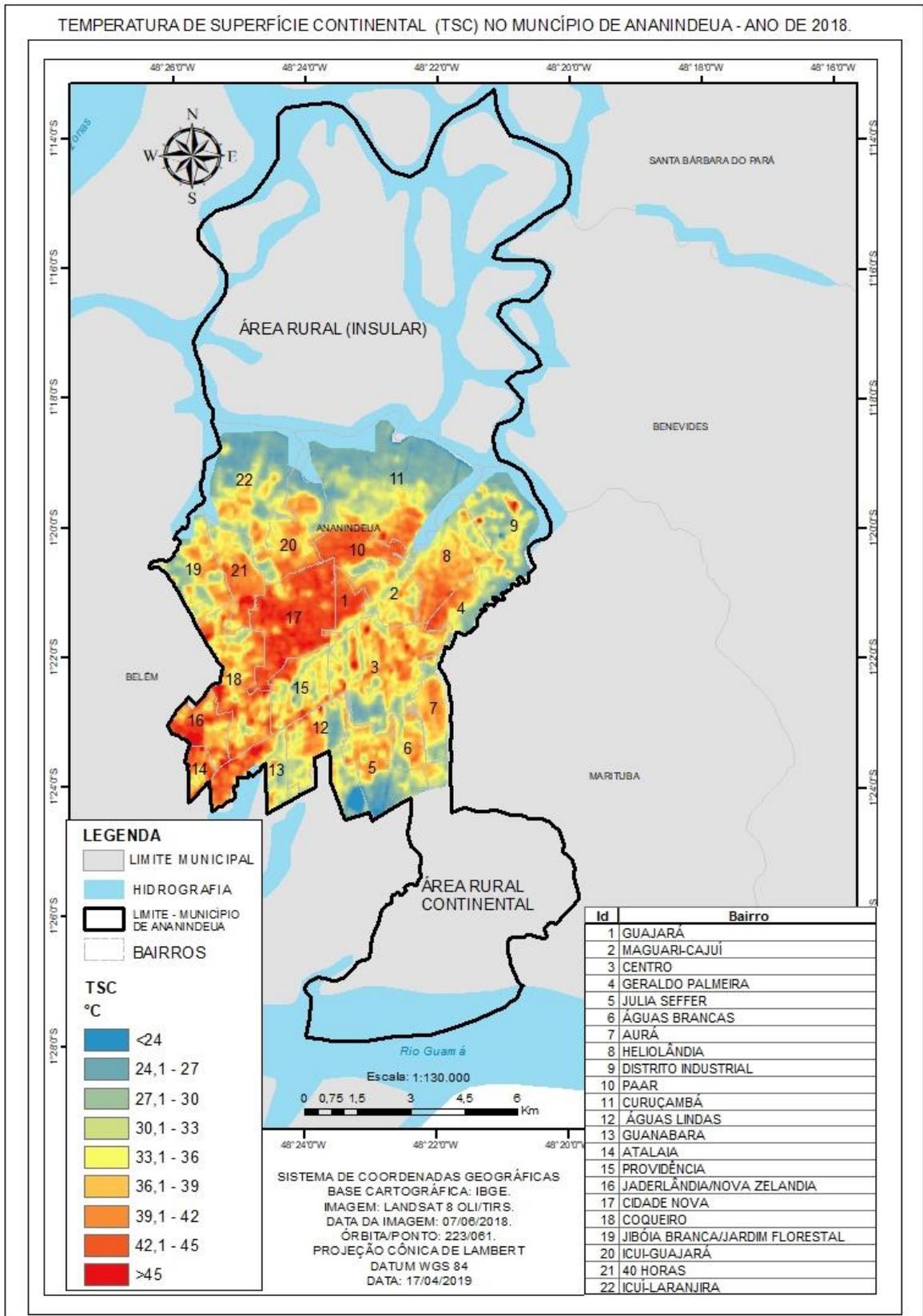
A paisagem que se instalará nessa via na década de 2000 em Ananindeua, retrata uma paisagem típica de cidades metropolitanas desenvolvidas a partir do eixo rodoviário principal e do grande fluxo de mercadorias, transportes e pessoas que se estabelecem em áreas das principais cidades metropolitanas do Brasil.

Os “bolsões” de temperaturas mais baixas, nas tonalidades da transição do amarelo para o azul, ficam cada vez mais restritos as áreas que margeiam a cidade em direção aos corpos hídricos, próximas as áreas de bairros mais dos centros urbanos e alguns enclaves encontrados entre os espaços dos bairros da região central do município.

A atual década, representada pela imagem que data de 07/06/2018 (figura 25), evidencia a maior intensidade das TSC nos eixos citados anteriormente. É a efetiva consolidação dos espaços de calor na cidade de Ananindeua que se faz presente através da evolução dos anos anteriores.

A TSC adentra os espaços mais quentes, definidos anteriormente nos bairros, conectando-os e ampliando em todas as suas áreas adjacentes demonstrando assim o crescimento da mancha laranja-vermelha na cidade.

Figura 25 – A TSC no município de Ananindeua – 2018.



Fonte: Elaborado pela autora.

As TSC mínimas apresentam valores acima dos 24° C, mostrando dessa forma que os bairros de Ananindeua são afetados por completo pela influência da expansão e aumento das TSC. Os bairros que detêm as TSC mais baixas são aqueles que possuem áreas que seguem o tom de azul, onde a TSC é abrandada, como a exemplo dos bairros Águas Lindas (TSC 24,5° C), Julia Seffer (TSC 25° C), Distrito Industrial (TSC 26,4° C), Icuí-Laranjeira (TSC 26,8° C) e Curuçambá (TSC 26, 9° C).

Sendo assim, a partir dos dados extraídos de TSC média (Tabela 3, 4, 5 e 6) das imagens LANDSAT 5/TM e 8 TIRS para os anos de 1984, 1999, 2008 e 2018, demonstraram a presença de ilha de calor urbana nas áreas mais propícias a anomalia térmica, no meio urbano.

Os valores dessa diferença entre médias da TSC nas classes do uso do solo, que determinam a ilha de calor na cidade de Ananindeua, tem como referência a área antropizada. Dessa forma, os maiores valores foram encontrados na classe de vegetação de várzea, a partir dessa diferença entre os diferentes usos do solo: 8,1 ° C (1984), 6,0°C (1999), 12, 5°C (2008) e 8,9°C (2018), sendo este último identificado na classe de vegetação de terra-firme.

Os valores máximos das médias não seguem um aumento linear entre os anos, com oscilação de 2,1°C entre os anos de 1984 e 1999 e de 3,6°C entre os anos de 2008 e 2018. A espacialização das áreas quentes ao longo dos anos, concentram-se nas áreas mais urbanizadas da cidade e acompanham a distribuição das TSCs já abordadas neste capítulo.

Tabela 3- A diferença das médias de TSC entre a área antropizada e as outras classes de uso do solo para o ano de 1984.

Classes (1984)	\overline{TSC} (°C)	$^{\circ}TSC$	Ilha de Calor Urbana (°C) (Antrop. - outras classes).
Área Antropizada	52,9	4,6	-
Solo exposto	51,5	3,4	1,5
Capoeira	46,2	2,9	6,7
Vegetação de terra-firme	45,5	2,7	7,5
Vegetação de várzea	44,8	1,4	8,1

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 4 – A diferença das médias de TSC entre a área antropizada e as outras classes de uso do solo para o ano de 1999.

Classes (1999)	\overline{TSC} (°C)	σTSC	Ilha de Calor Urbana (°C) (Antrop. - outras classes).
Área Antropizada	30,4	2,2	-
Solo exposto	27,8	1,9	2,6
Capoeira	26,4	1,5	4,0
Vegetação de terra-firme	24,5	0,9	5,9
Vegetação de várzea	24,3	0,7	6,0

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 5 – A diferença das médias de TSC entre a área antropizada e as outras classes de uso do solo para o ano de 2008.

Classes (2008)	\overline{TSC} (°C)	σTSC	Ilha de Calor Urbana (°C) (Antrop. - outras classes).
Área Antropizada	43,0	3,1	-
Solo exposto	37,0	3,7	6,0
Capoeira	32,0	2,3	11,0
Vegetação de terra-firme	30,8	1,3	12,2
Vegetação de várzea	30,5	1,1	12,5

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 6 – A diferença das médias de TSC entre a área antropizada e as outras classes de uso do solo para o ano de 2018.

Classes (2018)	\overline{TSC} (°C)	σTSC	Ilha de Calor Urbana (°C) (Antrop. - outras classes).
Área Antropizada	38,4	2,4	-
Solo exposto	33,1	3,5	5,3
Capoeira	31,8	2,9	6,6
Vegetação de terra-firme	29,6	1,2	8,9
Vegetação de várzea	29,6	0,7	8,9

Fonte: Elaborado pela autora.

Levando em consideração que os bairros mais afastados do centro urbano de Ananindeua como: 40 Horas, Icuí-Guajará, Icuí-Laranjeiras, Curuçambá, Águas Brancas, Aurá, Júlia Seffer, PAAR, áreas do extremo norte e sul do perímetro urbano, são áreas que mais concentram cobertura vegetal na cidade.

Essas áreas apresentam, em alguns trechos dos bairros, ocupações típicas de áreas rurais com agricultura urbana, com casas mais amplas, quintais arborizados, áreas de plantações, a exemplo do Icuí-Guajará com áreas de plantações de banana e no Curuçambá com áreas de plantações de hortaliças (Figura 26).

Figura 26 – Cultivo de hortaliças no bairro do Curuçambá em Ananindeua.



Fonte: Ananindeua (2013).

Por outro lado, o solo exposto foi a classe que apresentou os menores valores obtidos com o cálculo dos valores das diferenças entre as máximas da classe solo exposto e a classe da área antropizada, apresentando valores como: 1,5°C (1984), 2,6°C (1999), 6°C (2008) e 5,3°C (2018). Essa classe apresentou correspondência com os valores térmicos apresentados nas análises evolutivas das TSCs.

5.3.1 O *ranking* da TSC nos bairros.

O ranqueamento dos espaços de calor nos bairros de Ananindeua parte das diferenças na variabilidade de cada resposta termal nas imagens visualizadas nas Figuras 22, 23, 24 e 26. A evolução de espaços mais quentes estão relacionados a modificação do espaço urbano durante análise temporal do município de Ananindeua.

