



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM URBANISMO
FELIPE MONTEIRO

ANÁLISE DA TEMPERATURA INTRAURBANA: simulações
computacionais para melhorias no meio urbano de Macapá - Amapá, região
equatorial do Brasil

RIO DE JANEIRO – RJ

2020

FELIPE MONTEIRO

**ANÁLISE DA TEMPERATURA INTRAURBANA: simulações
computacionais para melhorias no meio urbano de Macapá - Amapá, região
equatorial do Brasil**

Tese de Doutorado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Urbanismo (PROURB) da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro (FAU-UFRJ) como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Urbanismo.

Orientadora: Dra. Patrícia Regina Chaves Drach

RIO DE JANEIRO – RJ

2020

CIP - Catalogação na Publicação

MM775a Monteiro, Felipe
ANÁLISE DA TEMPERATURA INTRAURBANA: simulações
computacionais para melhorias no meio urbano de
Macapá - Amapá, região equatorial do Brasil /
Felipe Monteiro. -- Rio de Janeiro, 2020.
220 f.

Orientadora: Patrícia Regina Chaves Drach.
Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio
de Janeiro, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo,
Programa de Pós-Graduação em Urbanismo, 2020.

1. Microclima Urbano. 2. Índices de Conforto
Térmico. 3. Vegetação. 4. Verticalização. I. Drach,
Patrícia Regina Chaves, orient. II. Título.

FELIPE MONTEIRO

**ANÁLISE DA TEMPERATURA INTRAURBANA: simulações
computacionais para melhorias no meio urbano de Macapá - Amapá, região
equatorial do Brasil**

Tese de Doutorado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Urbanismo (PROURB) da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro (FAU-UFRJ) como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Urbanismo.

Aprovada em 22 de dezembro de 2020.



Dra. Patrícia Regina Chaves Drach, UFRJ

Dra. Denise Pinheiro Machado, UFRJ

Dra. Eliane da Silva Bessa, UFRJ

Dr. Alaan Ubaiara Brito, UNIFAP

Dr. Paulo Eduardo Darski Rocha, UERJ

Dedicado a Valentina Monteiro, Ana Júlia Pimentel, Heidy Segeti,
Sandra Monteiro (*in memoriam*) e Milca de Almeida.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida.

À família pela paciência, força e motivação.

À minha orientadora Patrícia Drach.

Ao PROURB/UFRJ.

À UNIFAP.

À CAPES.

Aos docentes e técnicos do colegiado de Engenharia Elétrica da UNIFAP

Aos discentes dos cursos de Engenharia Elétrica e Arquitetura e Urbanismo da UNIFAP.

À equipe técnica do Núcleo de Tecnologia da Informação (NTI) da UNIFAP e ao Prof. Dr. Alan Cavalcanti da Cunha no auxílio ao processamento de dados.

Ao IEPA (Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá) por meio da equipe composta pelo Dr. Jefferson Erasmo de Souza Vilhena (Pesquisador), Cláudia Funi (Pesquisadora), Francisco de Oliveira Cruz Junior (Pesquisador) e demais pesquisadores.

À MONTE & CIA por meio da Aline Monte (Diretora) e equipe técnica.

À ESTAÇÃO BELEZA e sua diretoria e equipe técnica.

Ao IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) por meio do Haroldo Canto Ferreira (Superintendente Estadual) e Wallison Oliveira da Silva (Técnico de Informática).

À Administração Igreja Universal por meio do Bruno Brito (Técnico em Informática).

À Distribuidora Doce Mel por meio do Francisco Noel Dias dos Santos (Proprietário).

À CEA (Companhia de Eletricidade do Amapá) por meio do Marco Antonio Costa Rodrigues (Diretor de Engenharia), Odílio Góes de Magalhães (Departamento de Planejamento e Expansão), Onaldo Brito da Silva (Departamento de Planejamento e Expansão) e equipe técnica.

À SECSUB (Secretaria Especial de Coordenação das Subprefeituras) da Prefeitura Municipal de Macapá por meio do Dejalma Espírito Santo Ferreira Teixeira (Secretário Municipal).

À SEMDUH (Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano e Habitacional) da Prefeitura Municipal de Macapá por meio do Luiz Otávio de Figueiredo Campos (Secretário Municipal) e Adenilson Rocha Dantas (Chefe da Divisão de Demarcação Fundiária).

À SEMAM (Secretaria Municipal do Meio Ambiente) da Prefeitura Municipal de Macapá por meio do Márcio Roberto Pimentel de Sousa (Secretário Municipal).

“A diferença entre o possível e o impossível está na vontade humana.”