Essa ampliação das manchas quentes acompanha o processo de fomação da área urbana do município, ao mesmo tempo em que a cobertura do solo foi amplamente modificada, dando espaços as áreas contruídas para fins, residenciais, comerciais ou mesmo de recreação. Esses diversos usos interferem nos valores de TSC refletindo em mais ou menos calor conforme as características desses espaços.

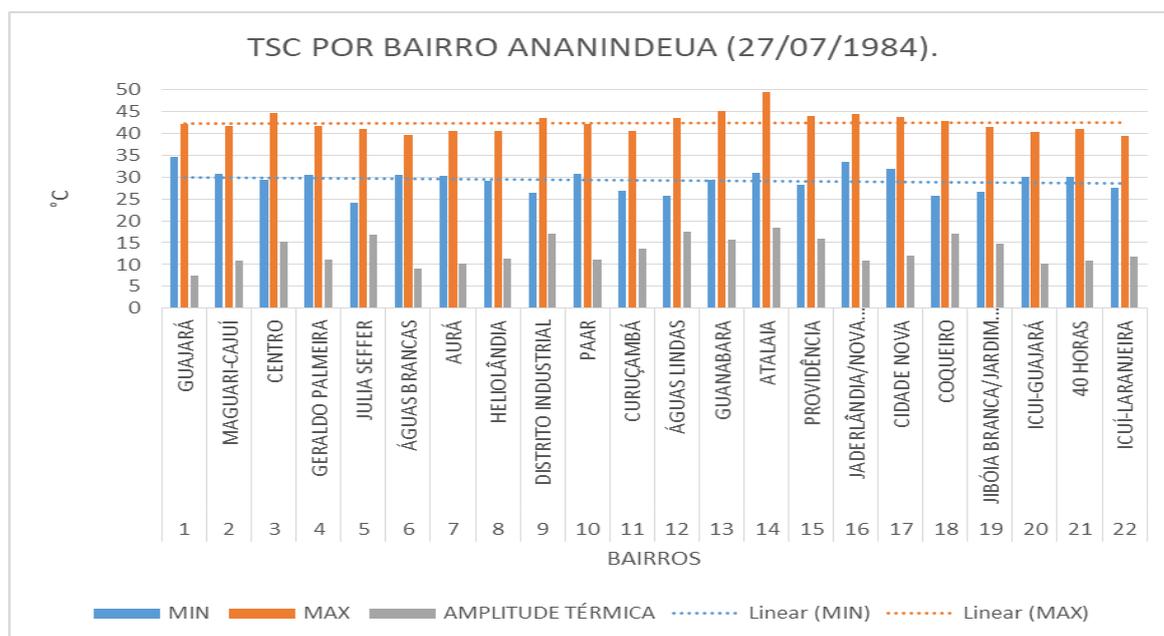
Podemos observar a dinâmica da TSC relacionada a formação de ilha de calor, que segundo Oke (1982, 1987) e Oke *et al* (1991), afirmam que cincunstâncias favoráveis a ilha de calor advém da concentração altas das fontes de calor no espaço urbano.

No entanto, nota-se que a partir da amplitude térmica, que é a diferença da temperatura máxima e a mínima, presente nos bairros de Ananindeua, pode-se ter indício desses espaços de calor, como mostra os gráficos 3, 4, 5 e 6.

A dinâmica termal para o ano de 1984 aparente nos vinte e dois bairros de Ananindeua, intercala entre a TSC no valor máxima com aproximadamente de 49,4 graus e de temperatura mínima de 24,2 graus. A partir disso, temos uma variação de 25,2°C entre esses dois extremos de TSC encontradas na cidade.

O bairro que apresentou uma amplitude maior para os dados do ano de 1984 foi o Atalaia com 18,4° C, como podemos observar na Tabela 7. A espacialidade desses dados termais auxilia no entendimento de quais bairros estão aparentemente concentrando mais calor no espaço urbano no período analisado. Por outro lado, percebe-se que o bairro Guajará dispõe de uma amplitude térmica de TSC de 7,5°C menor que os restantes dos bairros da cidade.

Gráfico 3 - TSC por bairro - Ananindeua (1984).



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 7 - Relação da TSC nos bairros - Ananindeua (1984).

ID	BAIRRO	MIN	MAX	MÉDIA	AMPLITUDE TÉRMICA
1	GUAJARÁ	34,5	42,0	40,5	7,5
2	MAGUARI-CAJUÍ	30,6	41,6	36,3	11,0
3	CENTRO	29,3	44,6	35,6	15,3
4	GERALDO PALMEIRA	30,4	41,6	37,6	11,2
5	JULIA SEFFER	24,2	41,0	32,7	16,8
6	ÁGUAS BRANCAS	30,4	39,5	35,1	9,1
7	AURÁ	30,3	40,5	35,8	10,2
8	HELIOLÂNDIA	29,1	40,5	35,3	11,4
9	DISTRITO INDUSTRIAL	26,4	43,5	33,3	17,1
10	PAAR	30,8	42,0	39,0	11,2
11	CURUÇAMBÁ	26,8	40,5	31,2	13,7
12	ÁGUAS LINDAS	25,8	43,4	35,2	17,6
13	GUANABARA	29,3	45,0	37,6	15,7
14	ATALAIA	31,0	49,4	38,5	18,4
15	PROVIDÊNCIA	28,2	44,0	36,5	15,8
16	JADERLÂNDIA/NOVA ZELANDIA	33,5	44,3	39,6	10,8
17	CIDADE NOVA	31,8	43,8	40,1	12,0
18	COQUEIRO	25,7	42,8	37,2	17,1
19	JIBÓIA BRANCA/JARDIM FLORESTAL	26,6	41,3	34,0	14,7
20	ICUI-GUAJARÁ	30,0	40,3	36,6	10,3
21	40 HORAS	30,0	41,0	36,0	11,0
22	ICUI-LARANJEIRA	27,6	39,4	32,0	11,8

Fonte: Elaborado pela autora.

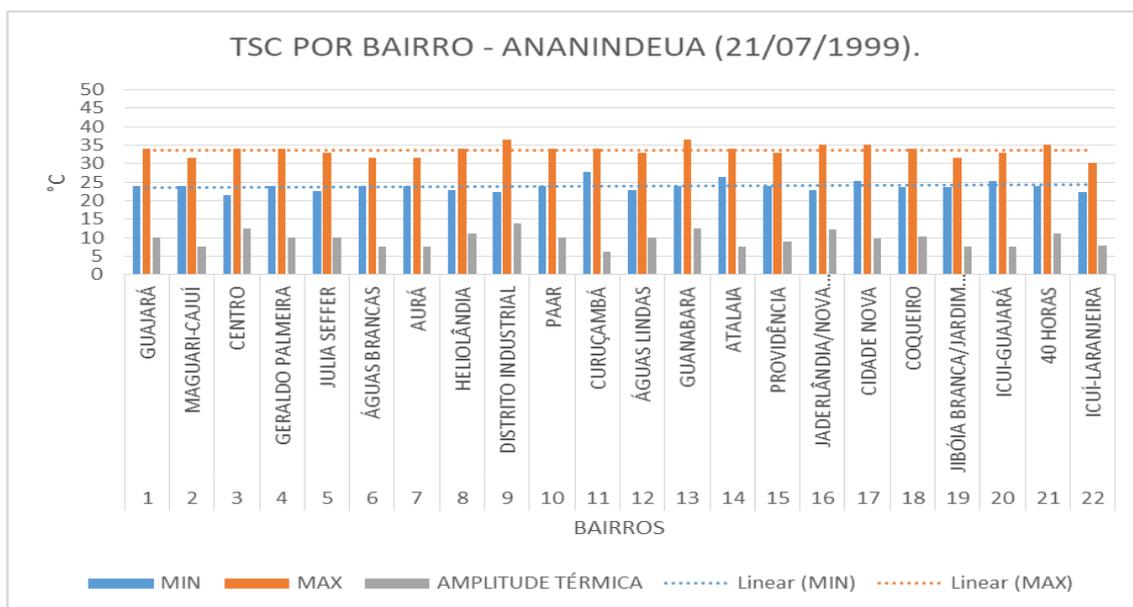
Para o ano de 1984, ano inicial das análises, o mapa de uso de solo mostrado na figura 14, traz uma correspondência se compararmos os diferentes espaços com o comportamento da TSC na figura 22.

Os bairros que apresentam as maiores amplitudes, classificadas na escala da cor do vermelho, são áreas concentradas mais para a região central do município, envolvido as ocupações principais de formação do município, seja por meio dos conjuntos habitacionais, seja pela localização próxima à capital paraense, ou mesmo, pelo contexto de desenvolvimento através da lógica rodoviária.

A TSC espacializada por bairro para a imagem do ano de 1999 (Gráfico 4), uma diferença entre as amplitudes máxima e mínimas de 10,9 °C. A maior amplitude térmica por bairro foi de 14° C, no Distrito Industrial.

A formação desse bairro está ligada ao complexo industrial do município, que segundo Araújo (2012) foi implantado no ano de 1979 através dos incentivos do II Plano de Desenvolvimento Amazônico (II PDA). Porém, os projetos de infra estrutura para o bairro não foram posto em prática como prometido no seu projeto inicial, sendo o motivo da instabilidade de muitas empresas ao longo dos anos.

Gráfico 4 – TSC por bairro - Ananindeua (1999).



Fonte: Elaborado pela autora.

A trajetória dos valores de amplitudes térmicas com valores entre 14°C e 6,3°C é similar ao contexto urbano da década de 1990, onde apresenta políticas de intervenção no espaço urbano de Ananindeua.

Embora as diferenças entre as amplitudes térmicas de valor máxima e mínima seja de 7,7°C (ver Tabela 8) está menor do que o ranking visto na tabela 7. E, se comparada aos anos posteriores, os valores de TSC mínimas apresentam-se menor em vista dos quatro anos analisados, porém as máximas não apresentam valores muito altos.

Tabela 8 - Relação da TSC nos bairros - Ananindeua (1999).