(Louis Pasteur)

RESUMO

No Centro Comercial da cidade de Macapá, Estado do Amapá, situado sobre a linha do Equador, é possível sentir as variações na temperatura do ar intraurbano, resultado do adensamento e da redução da vegetação na região. Estas transformações interferem no conforto térmico e afetam o cotidiano da cidade, principalmente devido à carência de vegetação arbórea no seu entorno e às perspectivas de mudanças climáticas. O objetivo desta tese é, mediante a coleta de dados e posterior processamento em ferramentas computacionais, elaborar cenários com verticalização e introdução de vegetação com espécies arbóreas que possam influenciar no conforto ambiental do Centro Comercial. Compreender a dinâmica da temperatura do ar é um dos passos necessários para indicar medidas pontuais que vislumbrem amenizar os efeitos térmicos em ambientes externos e possam atenuar o consumo de energia elétrica nos empreendimentos comerciais, que dependem, em grande parte, dos equipamentos de climatização. Os resultados preliminares nos ambientes externos indicam uma variação de temperatura do ar de até 2,7°C no verão amazônico. Outro resultado preliminar relevante refere-se ao ambiente interno, que influenciado pelos materiais utilizados nas fachadas, apresentam variações significativas na temperatura do ar interna, com diferenças superiores a 4°C, de um empreendimento a outro. Nas medições externas houve a confecção e validação de abrigos meteorológicos de baixo custo construídos com EPS (*Expanded Polystyrene*), apresentando um desvio padrão médio de 0,09°C em relação a estação meteorológica de referência e os demais abrigos de EPS. Na composição da pesquisa é utilizado o software ENVI-met V4.4.5, que permite simular o microclima através de interações solo-vegetação-atmosfera, indicando o comportamento do perfil térmico em um perímetro específico, com base em dados climáticos locais. As respostas das entrevistas estruturadas foram utilizadas no cálculo dos índices de conforto *Physiological Equivalent Temperature* (PET) e *Universal Thermal Climate Index* (UTCI) para espaços externos. Os resultados apontaram variações importantes na temperatura do ar para os diferentes cenários simulados, principalmente a partir da introdução da vegetação, praticamente ausente nesta região da cidade. A presença da vegetação resultou na redução da temperatura do ar e de superfície do solo se mostrando também uma estratégia de rápida execução e baixo custo.

Palavras-chave: Microclima Urbano, Índices de Conforto Térmico, Vegetação, Verticalização.

ABSTRACT

At the Shopping Mall in the city of Macapá, State of Amapá, located on the Equator, it is possible to feel the intra-urban air temperature variations, as a result of the density and reduction of vegetation in the region. These transformations interfere with thermal comfort and affect the daily life of the city, mainly due to the lack of arboreal vegetation in its surroundings and climate change prospects. The objective of this thesis is, through data collection and further processing using computational tools, to elaborate scenarios with verticalization and introduction of vegetation with tree species that can influence the environmental comfort of the Shopping Mall. Understanding the dynamics of air temperature is one of the necessary steps to indicate specific measures that aim at mitigating the thermal effects in external environments and reduce the use of electricity in commercial enterprises, which depend, to a large extent, on the air conditioning equipment. Preliminary results in outdoor environments indicate an air temperature variation of up to 2.7°C in the Amazonian summer. Another relevant preliminary result refers to the internal environment, which, influenced by the materials used in the facades, presents significant variations in air temperature, with differences greater than 4°C, from one place to another. In the external surveys, low cost meteorological shelters built with EPS (Expanded Polystyrene) were made and validated, causing a standard deviation of 0.09°C in relation to the reference meteorological station and the other EPS shelters. The research uses the software ENVI-met V4.4.5, which allows simulating the microclimate through soil-vegetation-atmosphere interactions, indicating the behavior of the thermal profile in a specific perimeter, based on local climatic data. The answers of the structured interviews were used in the calculation of Physiological Equivalent Temperature (PET) e Universal Thermal Climate Index (UTCI) comfort indexes for outdoor spaces. The results showed important variations for the different simulated scenarios, mainly after the introduction of vegetation, which is practically absent in this region of the city. The presence of vegetation resulted in a reduction in air temperature and soil surface, also showing a strategy of rapid execution and low cost.