ID	BAIRRO	MIN	MAX	MÉDIA	AMPLITUDE TÉRMICA
1	GUAJARÁ	24	34	30,2	10
2	MAGUARI-CAJUÍ	24	31,5	27,3	7,5
3	CENTRO	21,5	33,9	26,2	12,4
4	GERALDO PALMEIRA	23,9	34	26,7	10,1
5	JULIA SEFFER	22,7	32,8	26,5	10,1
6 F	ÁGUAS BRANCAS	24	31,5	26,4	7,5
7	AURÁ	23,9	31,5	26,0	7,6
8	HELIOLÂNDIA	22,8	34	26,4	11,2
9	DISTRITO INDUSTRIAL	22,4	36,4	24,9	14
10	PAAR	24	34	28,3	10
11	CURUÇAMBÁ	27,7	34	29,4	6,3
12	ÁGUAS LINDAS	22,8	32,8	27,3	10
13	GUANABARA	24	36,4	28,8	12,4
14	ATALAIA	26,3	34	29,9	7,7
15	PROVIDÊNCIA	23,9	32,8	27,9	8,9
16	JADERLÂNDIA/NOVA ZELÂNDIA	22,8	35,1	29,4	12,3
17	CIDADE NOVA	25,3	35,1	32,1	9,8
18	COQUEIRO	23,6	34	28,9	10,4
19	JIBÓIA BRANCA/JARDIM FLORESTAL	23,8	31,5	26,6	7,7
20	ICUI-GUAJARÁ	25,3	32,85	27,6	7,55
21	40 HORAS	24	35,1	28,5	11,1
22	ICUI-LARANJEIRA	22,4	30,3	25,9	7,9

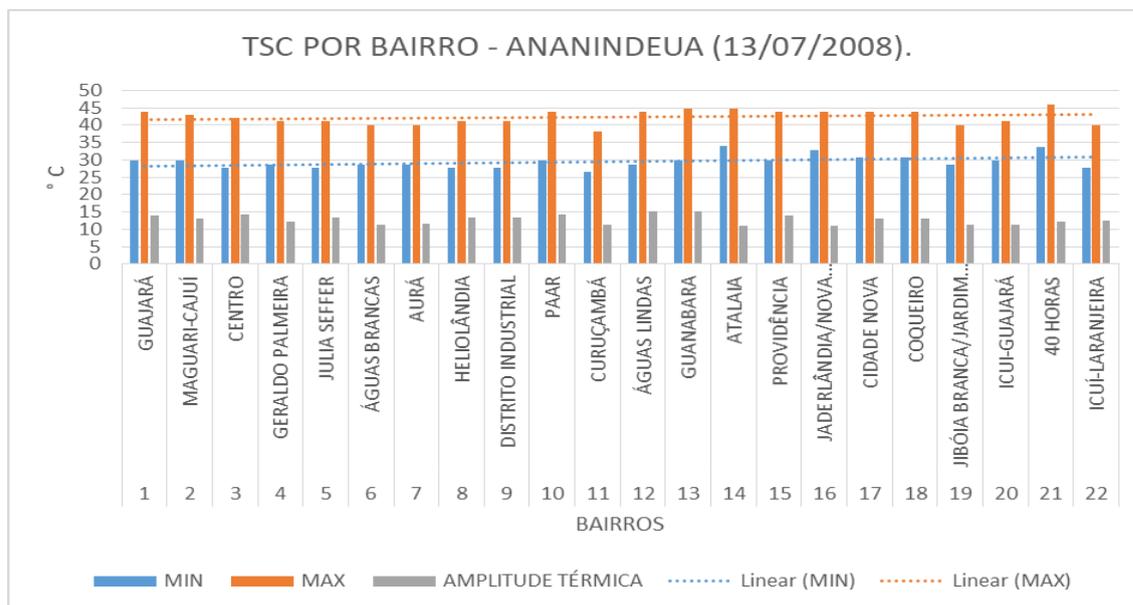
Fonte: Elaborado pela autora.

O bairros que apresenta variação térmica menor é o Curuçambá (6,3° C), localizado no extremo norte da cidade de Ananindeua, próximo a importantes rios como o Furo Maguarí, que margeia o bairro na sua porção norte.

Curiosamente, a oscilação da TSC por bairro no ano de 2008 (Gráfico 5), apresentou uma diferença de amplitude térmica entre os bairros de 4°C. Esse resultado é reflexo do aumento nos valores de TSC tanto para os valores máximo, quanto para os valores mínimos que resulta na menor diferença entre os mesmos.

Para esse ano (ver Tabela 9), o maior valor de amplitude térmica encontrada no bairro da Águas Lindas (15,2°C), seguida de Guanabara (15,1°C), Centro (14,3°C), PAAR (14,2°C), Guajará e Providência com 14°C. Em contrapartida, a amplitude mínima foi encontrada no bairro do Atalaia (10,9°C).

Gráfico 5 – TSC por bairro - Ananindeua (2008).



Fonte: Elaborado pela autora.

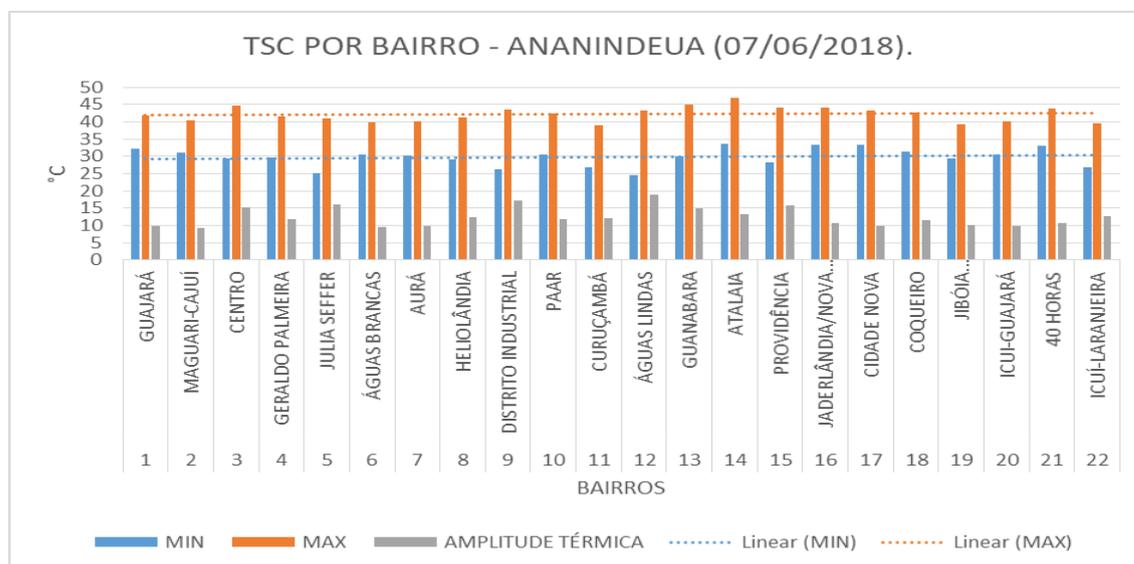
Tabela 9 - A TSC nos bairros - Ananindeua (2008).

ID	BAIRRO	MIN	MAX	MÉDIA	AMPLITUDE TÉRMICA
1	GUAJARÁ	29,8	43,9	40,6	14,1
2	MAGUARI-CAJUI	29,7	42,9	35,8	13,2
3	CENTRO	27,7	42	34,9	14,3
4	GERALDO PALMEIRA	28,7	41	36,2	12,3
5	JULIA SEFFER	27,6	41	34,2	13,4
6	ÁGUAS BRANCAS	28,7	40	35,3	11,3
7	AURÁ	28,5	40	35,6	11,5
8	HELIOLÂNDIA	27,6	41	34,6	13,4
9	DISTRITO INDUSTRIAL	27,6	41	15,2	13,4
10	PAAR	29,7	43,9	39,0	14,2
11	CURUÇAMBÁ	26,6	38	36,6	11,4
12	ÁGUAS LINDAS	28,7	43,9	35,1	15,2
13	GUANABARA	29,7	44,8	33,5	15,1
14	ATALAIA	33,9	44,8	37,1	10,9
15	PROVIDÊNCIA	29,9	43,9	33,3	14
16	JADERLÂNDIA/NOVA ZELANDIA	32,8	43,9	38,7	11,1
17	CIDADE NOVA	30,7	43,9	41,3	13,2
18	COQUEIRO	30,7	43,9	36,9	13,2
19	JIBÓIA BRANCA/JARDIM FLORESTAL	28,7	40	33,1	11,3
20	ICUI-GUAJARÁ	29,8	41	36,6	11,2
21	40 HORAS	33,7	45,9	39,5	12,2
22	ICUI-LARANJEIRA	27,6	40	36,1	12,4

Fonte: Elaborado pela autora.

O gráfico que representa o ano de 2018 (ver Gráfico 6), da década atual e com o espaço urbano mais consolidado, registra a diferença entre os valores de amplitudes térmicas de 9,5°C. Os bairros que contribuem para essa diferença são Águas Lindas (18,9°C) e Maguari-Cajuí (9,4°C), respectivamente (ver Tabela 10).

Gráfico 6 - TSC por bairro - Ananindeua (2018).



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 10 - A TSC nos bairros - Ananindeua (2018).

ID	BAIRRO	MIN	MAX	AMPLITUDE TÉRMICA
1	GUAJARÁ	32,1	42	9,9
2	MAGUARI-CAJUÍ	31,1	40,5	9,4
3	CENTRO	29,3	44,6	15,3
4	GERALDO PALMEIRA	29,7	41,6	11,9
5	JULIA SEFFER	25	41	16
6	ÁGUAS BRANCAS	30,4	39,9	9,5
7	AURÁ	30,3	40,2	9,9
8	HELIOLÂNDIA	29	41,4	12,4
9	DISTRITO INDUSTRIAL	26,4	43,5	17,1
10	PAAR	30,6	42,3	11,7
11	CURUÇAMBÁ	26,9	39	12,1
12	ÁGUAS LINDAS	24,5	43,4	18,9
13	GUANABARA	30	45	15
14	ATALAIA	33,7	46,9	13,2
15	PROVIDÊNCIA	28,2	44	15,8
16	JADERLÂNDIA/NOVA ZELANDIA	33,3	44	10,7
17	CIDADE NOVA	33,5	43,4	9,9
18	COQUEIRO	31,3	42,8	11,5
19	JIBÓIA BRANCA/JARDIM FLORESTAL	29,3	39,3	10
20	ICUI-GUAJARÁ	30,5	40,3	9,8
21	40 HORAS	33	43,8	10,8
22	ICUI-LARANJEIRA	26,8	39,6	12,8

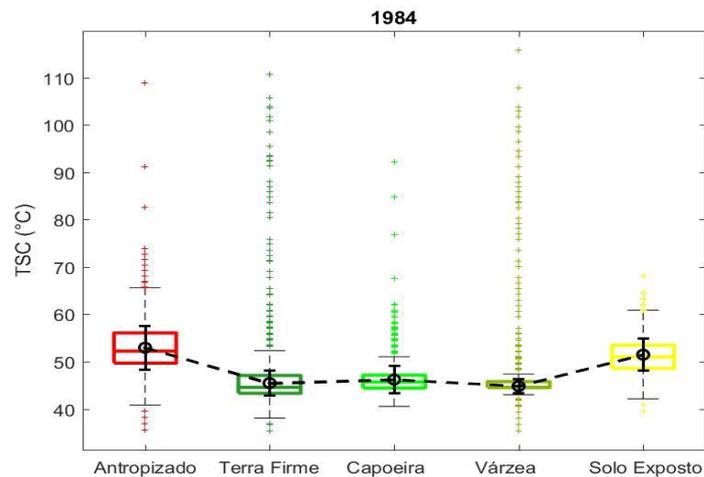
Fonte: Elaborado pela autora.

As TSC máximas são bem expressivas nessa imagem alcançando valores de 46,9°C. Por outro lado, as mínimas também apresentam valores altos, se comparado com o ano anterior. O adensamento de áreas mais periféricas, ou seja, de bairros mais afastado do centro urbano, demonstra esse aumento expansivo da TSC para todos os bairros de Ananindeua. Um fato que chama a atenção é a condição de bairros como Cidade Nova manter seu valor de TSC entre as menores desse ano, saindo da condição de TSC intermediário que apresentou nos anos anteriores.

5.3.2 A TSC nos diferentes usos do solo.

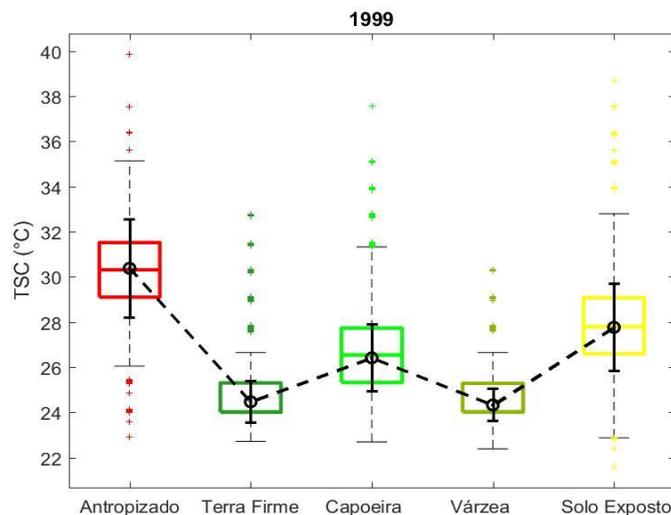
As áreas com valores de amplitudes mais altas estão relacionadas as áreas mais antropizadas dos mapas (ver Gráficos 7, 8 9 e 10), mostrando a correspondência da ocupação antrópica e solo exposto com os espaços quentes do município, e do contrário, as áreas de amplitudes mais amenas com bairros que apresentam proximidades com maior concentração de cobertura vegetal e corpos hídricos.

Gráfico 7 – TSC x Uso do Solo na cidade de Ananindeua – 1984.



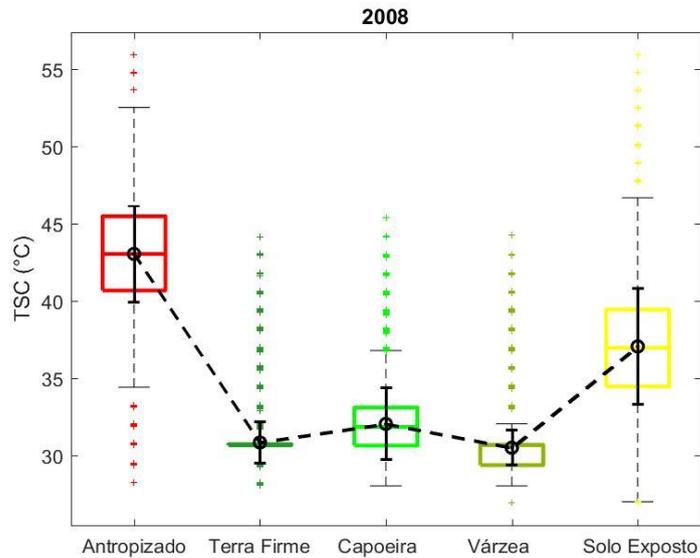
Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 8 - TSC x Uso do Solo na cidade de Ananindeua – 1999.



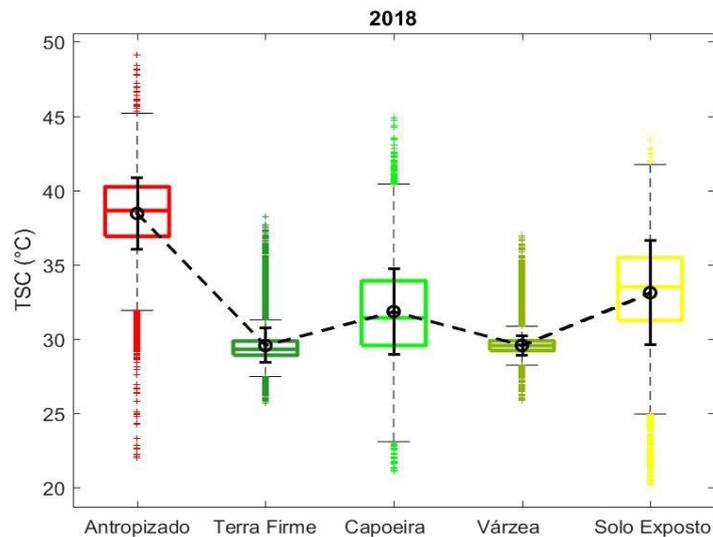
Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 9 - TSC x Uso do Solo na cidade de Ananindeua – 2008.



Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 10 - TSC x Uso do Solo na cidade de Ananindeua – 2018.



Fonte: Elaborado pela autora.

No entanto, a TSC analisada nos Gráficos 7, 8, 9 e 10, demonstra que os intervalos entre os valores máximos e mínimos (tamanho da caixa) são correspondentes ao tipo de uso do solo e no armazenamento de cada dado termal em determinada classe.

Conforme as modificações do uso do solo vão acontecendo nos anos analisados, a TSC apresenta os seus resultados de acordo com essas transformações. Concentrado os maiores valores nas classes mais alteradas como sendo a área antropizada e solo exposto. Por outro lado, as classe com cobertura vegetal apresentam uma variação entre si e entre

os valores mais baixos de TSC.

Para a classe de vegetação de terra-firme, o ambiente dessa vegetação é naturalmente mais seco e não sofre tanta influência das marés, como é o caso da vegetação de várzeas, que se localiza em ambientes alagados. A classe de capoeira, devido a sua característica está associado as áreas em estágios de regeneração, são mais suscetíveis aos efeitos do solo na resposta termal, por isso os valores de TSC são mais altas se comparadas as outras classes de vegetação.

Nessa análise espacial e temporal da TSC X Uso do Solo urbano de Ananindeua, percebe-se que as classes antropizadas e solo exposto foram as que mais se destacaram nos quatros anos. Essa correspondência acompanha a evolução urbana do município e sua devida expansão.

As classes de vegetação de terra-firme e de várzea foram sendo suprimidas ao logos dessas mudanças urbanas, no entanto, aparecem com fortes atenuadores das TCS, identificadas em seus comportamentos térmicos sendo os mais baixos dos quatro anos analisados.

A partir disso, nota-se que o contraste nos valores de TSC estão de acordo com as amplitudes térmicas percebidas ao longo dos anos nos bairros de Ananindeua. Onde, o maior índice de vegetação encontrado nos bairros tem reflexo, para o mesmo ano de análise, na atenuação dos valores de temperaturas da superfície continental, e esse efeito é menor nas áreas que tiveram suas coberturas modificadas. Essa relação é estabelecida também quando ao índice de área construída.

Em virtude do estudo realizado, a ilha de calor urbana é um fenômeno que atinge o município em área urbana, compreendendo os seus 22 bairros. Considerando que a TSC é identificada a partir de uma resolução espacial de imagens landsat, em dimensões 30x30, esses valores estão associados a esses pixels.

As diferenças térmicas da TSC destacam-se nas áreas intra-bairros, ao longo dos anos analisados, que estão dispostos da seguinte maneira:

- 27/07/1984: Providência com 18,9°C;
- 21/07/1999: Distrito Industrial com 14°C;
- 13/08/2008: Águas Lindas 15,2°C;
- 07/06/2018: Águas Lindas com 18,9°C.

Os valores de TSC que contribuem para a formação da ilha de calor urbana entre os bairros, através dos dados observados nos pontos mais quente e mais frios da mancha urbana, estão dispostos entre os anos:

- 27/07/1984: 25,2°C;
- 21/07/1999: 14,9°C;
- 13/08/2008: 19,3°C;
- 07/06/2018: 22,4°C.

A TSC apresenta um valor elevado na imagem de 1984, por se tratar de problemas como: influência de parâmetros da série mais antiga do Landsat; de uma resposta mais intensas das transformções que aconteceram no perímetro urbano desse ano, ou mesmo de uma dinâmica atmosférica local. Entretanto as datas posteriores observadas seguem uma sequência crescente que corresponde a interferência no uso do solo urbano nas TSC.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo de formação sócio-espacial do município de Ananindeua revela que as transformações ocorridas estão relacionadas ao crescimento demográfico das últimas décadas, elevando o município ao segundo mais populoso do estado do Pará e ao quarto maior da Região Norte do Brasil. Esse aumento demográfico é refletido nos diferentes fluxos de ocupações que se estabeleceram no uso do espaço urbano em Ananindeua.

As modificações de uso de solo que ocorreram no processo de formação do município levaram a consequente formação dos espaços mais quentes do município, denominada a partir da identificação das diferenças térmicas existentes no/entre os bairros. Esses espaços quentes estão concentrados em áreas conurbadas com a capital paraense e nas áreas centrais do município, mostrando dessa forma a correlação com o adensamento urbano que se estabeleceu no mesmo.

Esses adensamentos urbanos, criados inicialmente na esplotaneidade da ocupação histórica, foi direcionado para atender políticas de desruralização da Região Metropolitana de Belém e de habitações para camadas populares devido ao inchaço populacional que a capital apresentava.

Com isso percebe na evolução do município de Ananindeua uma produção do espaço urbano que extrapolou a área planejada, resultando em um quadro espacial de formação das ilhas de calor urbana atingindo resultados de: 8,1 ° C (1984), 6,0°C (1999), 12, 5°C (2008) e 8,9°C (2018). Desta forma, observa-se que os valores mais elevados da TSC destacaram em bairros como Guajará (1984), Curuçambá (1999), Atalaia (2008) e Maguarí-Cajuí (2018).