Keywords: Urban Microclimate, Thermal Comfort Indices, Vegetation, Verticalization.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 1 – Publicações em periódicos nas décadas de 2000-2009 e 2010-2019.....	6
Figura 2 – Capitania Cabo Norte doada ao português Bento Maciel Parente.....	9
Figura 3 – Planta da Vila de São José de Macapá em 1761.....	12
Figura 4 – Planta da Vila de São José de Macapá de 1764 com o projeto da Fortaleza de São José de Macapá (projeto original) que teve sua inauguração em 1782, com o Lago de Macapá isolando a fortaleza do centro urbano da vila.....	13
Figura 5 – Vista aérea da Fortaleza de São José na década de 1950 com orientação para o norte. Do projeto original, apenas o revelim a oeste teve sua construção. Ano desconhecido.....	14
Figura 6 – Usina de Força e Luz da cidade de Macapá que entrou em operação em março de 1944.....	16
Figura 7 – Prédio da antiga Intendência de Macapá, atual Museu Histórico do Amapá na década de 1940.....	17
Figura 8 – Evolução da cidade de Macapá entre 1897 e 1973.....	18
Figura 9 – Construção dos vertedouros da Usina Hidrelétrica de Coaracy Nunes (UHCN).....	20
Figura 10 – Imagem aérea do centro de Macapá entre a década de 1950 e 1960 orientada para o oeste. Ano desconhecido.....	22
Figura 11 – Imagem aérea de Macapá pós década de 1970 orientada para o oeste. Ano desconhecido.....	23
Figura 12 – Imagem aérea de Macapá em 2018 sobre o Mercado Central e orientada para o noroeste.....	24
Figura 13 – Lago de Macapá: (a) Planta de 1763 com sobreposição de planta cadastral e (b) indicação do recorte de estudo, o Centro Comercial.....	25
Figura 14 – Topografia obtido pela NASA em 2000 do centro de Macapá.....	26
Figura 15 – Componentes biofísicos e culturais que compõem o ecossistema urbano.....	30
Figura 16 – Linha histórica e projeção da população brasileira urbana e rural para o período de 1950 a 2050. (a) Relação percentual e (b) relação quantitativa entre a população urbana e rural.....	31
Figura 17 – Representação do ecossistema urbano com seu fluxo de entradas e saídas, caracterizado por metabolismo urbano.....	32
Figura 18 – Metabolismo urbano linear com altas taxas de consumo e poluição.....	33
Figura 19 – Metabolismo urbano circular minimiza novos insumos e maximizam a reciclagem.....	34
Figura 20 – Efeitos do clima na mesoescala.....	37
Figura 21 – Camada limite urbana em mesoescala. (a) domo urbano com ventos calmos e (b) pluma urbana com um fluxo de vento moderado.....	38
Figura 22 – Variação de temperatura mínima média anual de 1968 a 2019.....	44
Figura 23 – Variação de temperatura máxima média anual de 1968 a 2019.....	45
Figura 24 – Comparação entre as temperaturas médias máximas e mínimas com a precipitação de 1968 a 2019.....	46

Figura 25 – Consumo mensal de energia elétrica na cidade de Macapá para o período de 2013 a 2019.....	48
Figura 26 – Evolução da tarifa residencial B1 da CEA no período de 2009 a 2019.....	49
Figura 27 – Evolução da oferta por tipo de geração de energia elétrica entre 1990 e 2018....	50
Figura 28 – Cartas bioclimáticas desenvolvidas por Givoni (1998): (a) carta bioclimática para climas temperados e (b) carta bioclimática para regiões tropicais úmidas.....	56
Figura 29 – Imagem da Av. FAB orientada para o oeste em novembro de 2018 com as medições térmicas dos pavimentos. (a) Imagem colorida e (b) imagem térmica.....	63
Figura 30 – Delimitação da área de estudo e os pontos de medições no Centro Comercial de Macapá-AP. Imagem do dia 16/07/2020.....	65
Figura 31 – Carta de temperatura de superfície de Macapá e Santana obtidas pelo satélite LANDSAT 5 em 26/10/2006. Em destaque a área de estudo em verde.....	67
Figura 32 – NDVI de Macapá em 12/09/2019. Em destaque a área de estudo em amarelo....	68
Figura 33 – Localização geográfica das estações meteorológicas do INMET e REDEMET (Aeronáutica) em relação à área de estudo no Centro Comercial de Macapá-AP.....	70
Figura 34 – Equipamentos produzidos pela ONSET utilizados nas medições de temperatura e umidade relativa do ar no meio intraurbano, sendo: (a) HOBO MX2301 e (b) HOBO UX100-003.....	72
Figura 35 – Abrigo meteorológico do tipo Gill de baixo custo utilizando pratos de EPS. (a) Em montagem com o HOBO exposto e (b) abrigo finalizado.....	73
Figura 36 – Recurso computacional utilizado na simulação dos cenários no ENVI-met. (a) HP ProLiant DL380p Gen8 e (b) IBM System x3650 M3 em destaque.....	80
Figura 37 – Perímetro de entrevistas do P3 em frente a Caixa Econômica Federal com orientação ao Oeste e registrada no dia 29/11/2018 às 12:20 horas. (a) Imagem colorida e (b) imagem térmica.....	82
Figura 38 – Instrumentos utilizados durante as entrevistas de percepção térmica. (a) Estação meteorológica modelo Davis Vantage Vue e (b) Medidor de stress térmico modelo PROTEMP 4.....	82
Figura 39 – Instrumentos infravermelhos utilizados na medição da temperatura de superfícies. (a) Câmera Térmica FLIR ONE PRO e (b) Termômetro Infravermelho FLUKE 62 MAX+.....	83
Figura 40 – Principais modelos de pratos de EPS que compõem os abrigos meteorológicos avaliados. (a) modelo com corte acentuado; (b) modelo corte acentuado e anteparo; c) modelo com corte médio; d) modelo com corte reduzido; e e) modelo com corte reduzido e ranhuras ao tamanho do sensor.....	89
Figura 41 – Medição da temperatura de superfície dos abrigos meteorológicos experimentais com a câmera térmica FLIR ONE PRO no dia 12/10/2019 às 12:30h.....	90
Figura 42 – Medição da temperatura de superfície dos abrigos meteorológicos experimentais com o termômetro infravermelho FLUKE 62 MAX+ no dia 12/10/2019 às 12:35h. (a) modelo 1 / 34,3°C; (b) modelo 2 / 34,3°C; c) modelo 3 / 34,1°C; e d) estação Davis Vantage Vue / 37,2°C.....	91
Figura 43 – Comparação do registro da temperatura do ar entre a estação Davis e os Abrigos com os Hobos no dia 12/10/2019 entre às 12:00 e 16:10h com um intervalo de integralização de 5 minutos.....	92
Figura 44 – Desvio padrão da temperatura do ar entre a estação Davis e os Abrigos com os Hobos no dia 12/10/2019 entre às 12:00 e 16:10h. Desvio padrão máximo de 0,18°C e desvio padrão médio de 0,08°C.....	92

Figura 45 – Desvio padrão da temperatura do ar entre os Abrigos com os Hobos no dia 12/10/2019 entre às 12:00 e 16:10h. Desvio padrão máximo de 0,06°C e desvio padrão médio de 0,04°C.....	93
Figura 46 – Tempo de resposta dos abrigos (modelo 1, 2 e 3) a uma variação de temperatura do ar. Intervalo de integralização de 1 minuto.....	94
Figura 47 – Desvio padrão da temperatura do ar entre os abrigos (modelo 1, 2 e 3). Desvio padrão máximo de 0,16°C e desvio padrão médio de 0,06°C.....	94
Figura 48 – Validação dos abrigos antes de instalar no Centro Comercial tendo como referência a estação Davis. Utilização do modelo 1 e intervalo de integralização de 1 minuto.....	95
Figura 49 – Validação dos quatro abrigos meteorológicos antes da instalação no Centro Comercial em comparação a estação Davis. Utilização do modelo 1 e intervalo de integralização de 1 minuto.....	96
Figura 50 – Desvio padrão da temperatura do ar entre os quatro abrigos (modelo 1) e a estação Davis. Desvio padrão máximo de 0,12°C e desvio padrão médio de 0,09°C.....	96
Figura 51 – Recorte espacial do Centro Comercial de Macapá com os pontos de medição externo e interno. Imagem do dia 23/11/2019.....	98
Figura 52 – Empreendimentos comerciais avaliados quanto ao seu comportamento relacionando temperatura do ar interna, umidade interna e consumo de energia elétrica. (a) Loja Monte & Cia e (b) Loja Estação Beleza.....	99
Figura 53 – Equipamento instalado no ponto P1 em frente a Praça Floriano Peixoto. (a) Abrigo meteorológico de baixo custo com o <i>datalogger</i> Hobo MX2301; (b) Imagem do abrigo (destaque) orientado para o Norte; e c) Imagem do abrigo (destaque) orientado para o Sudeste.....	101
Figura 54 – Equipamento instalado no ponto P2 em frente a Sede Administrativa da Assembleia de Deus. (a) Abrigo (destaque) instalado; (b) Imagem do abrigo (destaque) orientado para o Leste; e c) Imagem do abrigo (destaque) orientado para o Sudeste.....	101
Figura 55 – Equipamento instalado no ponto P3 em frente a Caixa Econômica Federal. (a) Imagem do abrigo (destaque) orientado para o Oeste; (b) Imagem do abrigo (destaque) orientado para o Sul; e c) Imagem do abrigo (destaque) orientado para o Sudeste.....	102
Figura 56 – Equipamento instalado no ponto P4 próximo ao Supermercado Fortaleza. (a) Imagem do abrigo (destaque) orientado para o Norte; (b) Imagem do abrigo (destaque) orientado para o Sul; e c) Abrigo meteorológico (destaque).....	102
Figura 57 – Equipamento <i>datalogger</i> Hobo UX100-003 instalado no vão do pé-direito duplo da Loja Monte & Cia de frente para a entrada. (a) Vista do corredor com o <i>datalogger</i> acima e (b) <i>Datalogger</i> em destaque instalado no eletroduto aparente.....	103
Figura 58 – Equipamento <i>datalogger</i> Hobo UX100-003 instalado no centro da Loja Estação Beleza de frente para a entrada. (a) Instalado na caixa de som do primeiro piso e (b) Instalado no segundo piso.....	103
Figura 59 – Comparação das medições externas no dia 22/10/2019.....	105
Figura 60 – Comparação das medições externas no dia 25/10/2019.....	106
Figura 61 – Comparação das medições externas no dia 31/10/2019.....	106
Figura 62 – Comparação das medições externas no dia 01/11/2019.....	107
Figura 63 – Comparação das medições externas no dia 05/11/2019.....	108
Figura 64 – Comparação das medições externas no dia 07/11/2019.....	108
Figura 65 – Comparação das medições internas entre o dia 18/10 a 05/11/2019.....	110
Figura 66 – Comparação das medições internas do dia 25/10/2019.....	111