A metodologia que auxiliou nas análises das TSCs e a identificação posterior da ilha de calor urbana só foi possível pelo uso informações geográficas e espaciais através das imagens de satélites e das técnicas de sensoriamento remoto, baseado em trabalhos de diversos autores, dentre eles Lucena (2012), VOOGT e OKE (2003).

Essa metodologia possibilitou o estudo remoto de áreas da Amazônia brasileira, onde localiza-se o município de Ananindeua, que apesar das dificuldades naturais meteorológicas na obtenção de dados, de uma das maiores cidades demográficas da Região Norte, tanto carece de pesquisas que envolvam seus ecossistemas naturais e urbanos.

A utilização de trabalhos de campos, ou registros diários de temperaturas da superfície, seja através de uso de técnicas mais tradicionais, ou a utilização de estações meteorológicas de Ananindeua, caso fosse reativada, nesta pesquisa, contribuiria para complementar os dados de TSC e o entendimento da dinâmica térmica de forma mais ampla.

A possibilidade na identificação dos espaços quentes, os quais apresentam os maiores valores termais da cidade de Ananindeua, permitiu inferir que os dados de TSC de maior expressão estão associados com as classes de área antropizada, áreas urbanizadas formadas por construções (áreas residenciais, comerciais e industriais) e vias de circulação, somadas a classe de solo exposto, identificada como componente crescente na área urbana do município.

A evolução dessas classes de uso do solo, permitiu aferir que as concentrações de áreas quentes sobrepõem esses espaços que foram tomando formas que “fagocitam” e atingem, com o passar dos anos, áreas correspondentes e predominantes em todos os bairros de Ananindeua.

Amplitudes térmicas, que corresponde aos contrastes de TSC máximas e mínimas encontradas no mesmo perímetro do bairro, demonstram uma oscilação positiva entre os anos analisados foi de: 1984 (10, 9°C), 1999 (7,5°C), 2008 (4°C) e 2018 (9,5°C). Essas amplitudes térmicas por ano são estabelecidas com referência ao comportamentos dos valores de TSC encontradas nos bairros, mesmo com o menor intervalo encontrado no ano de 2008, os valores de TSC máxima e mínima nos diferentes bairros para esse ano atingiu o valor de 19,3°C de

TSC. No entanto, os anos de 1984 apresentou uma diferença entre os bairros de 7,8°C; em 1999 com 14°C de TSC e em 2018 de 22,4°C, o maior valor encontrado entre as quatro imagens estudadas.

Nos espaços que apresentaram a maior presença de cobertura vegetal identificadas nos bairros através de classes como: vegetação de terra-firme, vegetação de várzea e capoeira, identificaram diferentes comportamentos devido suas características específicas fisiológicas, de ambientes e de exposição às influências do solo nas TSC.

Entretanto, todas essas classes que envolve cobertura vegetal apresentaram valores de TSC menores em todos os anos analisados, do que as classes antropizada e solo exposto, configurando espaços de frescor. Constatando que a influência desses espaços verdes altera as respostas termais das TSC, seja amenizando o valor da TSC com a presença de vegetação em espaços urbanos ou aumentando esses valores, com a ausência dos mesmos.

Os índices de vegetação (MSAVI) e de área construída (IBI) funcionam como representantes das áreas que mais são atingidas pela espacialização da TSC, demonstrando a relação de áreas que apresentam maior estresse vegetal, consequentemente maior área construída, associadas as áreas mais quentes da cidade. Essas áreas estão localizadas em dois principais eixos-núcleos de expansão da TSC, o primeiro no sentido centro-norte de Ananindeua, considerado aqui os bairros Cidade Nova e expande, Coqueiro, Providência, Guajará, Maguari, PAAR, 40 horas, Icuí-Guajará, direcionando-se para a região conurbada com a capital paraense.

O segundo eixo se estabelece na direção dos bairros Centro, Águas Brancas, Geraldo Palmeira, Heliolândia, direcionando-se ao município limítrofe ao município de Marituba, principal acesso ao restante dos municípios da região metropolitana de Belém.

Esses dois eixos de expansão da TSC desenvolvem-se ao longo do processo da ocupação dos bairros de Ananindeua, condicionado pela sua localização estratégica que funciona como um elo de ligação da capital paraense com outros municípios da região metropolitana de Belém, e da crescente importância demográfica e socioeconômica muito significativa e presentes no município ananindeuense.

Levando em consideração a importância dessas análises para o estudo da ilha de calor urbana no município de Ananindeua, sugere-se metodologias futuras que:

- ✓ acrescente outros componentes do clima urbano, como por exemplo, dados de precipitação para avaliar as influências atuantes em reflexo da formação da ilha de Calor;
- ✓ técnicas estatísticas no tratamento das análises temporais;
- ✓ uso de técnicas tradicionais *in situ* para melhor direcionar e complementar os estudos do município.
- ✓ relacione os dados térmicos com os espaços vulneráveis socialmente na área urbana.

Tendo em vista os dados com altos valores observados de TSC, entre os bairros que se destacam em cada ano de estudo, a formação desses espaços mais quentes (ilha de calor) na área urbana precisam estar presentes nos estudos de planejamento urbano do município, visando medidas mitigadoras como: políticas que visem programas de arborização, manutenção das áreas verdes, incluindo as áreas de matas ciliares no perímetro urbano, entre outras formas que possam amenizar os efeitos negativos desse tipo de anomalia climática e que possa atingir de alguma forma essa população local.

Espera-se também que essa pesquisa crie e estimule estudos complementares que possam contemplar mais temáticas urbano ambiental de Ananindeua e dos outros municípios da Região Metropolitana de Belém, associando diferentes técnicas existentes para os estudos do clima urbano, em específico da ilha de calor.

É importante que se estabeleça um monitoramento regular da expansão da área urbana

e seus diferentes usos de solos para evitar consequências ambientais que comprometam as poucas existências de áreas verde no meio urbano e de seu entorno.

É necessária uma atualização e disponibilidade das bases cartográficas do município de Ananindeua e de seus mapas de uso público para estimular as pesquisas e evitar que as mesmas sejam dificultadas por algum problema ou erro de informação espacial.

E por fim, é importante que se estabeleça um o diálogo mais acessível entre pesquisadores dessa temática, poder público e sociedade civil, afim de esclarecer os possíveis problemas gerados e as tomadas de decisões mais viáveis que visem o benefício ambiental e qualidade de vida da população, uma vez que se constitui de um problema presente na região metropolitana de uma cidade equatorial Amazônica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADEBAYO YR. Land-use approach to the spatial analysis of the urban “heat island” in Ibadan, Nigeria. *Weather* 42: 273–280; 1987.
- ALCOFORADO, M.J., ANDRADE, H. “Nocturnal urban heat island in Lisbon (Portugal): main features and modelling attempts”, *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 84, pp. 151–159; 2006.
- ALMEIDA, A. F. **Ananindeua e a sua identidade cultural**. 2006. 108pg. Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação em Turismo) - Centro Sócio-Econômico, UFPA, 2006.
- AMORIM, M. C. C. T. Características do clima urbano de Presidente Prudente. SANTA’ANNA NETO, J. (Org.) *Os climas das cidades brasileiras*. São Paulo: Presidente Prudente, 2002.
- ANANINDEUA. Prefeitura Municipal de Ananindeua. Decreto n. 15.163, de 12 de dezembro de 2012. Homologa o Plano de Desenvolvimento Rural Sustentável para o Município de Ananindeua. *Diário Oficial, Ananindeua, PA*, n. 1.624, 30 de jan. 2013. p. 3-14.
- ANDRADE, K. C. Análise da Cobertura Vegetal do Complexo Cidade Nova em Ananindeua – PA. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Licenciatura Plena em Geografia) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará – IFPA, 2016.
- ANDRADE, S.C. P.; CORRÊA, J. A. J. Estimativa do Saldo de Radiação Instantâneo à Superfície para a Cidade de Santarém-PA, Através de Imagens do Landsat 5-TM (Estimation of Radiation Balance Instantaneous Surfacing for the City of Santarém-PA, via Images from Landsat-5 TM). *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 7, n. 4, p. 653-661, 2014.
- ANDRADE, A. R.; ROSEGHINI, W. F. F.; MENDONÇA, F. A. Análise do campo térmico da cidade de Irati/PR: primeiros experimentos para a definição do clima urbano. *Revista Brasileira de Climatologia*, São Paulo, v.6, n.6, 2010, p.57-77.
- ANUNCIACÃO, V.S., SANT’ANNA NETO, J.L., O Clima Urbano da Cidade de Campo Grande – MS. p. 61 - 87. In: SANT’ANNA NETO, J.L. (Org.) *Os Climas das Cidades Brasileiras*. Presidente Prudente, 2002, 227p.
- ARAÚJO, F, S, S. Breve análise de trinta anos do Distrito Industrial de Ananindeua/Pa no context econômico local: 1979 – 2009. VII CONNPEPI, 2012.
- ARAÚJO, R. R.; SANT’ANNA NETO, J. L. O processo de urbanização na produção do clima urbano de São Luís – MA. In: SANT’ANNA NETO, João Lima. (Org.). *Os climas das cidades brasileiras*. Presidente Prudente: [s.n], 2002, p.21-41.
- ARNFIELD, A.J. “Two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water and the urban heat island” *International Journal Climatology*, vol. 23, pp.1–26; 2003.
- AYOADE, J. O. *Introdução a Climatologia para os trópicos*. 11ªed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2006.
- AZHDARI A, SOLTANI A, ALIDADI M. Urban morphology and landscape structure effect on land surface temperature: Evidence from Shiraz, a semi-arid city.

Sustainable Cities and Society 41 853-864; 2018.

BARRY, R. G.; CHORLEY, J. R. Atmosfera, tempo e clima, 9 ed, translated by Costa, R. C., Bookman: Porto Alegre, 2012.

BRANDÃO, A.M.P.M (1996). O Clima Urbano da Cidade do Rio de Janeiro. Departamento de Geografia, FFLCH, USP. Tese de Doutorado. São Paulo-SP 362pp.

BRENNER, V. C.; GUASSELLI, Laurindo Antônio. Índice de diferença normalizada da água (NDWI) para identificação de meandros ativos no leito do canal do rio Gravataí/RS–Brasil. ANAIS XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO-SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, v. 25, 2015.