Figura 67 – Comparação das medições internas entre os dias 01 a 04/11/2019.....	112
Figura 68 – Temperatura do ar externa e interna às 15:00h local do dia 05/11/2019.....	113
Figura 69 – Modelo tridimensional do Cenário 1(ambiente real) no <i>Spaces</i>	114
Figura 70 – Modelo tridimensional do Cenário 2, sendo o ambiente real com a introdução de vegetação arbórea, telhados verdes e jardins verticais.....	115
Figura 71 – Modelo tridimensional do Cenário 3 com a presença da verticalização.....	116
Figura 72 – Modelo tridimensional do Cenário 4 com a introdução de apenas espécies arbóreas no ambiente real modelado no Cenário 1.....	117
Figura 73 – Temperatura e fluxo do ar a 1,5m de altura às 9:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 1 (ambiente real) e (b) Cenário 2 (vegetação arbórea, telhado verde e jardins verticais).....	119
Figura 74 – Temperatura e fluxo do ar a 1,5m de altura às 9:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 3 (verticalização) e (b) Cenário 4 (vegetação arbórea).....	120
Figura 75 – Temperatura e fluxo do ar a 1,5m de altura às 12:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 1 (ambiente real) e (b) Cenário 2 (vegetação arbórea, telhado verde e jardins verticais).....	122
Figura 76 – Temperatura e fluxo do ar a 1,5m de altura às 12:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 3 (verticalização) e (b) Cenário 4 (vegetação arbórea).....	123
Figura 77 – Temperatura e fluxo do ar a 1,5m de altura às 15:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 1 (ambiente real) e (b) Cenário 2 (vegetação arbórea, telhado verde e jardins verticais).....	124
Figura 78 – Temperatura e fluxo do ar a 1,5m de altura às 15:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 3 (verticalização) e (b) Cenário 4 (vegetação arbórea).....	125
Figura 79 – Gabarito do Cenário 3 (verticalização) com os cortes transversais (XZ).....	126
Figura 80 – Corte transversal XZ para os cenários 1, 2, 3 e 4 às 15:00 do dia 01/11/2019. (a) Secção XZ57 e (b) Secção XZ127.....	127
Figura 81 – Corte transversal secção XZ221 para os cenários 1, 2, 3 e 4 às 15:00 do dia 01/11/2019.....	128
Figura 82 – Corte transversal XZ para os cenários 1, 2, 3 e 4 às 15:00 do dia 01/11/2019. (a) Secção XZ267 e (b) Secção XZ301.....	129
Figura 83 – Temperatura média radiante a 1,5m de altura às 9:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 1 (ambiente real) e (b) Cenário 2 (vegetação arbórea, telhado verde e jardins verticais).....	131
Figura 84 – Temperatura média radiante a 1,5m de altura às 9:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 3 (verticalização) e (b) Cenário 4 (vegetação arbórea).....	132
Figura 85 – Temperatura média radiante a 1,5m de altura às 12:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 1 (ambiente real) e (b) Cenário 2 (vegetação arbórea, telhado verde e jardins verticais).....	133
Figura 86 – Temperatura média radiante a 1,5m de altura às 12:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 3 (verticalização) e (b) Cenário 4 (vegetação arbórea).....	134
Figura 87 – Temperatura média radiante a 1,5m de altura às 15:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 1 (ambiente real) e (b) Cenário 2 (vegetação arbórea, telhado verde e jardins verticais).....	135
Figura 88 – Temperatura média radiante a 1,5m de altura às 15:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 3 (verticalização) e (b) Cenário 4 (vegetação arbórea).....	136
Figura 89 – Temperatura de superfície às 12:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 1 (ambiente real) e (b) Cenário 2 (vegetação arbórea, telhado verde e jardins verticais).....	138
Figura 90 – Temperatura de superfície às 12:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 3 (verticalização) e (b) Cenário 4 (vegetação arbórea).....	139