CASTRO, Allison Reinaldo da Costa. Aplicação de sensoriamento remoto na análise espaço-temporal das ilhas de calor e ilhas de frescor urbanas no município de Belém – Pará, nos anos de 1997 e 2008. Dissertação (Mestrado em Geografia), Programa de Pós-graduação em Geografia – Universidade Federal do Pará, Pará, 2009, 56p.

CARVALHO, Dark Lane Rodrigues; SOARES, Carlos Benedito Santana da Silva; SILVA, Mauro Mendonça da. Identificação de Ilhas de Calor Urbana na Cidade de Manaus-AM. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE.

CARVALHO, Márcia Monteiro de. Clima urbano e vegetação: estudo analítico e prospectivo do Parque das Dunas em Natal. 2001. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

CHEN, P. Y., SRINIVASAN, R., FEDOSEJEVS, G., e NARASIMHAN, B. An automated cloud detection method for daily NOAA-14 AVHRR data for Texas, USA. International Journal of Remote Sensing, v.23, p.2939–2950, 2002

CHEVAL, S., DUMITRESCU, A. “The July urban heat island of Bucharest as derived from Modis images”, Theoretical and Applied Climatology, vol. 91, n.14, pp. 1-9; 2008.

CHENG, Way Lee; SALEEM, Ayman; SADR, Reza. Recent warming trend in the coastal region of Qatar. Theoretical and Applied Climatology, v. 128, n. 1-2, p. 193-205, 2017.

CHOW, Winston TL et al. Observing and modeling the nocturnal park cool island of an arid city: horizontal and vertical impacts. Theoretical and Applied Climatology, v. 103, n. 1-2, p. 197-211, 2011.

COINER, Jerry C.; LEVINE, Arthur L. Applications of remote sensing to urban problems. Urban Systems, v. 4, n. 3-4, p. 205-219, 1979.

CORRÊA, P. B., CANDIDO, L. A., DE SOUZA, R. A. F., ANDREOLI, RV., KAYANO, M. T.. Estudo do Fenômeno da Ilha de Calor na Cidade de Manaus/AM: Um Estudo a Partir de Dados de Sensoriamento Remoto, Modelagem e Estações Meteorológicas. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 31, n. 2, p. 167-176, 2016.

COSTA, Adênio Miguel Silva da; ROCHA, Camila Progênio. TERRITÓRIO, COMUNIDADE E USO E COBERTURA DO SOLO NA REGIÃO INSULAR DO MUNICÍPIO DE ANANINDEUA, ESTADO DO PARÁ. In: Anais do SICASA e ANPPAS Amazônia. Anais. Manaus (AM) UFAM/ANPPAS, 2016.

COSTA, Adênio Miguel Silva; BEZERRA, Paulo Eduardo Silva; OLIVEIRA, Rodrigo Silva. Análise da temperatura da superfície terrestre associada à dinâmica do uso e ocupação do solo nos municípios de Belém e Ananindeua, Pará, Brasil. Anais 6º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Cuiabá, MT, v. 22, p. 957-957, 2016.

COSTA, Antonio Carlos Lola da; MATTOS, Arthur. Variações sazonais a ilha de calor urbana na cidade de Belém-PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA. 2000.

DEOSTHALI V. 2000. Impact of rapid urban growth on heat and moisture islands in Pune city, India. *Atmospheric Environment* 34(17): 2745–2754, DOI: 10.1016/S1352-2310(99)00370-20.

DUBREUIL,V.; MONTGOBERT, M.; PLANCHON, O. Une méthode d'interpolation des températures de l'air en Bretagne : combinaison des paramètres géographiques et des mesures infrarouge NOAA-AVHRR. *Hommes et Terres du Nord*, 2002-1, pp.26-39, 2002.

DUHAN, D., PANDEY, A., GAHALAUT, K. P. S., & PANDEY, R. P. Spatial and temporal variability in maximum, minimum and mean air temperatures at Madhya Pradesh in central India. *Comptes Rendus Geoscience*, v. 345, n. 1, p. 3-21, 2013.

ÉGLER, E G. A Zona Bragantina no Estado do Pará, In: *Revista Brasileira de Geografia*, JUL-SET 1961.

EZBER, Y., SEN, O.L., KINDAP, T., KARACA, M. “Climatic effects of urbanization in Istanbul: a statistical and modeling analysis”, *International Journal Climatology*, vol. 27, pp. 667–679; 2007.

Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (FAPESPA). Estatísticas Municipais Paraenses: Ananindeua. / Diretoria de Estatística e de Tecnologia e Gestão da Informação. – Belém, 2016.

FERREIRA, N. S. de A. As pesquisas denominadas “estado da arte”. *Educação & Sociedade*, Campinas, ano XXIII, nº. 79, p. 257-272, 2002.

FISCH, Gilberto; MARENGO, José A.; NOBRE, Carlos A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. *Acta Amazônica*, v. 28, n. 2, p. 101-126, 1998.

FITZ, P.R. *Geoprocessamento sem Complicação*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FOGA, S., SCARAMUZZA, P. L., GUO, S., ZHU, Z., DILLEY, R. D., BECKMANN, T.,& LAUE, B. Cloud detection algorithm comparison and validation for operational Landsat data products. *Remote sensing of environment*, v. 194, p. 379-390, 2017.

FRANÇA, G.B. CRACKNELL, A.P. (1995). A simple cloud masking approach using NOAA AVHRR daytime data for tropical areas. *International Journal of Remote Sensing*, v.16, p.1697–1705.

FRANÇA, A. F.; TAVARES JUNIOR, J. R.; MOREIRA FILHO, J. C. C. Índices NDVI, NDWI e NDBI como ferramentas ao mapeamento temático do entorno da lagoa olho d'água, em Jaboatão dos Guararapes-PE. IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife - PE, 06- 09 de Maio de 2012, p. 001 - 009.

- FUJIBE, F., 2011, “Review: urban warming in Japanese cities and its relation to climate change monitoring”, *International Journal Climatology*, vol. 31, pp. 162–173;
- GAO, Meiling et al. Multiple timescale analysis of the urban heat island effect based on the Community Land Model: a case study of the city of Xi’an, China. *Environmental monitoring and assessment*, v. 190, n. 1, p. 8, 2018.
- GAO, Bo-Cai. NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote sensing of environment*, v. 58, n. 3, p. 257-266, 1996.
- GARCÍA, M. C. M., 1999, *Climatologia Urbana*. Edicions de la Universitat de Barcelona, Barcelona.
- GARTLAND, L. Ilhas de calor: Como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. São Paulo: Oficina de textos, 2010. 248p.
- GARUMA, Gemechu Fanta. Review of urban surface parameterizations for numerical climate models. *Urban climate*, 2017.
- GRIMMOND, C. S. B. Progress in measuring and observing the urban atmosphere. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 84, n. 1-3, p. 3-22, 2006.
- GHOBADI, Yasser et al. Assessment of spatial relationship between land surface temperature and landuse/cover retrieval from multi-temporal remote sensing data in South Karkheh Sub-basin, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, v. 8, n. 1, p. 525-537, 2015.
- GOLROUDBARY VR, ZENG Y, MANNAERTS CM, SU. Z. B. Urban impacts on air temperature and precipitation over The Netherlands. *Climate Research* 75 95-109. 2018.
- HAFNER, J., KIDDER, S. Q., 1999, “Urban heat island modeling in conjunction with satellite-derived surface/soil parameters”, *Journal of Applied Meteorology*, vol. 38, pp. 448– 465.
- HAMDI, Rafiq et al. Assessment of three dynamical urban climate downscaling methods: Brussels’s future urban heat island under an A1B emission scenario. *International Journal of Climatology*, v. 34, n. 4, p. 978-999, 2014.
- HUETE, Alfredo R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote sensing of environment*, v. 25, n. 3, p. 295-309, 1988.
- HUETE, Alfredo et al. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote sensing of environment*, v. 83, n. 1-2, p. 195-213, 2002.
- HOMAR, V., RAMIS, C., ROMERO, R., ALONSO, S., 2010, “Recent trends in temperature and precipitation over the Balearic Islands (Spain)” *Climatic Change*, vol. 98, pp.199–211;
- IMHOFF, M.L., Zhang, P., Wolfe, R.E., Bounoua, L., 2010. Remote sensing of the urban heat island effect across biomes in the continental USA. *Remote Sens. Environ.* 114,504–513.
- JAUREGUI E. 1997. Heat island development in Mexico City. *Atmospheric Environment* 31(22): 3821–3831, DOI: 10.1016/S1352- 2310(97)00136–2.
- KALNAY, Eugenia; CAI, Ming. Impact of urbanization and land-use change on climate. *Nature*, v. 423, n. 6939, p. 528,2003.

- KANDA, M., 2006, “Progress in the scale modeling of urban climate: Review”. *Theoretical Applied Climatology*, vol. 84, pp. 23–33.
- KARAM, H.A., PEREIRA FILHO, A.J., MASSON, V., NOILHAN, J., MARQUES FILHO, E.P. “Formulation of a tropical town energy budget (t-TEB) scheme”, *Theoretical Applied Climatology*, vol. 101, pp.109–120;2010.
- KUMAR, D.; SHEKHAR, S. Statistical analysis of land surface temperature-vegetation indexes relationship through thermal remote sensing. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v.121, p. 39-44, 2015.
- LANDSBERG, Helmut E. *The urban climate*. Academic press, 1981.
- LANDSBERG, H. E. (2006). *THE CLIMATE OF TOWNS*. *Revista do Departamento de Geografia*, n. 18, p. 95-111.
- LAZZARINI, Michele; MARPU, Prashanth Reddy; GHEDIRA, Hosni. Temperature-land cover interactions: The inversion of urban heat island phenomenon in desert city areas. *Remote Sensing of Environment*, v. 130, p. 136-152, 2013.
- LI, Dan; MALYSHEV, Sergey; SHEVLIAKOVA, Elena. Exploring historical and future urban climate in the Earth System Modeling framework: 1. Model development and evaluation. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, v. 8, n. 2, p. 917-935, 2016.
- LI, Tianyu; MENG, Qingmin. Um método de análise de emissividade de mistura para recuperação da temperatura da superfície terrestre urbana a partir de dados do Landsat 8. *Paisagem e Urbanismo*, v. 179, p. 63-71,2018.
- LI, J., SONG, C., CAO, L., ZHU, F., MENG, X., WU, J.. Impacts of landscape structure on surface urban heat islands: a case study of Shanghai, China. *Remote Sens. Environ.* 115, 3249–3263; 2011.
- LOMBARDO, M. A. *Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo*. Ed. HUCITEC, São Paulo, 1985, 244p.
- LUCENA, A. J. *Notas Metodológicas e Conceituais em Clima Urbano e Ilhas de Calor*. *Revista Continentes (UFRRJ)*, ano 2, n.2, 2013.
- LUCENA, A. J. *A Ilha de Calor na Região Metropolitana do Rio de Janeiro*. 2012. Tese (Doutorado) - Instituto Alberto Luiz Coimbra da COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.
- JIMÉNEZ-MUNOZ, J. C., SOBRINO, J. A., 2003, “A generalized single channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data”, *Journal of Geophysical Research*, vol. 108. n. 22, pp.2-9;
- MAIA, Filipe Manuel da Cunha. *Caracterização da ilha de calor urbano de Bragança*. 2013. Dissertação de Mestrado. Universidade de Aveiro.
- MALLICK, Javed et al. Land surface emissivity retrieval based on moisture index from LANDSAT TM satellite data over heterogeneous surfaces of Delhi city. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 19, p. 348-358, 2012.
- MASEK, J. G., VERMOTE, E. F., SALEOUS, N. E., WOLFE, R., HALL, F. G., HUENNRICH, K. F., . . . & LIM, T. K.. A Landsat surface reflectance dataset for North America, 1990-2000. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, v. 3, n. 1, p. 68-72, 2006.