Figura 91 – Temperatura de superfície às 15:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 1 (ambiente real) e (b) Cenário 2 (vegetação arbórea, telhado verde e jardins verticais).....	140
Figura 92 – Temperatura de superfície às 15:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 3 (verticalização) e (b) Cenário 4 (vegetação arbórea).....	141
Figura 93 – Fator de visão de céu do Centro Comercial. (a) Cenário 1 (ambiente real) e (b) Cenário 2 (vegetação arbórea, telhado verde e jardins verticais).....	143
Figura 94 – Fator de visão de céu do Centro Comercial. (a) Cenário 3 (verticalização) e (b) Cenário 4 (vegetação arbórea).....	144
Figura 95 – Índice PET às 9:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 1 (ambiente real) e (b) Cenário 2 (vegetação arbórea, telhado verde e jardins verticais).....	146
Figura 96 – Índice PET às 9:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 3 (verticalização) e (b) Cenário 4 (vegetação arbórea).....	147
Figura 97 – Índice PET às 12:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 1 (ambiente real) e (b) Cenário 2 (vegetação arbórea, telhado verde e jardins verticais).....	148
Figura 98 – Índice PET às 12:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 3 (verticalização) e (b) Cenário 4 (vegetação arbórea).....	149
Figura 99 – Índice PET às 15:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 1 (ambiente real) e (b) Cenário 2 (vegetação arbórea, telhado verde e jardins verticais).....	150
Figura 100 – Índice PET às 15:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 3 (verticalização) e (b) Cenário 4 (vegetação arbórea).....	151
Figura 101 – Índice UTCI às 9:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 1 (ambiente real) e (b) Cenário 2 (vegetação arbórea, telhado verde e jardins verticais).....	152
Figura 102 – Índice UTCI às 9:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 3 (verticalização) e (b) Cenário 4 (vegetação arbórea).....	153
Figura 103 – Índice UTCI às 12:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 1 (ambiente real) e (b) Cenário 2 (vegetação arbórea, telhado verde e jardins verticais).....	154
Figura 104 – Índice UTCI às 12:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 3 (verticalização) e (b) Cenário 4 (vegetação arbórea).....	155
Figura 105 – Índice UTCI às 15:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 1 (ambiente real) e (b) Cenário 2 (vegetação arbórea, telhado verde e jardins verticais).....	156
Figura 106 – Índice UTCI às 15:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 3 (verticalização) e (b) Cenário 4 (vegetação arbórea).....	157
Figura 107 – Entrevistas realizadas no entorno da Caixa Econômica Federal. (a) Imagem colorida e (b) imagem térmica.....	158
Figura 108 – Estação Davis Vantage Vue e Medidos de Estresse Térmico PROTEMP 4 instalados no ponto P3 para as entrevistas. (a) Entrevista em curso e (b) Registrando valores.....	159
Figura 109 – Instalação do analisador de energia elétrica IMS pela equipe da CEA na Loja Monte & Cia. (a) Técnico instalando o equipamento e (b) Instalação finalizada.....	160
Figura 110 – Instalação do analisador de energia elétrica IMS pela equipe da CEA na Loja Estação Beleza. (a) Técnico instalando o equipamento e (b) Técnico finalizando a instalação.....	160
Figura 111 – Potência aparente e tensão média da Loja Monte & Cia no período do dia 21/10 a 24/10/2019.....	161
Figura 112 – Potência aparente e tensão média da Loja Monte & Cia no 24/10/2019.....	161
Figura 113 – Potência aparente e tensão média da Loja Estação Beleza no período do dia 21/10 a 01/11/2019.....	162