MATTA, M. A. S. Fundamentos hidrogeológicos para a gestão integrada dos recursos hídricos da região de Belém/Ananindeua – Pará, Brasil. 2002. 292 p. Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Curso de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2002.

MARENCO, J. A.; NOBRE, C. Clima da região Amazônica. Tempo e Clima no Brasil, edited by: Fonseca de Albuquerque Cavalcanti, I., Ferreira, N., Justi da Silva, M., Faus da Silva Dias, M., Oficina de Textos, p. 179-212, 2009.

MENDES, Gilene Alves. Ananindeua dos Trilhos ao asfalto. Belém, 2003.

MENDONÇA, F. de A. O Clima e o planejamento urbano das cidades de porte médio e pequeno: Relações Proposições metodológicas para estudo e sua entre temperatura do ar e obstrução da aplicação à cidade de Londrina/PR. Tese (Doutorado em Geografia Física), Departamento de Geografia FFLCH/USP. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1994.

MIDDEL, Ariane; CHHETRI, Nalini; QUAY, Raymond. Urban forestry and cool roofs: Assessment of heat mitigation strategies in Phoenix residential neighborhoods. *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 14, n. 1, p. 178-186, 2015.

MIRANDA, V. F. V. V. Caracterização do balanço de energia na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) utilizando dados de sensoriamento remoto. Trabalho de Conclusão de curso em Ciências Matemáticas e da Terra - Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento. Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, 2017.

MOLION, LUIZ CARLOS BALDICERO. Climatologia Dinâmica da região Amazônica: mecanismos de precipitação. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 2, n. 1, p. 107-117, 1987.

MONTEIRO, C. A. F. A Climatologia Geográfica no Brasil e a proposta de um novo paradigma, in Lima, M. (ed), *A Construção da Climatologia Geográfica no Brasil*, 1ª ed, Alínea: Campinas – SP, 2015, pp.61-126.

MONTEIRO, C. A. de F. Teoria e Clima Urbano. São Paulo: IGEOG/USP, 1976. (Tese de Livre Docência).

MONTEIRO, C.A.F.; MENDONÇA, F. Clima Urbano. São Paulo: Contexto, 2013.

MOURA, M. O. O clima urbano de Fortaleza sob o nível do campo térmico. (Dissertação de Mestrado). Fortaleza: Programa de Pós-Graduação em Geografia/UFC, 2008. 318p.

MURPHY, D.J., HALL, M.H., HALL, C.A.S., HEISLER, G.M., STEHMAN, S.V., ANSEMI-MOLINA, C. “The relationship between land cover and the urban heat island in northwestern Puerto Rico”, *International Journal Climatology*, vol. 31, n. 8 (June), pp. 1222–1239; 2011.

NOVO, M, E M L. Utilização de dados de sensoriamento remoto em estudos ambientais. *Geografia*, v. 13, n. 25, p. 43-51, 1988.

OKE, T.R., *Boundary Layer climate*. 2 ed. Methuen, London. 1987.

OKE, T.R. “The energetic basis of the urban heat island”. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 108, 1982, pp. 1–24;

OKE, T. R.; ZEUNER, G.; JAUREGUI, E. The surface energy balance in Mexico

City. Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere, v.26, n. 4, p.433-444, 1992.

OKE, Tim R.; TAESLER, Roger; OLSSON, Lars E. The tropical urban climate experiment (TRUCE). Energy and buildings, v. 15, n. 1-2, p. 67-73, 1990.

OLESON, K.W., BONAN, G.B., FEDDEMAB, J., JACKSON, T. “An examination of urban heat island characteristics in a global climate model”, International Journal of Climatology, vol. 31, pp. 1848–1865; 2011.

OLIVEIRA, L. G. et al. Estudo da Variabilidade de índices de vegetação através de imagens do ETM +/LANDSAT . In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. Anais...Florianópolis: Instituto de Pesquisas Espaciais, 2007. P. 5995-6002.

PACHECO, N. A. et al. Boletim agrometeorológico de 2009 para Belém, PA. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2011. 39 p. (Documentos / Embrapa Amazônia Oriental, ISSN 1983-0513; 371).

PAVÃO, V.M., QUERINO, C., BENEDITTI, C., PAVÃO, L. L., QUERINO, J., MACHADO, N. G., & BIUDES, M. S. Temperatura e albedo da superfície por imagens TM Landsat 5 em diferentes usos do solo no sudoeste da Amazônia brasileira. Revista Brasileira de Climatologia, v. 16, p. 169-183, 2015.

PENTEADO, Antônio da Rocha. **Belém: Estudo de Geografia Urbana**. Belém, UFPA, 1968. 2 v. (Série José Veríssimo).

PERES, L.D.; DE LUCENA, A.; ROTUNNO FILHO, O.C.; FRANÇA, J.d. The urban heat island in Rio de Janeiro, Brazil, in the last 30 years using remote sensing data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, v. 64, p. 104-116, 2018.

PEREIRA TRINDADE, P. M. SALDANHA, D. L. PEREIRA FILHO. W. Utilização do infravermelho termal na análise espaço temporal da temperatura de superfície e ilhas de calor urbanas. Revista Brasileira de Cartografia, Rio de Janeiro, N 839 o 69/4, p. 837-855, Abr/2017.

PINHEIRO, A. LIMA, J. J. F., ROCHA DE SÁ, M. E. PARACAMPO, M. V. A questão habitacional na Região Metropolitana de Belém In Habitação social nas metrópoles brasileiras: uma avaliação das políticas habitacionais em Belém, Belo Horizonte, Porto Alegre, Recife, Rio de Janeiro e São Paulo no final do século XX / Organizador Aduino Lucio Cardoso. — Porto Alegre: ANTAC, 2007. — (Coleção Habitare).

PONZON I, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E; KUPLICH, T.M. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação, 2ª ed, Atualizada e ampliada, Oficina de Textos: São Paulo, 2012. QI, Jianguo et al. A modified soil adjusted vegetation index. Remote sensing of environment, v. 48, n. 2, p. 119-126, 1994.

QIN, Z., KARNIELI, A., BERLINER, P., 2001. A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region. International Journal of Remote Sensing, vol. 22, pp. 3719–3746.

QIU, S., He, B., ZHU, Z., LIAO, Z., & QUAN, X. Improving Fmask cloud and cloud shadow detection in mountainous area for Landsats 4–8 images. Remote Sensing of Environment, v. 199, p. 107-119, 2017.

QUAH, Anne KL; ROTH, Matthias. Variação diurna e semanal de emissões antropogênicas de calor em uma cidade tropical, Cingapura. Ambiente Atmosférico , v. 46,

p. 92-103, 2012.

REN, Guoyu; ZHOU, Yaqing. Urbanization effect on trends of extreme temperature indices of national stations over Mainland China, 1961–2008. *Journal of climate*, v. 27, n. 6, p. 2340-2360, 2014.

RIZWAN, A. M., DENNIS, Y.C., LEUNG, L. C., et al., 2008, “A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island”, *Journal of Environmental Sciences*, vol. 20, pp. 120–128;

RODRIGUES, Eliene Jaques. Banidos da Cidade e Unidos na condição: Cidade Nova; espelho da segregação social em Belém. (Dissertação de mestrado) – Universidade Federal do Pará – UFPA/NAEA, 1998. 271 p.

RODRIGUES, J. E. C. Análise das características socioambientais na cidade de Belém/Pa: um estudo da vegetação e clima urbano. 2017. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP, 2017.

ROTH, M. 2007, “Review of urban climate research in (sub) tropical regions”, *International Journal of Climatology*, vol. 27, pp. 1859–1873;

ROUSE, J.W.JR., HAAS, R.H., DEERING, D.W., SCHELL, J.A., HARLAN, J.C. Monitoring the Vernal Advancement and retrogradation (Green Wave Effect) of Natural vegetation. NASA/GSFC. Type III Final Report, Greenbelt, MD, 1974, 371p.

ROVANI, F. F. M. et al. Ilhas de calor e frescor urbanas no bairro Camobi, Santa Maria/RS, em situação atmosférica de domínio da massa polar atlântica no inverno. *Revista Brasileira de Climatologia*, Curitiba, v. 6, p.23- 36, jun. 2010.

SAJJAD, S. H., BATOOL, R., QADRI, S. T., SHIRAZI, S. A., & SHAKRULLAH, K.. The long-term variability in minimum and maximum temperature trends and heat island of Lahore city, Pakistan. *Science International*, v. 27, n. 2, p. 1321-1325, 2015

SANTOS, O. C. de O.; FERREIRA, H. A. Intensidade das chuvas no Distrito Industrial de Ananindeua, Município de Ananindeua, Estado do Pará. In: VIII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica. Alto Caparaó/MG, Anais. Agosto, 2008, p. 458.

SANTOS, T. V. Abordagens de desenvolvimento e gestão ambiental no planejamento municipal: concepções e práticas do paradigma ambiental na gestão municipal de Ananindeua (PA). *Boletim Amazônico de Geografia*, Belém, n. 1, v. 01, p. 105-123, jan./jun. 2014.