Figura 114 – Potência aparente e tensão média da Loja Estação Beleza nos dias 24 e 25/10/2019.....	163
Figura 115 – Comparação entre as potências aparentes das lojas Monte e Estação Beleza nos dias 21 a 24/10/2019.....	163
Figura 116 – Manutenção na EMA do INMET no dia 08/02/2019.....	185
Figura 117 – Avaliação da EMA no dia 17/09/2019.....	187
Figura 118 – Retirada de ninho de vespa e reposicionamento do sensor ultrassônico do EMA no dia 17/09/2019.....	188
Figura 119 – Limpeza e configuração dos servidores HP ProLiant DL380p Gen8 e IBM System x3650 M3 realizado no dia 18/12/2019.....	189
Figura 120 – Instalação de banco de baterias nos servidores realizado no dia 18/02/2020... 191	191
Figura 121 – Reconfiguração do IBM System x3650 realizado no dia 02/06/2020.....	191
Figura 122 – Abrigos meteorológicos usados na pesquisa de campo. (a) Antes da instalação no dia 18/10/2019 e (b) Após sua retirada no dia 18/11/2019.....	192
Figura 123 – Desmontagem do abrigo instalado no P1 – Praça Floriano Peixoto.....	193
Figura 124 – Desmontagem do abrigo instalado no P2 – Sede Administrativa da Assembleia de Deus.....	194
Figura 125 – Desmontagem do abrigo instalado no P3 – Caixa Econômica Federal.....	195
Figura 126 – Desmontagem do abrigo instalado no P4 – Supermercado Fortaleza.....	196
Figura 127 – Abrigos abertos e ao lado dos sensores empregados. (a) Sensores posicionados sobre os pratos de EPS dos abrigos; (b) Somente os sensores posicionados próximos; e c) Corte internos dos abrigos.....	197
Figura 128 – Pratos de EPS utilizados na camada com seus cortes internos expostos. (a) Corte interno do P2; (b) Corte interno do P3, sendo o modelo 1 original da validação; c) Corte interno do P1; e d) Corte interno do P4 com uma pequena ranhura lateral no prato superior da camada.....	198

TABELAS

Tabela 1 – Publicações por tópicos em periódicos nas décadas de 2000-2009 e 2010-2019..	6
Tabela 2 – Crescimento populacional no município de Macapá -AP entre 1890 e 2020.....	21
Tabela 3 – Recorde nas temperaturas máximas na estação convencional do INMET.....	45
Tabela 4 – Categorias de conforto térmico e estresse térmicos para PET e UTCI definidas por Matzarakis e Mayer (1997) e Bröde et al. (2012), respectivamente.....	61
Tabela 5 – Valores mensais de τ_b e τ_d para Macapá – AP (WMO: 82098).....	78
Tabela 6 – Especificações técnicas dos servidores empregados na simulação dos cenários no ENVI-met.....	80
Tabela 7 – Custo financeiro dos equipamentos e software aplicados.....	86
Tabela 8 – Custo financeiro local e materiais empregados no abrigo meteorológico.....	97
Tabela 9 – Série estatística dos Hobos MX2301.....	109
Tabela 10 – Série estatística dos Hobos UX100-003.....	112
Tabela 11 – Consumo de energia elétrica em elevadores.....	168

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	1
1.1 INTRODUÇÃO AO TEMA.....	1
1.2 HIPÓTESE E OBJETIVOS.....	3
1.3 JUSTIFICATIVA.....	5
1.4 ESTRUTURA DA TESE.....	7
CAPÍTULO 1 - CONTEXTO HISTÓRICO E URBANÍSTICO DA CIDADE DE MACAPÁ	9
CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	28
2.1 METABOLISMO URBANO.....	28
2.2 CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA E DA ENERGIA NA CIDADE DE MACAPÁ	43
2.3 CONFORTO TÉRMICO E OS ÍNDICES DE CONFORTO.....	53
CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA.....	64
3.1 PESQUISA DE CAMPO: COLETA DE DADOS CLIMÁTICOS E APLICAÇÃO DE QUESTIONÁRIO.....	69
3.2 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL.....	73
3.3 SENSAÇÃO TÉRMICA.....	81
CAPÍTULO 4 – ESTUDO DE CASO: CENTRO COMERCIAL DE MACAPÁ.....	87
4.1 VALIDAÇÃO DO ABRIGO METEOROLÓGICO.....	87
4.2 MEDIÇÕES EXTERNAS E INTERNAS.....	97
4.3 RESULTADOS DO ENVI-MET.....	114
4.4 RESULTADOS DOS QUESTIONÁRIOS.....	158
4.5 CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	159
CAPÍTULO 5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	165
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	169
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	172
APÊNDICE A.....	185
APÊNDICE B.....	199
APÊNDICE C.....	200
APÊNDICE D.....	202
APÊNDICE E.....	203
APÊNDICE F.....	204