SANTOS, L. S., MARTORANO, L. G., BATALHA, S. S. A., PONTES, A. N., JÚNIOR, O. M. S., DOS SANTOS WATRIN, O., & GUTIERREZ, C. B. B.. Imagens Orbitais e Termografia Infravermelho na Avaliação da Temperatura de Superfície em Diferentes Usos e Cobertura do Solo na Floresta Nacional do Tapajós e seu Entorno, PA (Orbital images and infrared thermography to assess surface temperature in. . .). *Revista Brasileira de Geografia Física*, 2016. v. 9, n. 4, p. 1234-1253.

SHAM S. 1987. The urban heat-island – its concept and application to Kuala Lumpur. In *Urbanization and the Atmospheric Environment in the Low Tropics: Experiences from the Kelang Valley region, Malaysia*, Sham S. (ed). Penerbit Universiti Kebangsaan Malaysia: Kuala Lumpur; 242–253.

SILVA, S. B. Belém e o ambiente insular. Belém: Universidade Federal Rural da

Amazônia, 2010. 165 p.

SILVA, D. A. da. A influência das áreas verdes no clima da cidade de Manaus. Manaus: UFAM, 2009. (Dissertação de Mestrado em Geografia).

SILVA JÚNIOR, Luiz Augusto Siciliano; DELGADO, Rafael Coll; WANDERLEY, Henderson Silva. Estimativa da temperatura da superfície por sensoriamento remoto para a região da Amazônia Ocidental Brasileira (Estimation of the surface temperature by remote sensing for the region of the western Brazilian Amazon). *Revista Brasileira de Geografia Física*, 2018. v. 11, n. 1, p. 237-250.

SOBRINO, J.A., OLTRA-CARRIÓ, R., JIMÉNEZ-MUÑOZ, J.C., JULIEN, Y., SÒRIA, G., FRANCH, B., MATTA, C. “Emissivity mapping over urban areas using a classification-based approach: application to the Dual-use European Security IR Experiment (DESIREX)”, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 18, pp. 141–147; 2012.

SOFFIATTI, N. F. L. Território e paisagem na transição socioeconômica induzida no quilombo do Abacatal Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Programa de Pós-graduação em Geografia, 2014. Belém, 2014.

SOUCH, Catherine; GRIMMOND, Sue. Applied climatology: urban climate. *Progress in physical geography*, v. 30, n. 2, p. 270-279, 2006.

SOUZA, Diego Oliveira; DO NASCIMENTO, Marília Guedes; DOS SANTOS ALVALÁ, Regina Célia. Influência do Crescimento Urbano sobre o Microclima de Manaus e Belém: Um Estudo Observacional (The influence of urban growth on the microclimate of Manaus and Belém: A observational study). *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 8, n. 4, p. 1109-1124, 2016.

SOUZA, D. O; NASCIMENTO, M. G; ALVALÁ, R. C. S. Influência do Crescimento Urbano sobre o Microclima de Manaus e Belém: Um Estudo Observacional (The influence of urban growth on the microclimate of Manaus and Belém: A observational study). *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 8, n. 4, p. 1109-1124, 2016.

SOUSA, S.B.; FERREIRA, L.G. Análise da temperatura de superfície em ambientes urbanos: um estudo por meio de sensoriamento remoto no município de Goiânia, Goiás(2002-2011). *Confins* [Online], 15 2012, posto online no dia 23 Junho 2012, consultado o 18 setembro 2017. URL: <http://confins.revues.org/7631>; DOI: 10.4000/confins.7631.

SOUZA, J.D., SILVA, B.B., 2005, “Correção atmosférica para temperatura da superfície obtida com imagem TM: Landsat 5”, *Revista Brasileira de Geofísica*, vol. 23, n. 4, pp. 349-358;

SORRE, M. Objeto e método da climatologia. *Revista do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo*, Tradução de José Bueno Conti, São Paulo, n.18, p. 89-94, 2006.

STATHOPOULOU, M., CARTALIS, C. “Downscaling AVHRR land surface temperatures for improved surface urban heat island intensity estimation”, *Remote Sensing of Environment*, vol. 113, pp. 2592–2605; 2009.

STEWART, I.D. “A systematic review and scientific critique of methodology in

modern urban heat island literature”, *International Journal Climatology*, vol. 31, pp. 200–217, 2011.

STREUTKER, D. R. A remote sensing study of the urban heat island of Houston, Texas. *International Journal of Remote Sensing*, Oxford, v.85, p.282 – 289, 2003.

SUN, C.Y., BRAZEL, A.J., CHOW, W.T.L., HEDQUIST, B.C., PRASHAD, L. “Desert heat island study in winter by mobile transect and remote sensing techniques”. *Theoretical and Applied Climatology*, vol.98, pp.323–335; 2009.

TAKANE, Yuya; KUSAKA, Hiroyuki; KONDO, Hiroaki. Investigation of a recent extreme high-temperature event in the Tokyo metropolitan area using numerical simulations: the potential role of a ‘hybrid’ foehn wind. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v. 141, n. 690, p. 1857-1869, 2015.

TAHA, H., 1997, “Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat”, *Energy and Buildings*, vol. 25 pp. 99-103;

TEIXEIRA, D. C. F.; AMORIM, M. C. C. T. Ilhas de calor: representações espaciais de cidades de pequeno porte por meio de modelagem. *Geosp – Espaço e Tempo (Online)*, v. 21, n. 1, p. 239-256, mês. 2017. ISSN 2179-0892.

VAN WEVERBERG, K., DE RIDDER, K., VAN ROMPAEY, A. “Modeling the contribution of the Brussels heat island to a long temperature time series”, *Journal of applied meteorology and climatology*, vol. 47, pp. 976-990; 2007.

Vermote, E., Justice, C., Claverie, M., & Franch, B. Análise preliminar do desempenho do produto de refletância de superfície terrestre Landsat 8 / OLI. *Detecção Remota do Meio Ambiente*, 185, 46-56, 2016.

VILANI, Maricéia T.; SANCHES, Luciana. Análise de Fourier e Wavelets aplicada à temperatura do ar em diferentes tipologias de ocupação. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.* vol.17 no.12 Campina Grande Dec. 2013.

VOOGT, J. A., 2002, “Urban Heat Island, Causes and consequences of global environmental change”, *Encyclopedia of Global Environmental Change*, vol. 3, pp. 660-666.

VOOGT, J. A., OKE, T. R., 2003, “Thermal remote sensing of urban climates”, *Remote Sensing of Environment*, vol. 86, pp. 370–384;

WENG, Q.; LU, D.; SCHUBRING, J. Estimation of land surface temperature – vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, Oxford, v.89, p.467-483, 2003.

WILSON, Emily Hoffhine; SADER, Steven A. Detection of forest harvest type using multiple dates of Landsat TM imagery. *Remote Sensing of Environment*, v. 80, n. 3, p. 385-396, 2002.

WU, Hao et al. Assessing the effects of land use spatial structure on urban heat islands using HJ-1B remote sensing imagery in Wuhan, China. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 32, p. 67-78, 2014.

XU, H., 2006, Modification of normalized difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery, *International Journal of Remote Sensing*, vol. 27, pp. 3025–3033.

YAN, Hai; WU, Fan; DONG, Li. Influence of a large urban park on the local urban

thermal environment. *Science of The Total Environment*, v. 622, p. 882-891, 2018.

YOSHIKADO, H. “Interaction of the sea breeze with urban heat islands of different sizes and locations”, *Journal Meteorology Societal of Japan*, vol. 72, pp.139-143; 1994.

YU, Zhen; LI, Xilin. Recent trends in daily temperature extremes over northeastern China (1960–2011). *Quaternary International*, v. 380, p. 35-48, 2015.

ZHA, Y., GAO, J, N.I.S., 2003, “Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery”, *International Journal of Remote Sensing*, vol. 24, pp. 583–594;

ZHANG, N., GAO, Z., WANG, X., CHEN, Y. “Modeling the impact of urbanization on the local and regional climate in Yangtze River Delta, China”, *Theoretical and Applied Climatology*, vol.102, pp.331–342; 2010.

ZHAO, Lei; LEE, Xuhui; SCHULTZ, Natalie M. A wedge strategy for mitigation of urban warming in future climate scenarios. *Atmospheric Chemistry and Physics*, v. 17, n. 14, p. 9067-9080, 2017.

Endereço eletrônico

FAPESPA. A nuário 2018. Disponível em: http://www.fapespa.pa.gov.br/sistemas/anuario2018/tabelas/meioambiente/tab_4.5_areas_protegidas_km2_no_estado_do_para_e_s_eus_municipios_2014.htm, acessado dia 25/11/2018.

FURTADO, A. (2017). MAPA SETORIAL DO CONJUNTO CIDADE NOVA, ANANIDEUA, PA. Disponível em: <http://adrielsonfurtado.blogspot.com/2017/11/divisao-setorial-do-conjunto-cidade.html>, acessado em 20/11/2018.

FURTADO, A (2009). Disponível em: <http://adrielsonfurtado.blogspot.com/2013/05/inicio-das-pesquisas-sobre-ananindeua.html>. Acessado em 20/11/2018.

ISA. Área de proteção ambiental. Disponível em: <https://uc.socioambiental.org/prote%C3%A7%C3%A3o-integral/ref%C3%BAgio-de-vida-silvestre>, acessado em: 25/11/2018.

IDESP (2011) . Instituto de Desenvolvimento Econômico, Social e Ambiental do Pará. Estatística Municipal de Ananindeua. Disponível em: <http://www.idesp.pa.gov.br/pdf/EstatisticaMunicipal/pdf/Ananindeua.pdf>. Acesso em jun. 2018.

SÁ, Odilson. Foto de Ananindeua – PA. Disponível em: <https://www.tripmondo.com/brazil/para/ananindeua/ananindeua>. Acessado em 20/11/2018.

SEMAS. Unidades de Conservação. Disponível em: <https://www.semas.pa.gov.br/2014/09/18/unidades-de-conservacao-sao-bercarios-de-arvores-protegidos-por-lei/>, acessado 25/11/2018.

SKYSCRAPERCITY. Vista aérea de Ananindeua. Disponível em: <https://www.skyscrapercity.com/showthread.php?p=3815>. Acessado em 20/11/2018.5618. Acessado em 20/11/2018.

USGS. Disponível em: <https://landsat.usgs.gov/landsat-project-description>, acessado dia 14/06/018.

USGS. Disponível em: <https://Landsat.usgs.gov/how-does-Landsat-8-differ-previ>

ous-Landsatsatellites, acessado dia 14/06/018.

INMET. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/graficosClimaticos>, acessado 20/05/2018.