INTRODUÇÃO

1.1 INTRODUÇÃO AO TEMA

A presente tese analisa o potencial de intervenções no Centro Comercial de Macapá, Estado do Amapá, a partir da construção de possíveis cenários e da observação das variáveis climáticas e dos índices de conforto. Estes estudos, usualmente estão presentes nas regiões temperadas, principalmente no hemisfério norte, de onde parte a base destes estudos com os irmãos Aladar e Viktor Olgyay (1963) com as primeiras cartas bioclimáticas. Estes são seguidos dos estudos de Givoni (1969) com a “carta bioclimática de construções”, que correlaciona às variáveis temperatura de bulbo seco e úmido, umidade relativa e razão de umidade, os aspectos da arquitetura definindo a partir de uma zona de conforto.

Os estudos acerca da sensação térmica também surgem nas regiões temperadas e com foco na produtividade de operários da indústria (ASHARE, 1916). Neste estudo, desenvolvido durante o ano de 1916, havia interesse em avaliar os sistemas de climatização, mas também a refrigeração de alimentos, havendo o cálculo de quanto um empregado médio teria de trabalhar para se pagar por um refrigerador, resultando em 3.162 horas.

Com o desenvolvimento dos índices de conforto passa a ser possível representar a sensação térmica. O Voto Médio Predito (PMV, do inglês *Predicted Mean Vote*) desenvolvido por Fanger (1972) consegue prever o valor médio de um grande grupo de pessoas, segundo a escala de sensações de 7 pontos. Foi criado através de análises estatísticas de acordo com resultados obtidos por estudos em câmaras climatizadas.

No caso da determinação de sensação térmica de usuários em espaços abertos foram adotados, nesta tese, os índices de Temperatura Fisiológica Equivalente (PET, do inglês *Physiological Equivalent Temperature*) e o Índice Termoclimático Universal (UTCI, do inglês *Universal Thermal Climate Index*). Entretanto sua utilização para análises da sensação térmica no espaço aberto (BARBOSA, DRACH, CORBELLA, 2019; KRÜGER e DRACH, 2017; KRÜGER e DRACH, 2016; ROSSI, KRÜGER e BRÖDE, 2012; MONTEIRO e ALUCCI, 2012; NINCE *et al.*, 2013), não incorporam, ainda, as regiões de clima equatorial e, avançam lentamente para as regiões mais quentes do Brasil.

O entendimento das particularidades do clima local é fator fundamental para o desenvolvimento de espaço de qualidade nas cidades. Nesta pesquisa busca-se analisar

configurações do meio urbano e as tipologias das edificações capazes de alterar a qualidade ambiental de uma cidade localizada em clima equatorial.

As mudanças mais relevantes na cidade de Macapá vêm ocorrendo nas últimas décadas e orientá-las por meio da pesquisa de cunho técnico a seguir o caminho do conforto térmico e racional, é fundamental para o bem-estar do cidadão. Um dos itens que requer atenção é a ventilação da cidade, a importância de manter uma permeabilidade na malha urbana que promova a circulação do ar para o interior da cidade sem perder grandes amplitudes, variável de relevância nos cálculos dos índices de conforto.

Barbosa *et al.* (2011) avaliaram as séries históricas de 44 anos do INMET em Belém, capital do Estado do Pará e vizinha do Estado do Amapá, que indicaram a elevação da temperatura mínima com anomalias acentuadas a partir de 1995. A conclusão esteve relacionada à verticalização urbana, em 93% das anomalias registradas. Principalmente nos bairros com a verticalização alta e adensada. Havendo a necessidade de estratégias de mitigação das ilhas de calor.

A verticalização na cidade de Belém é acentuada em bairros históricos ou no seu entorno, localizados próximos da orla, similar ao que vem se iniciando na cidade de Macapá. Nesse contexto, alguns trabalhos vêm estudando seus impactos na velocidade do vento e, conseqüentemente, na pluma de calor ou ilhas de calor que podem se formar afetando o conforto térmico (BELTRÃO e PORTO, 2011; SILVA *et al.*, 2011; SANTOS, 2012; ALMEIDA, 2017; PENA, 2019; SILVA e PENA, 2020).

O emprego da vegetação é um importante elemento regulador no equilíbrio da temperatura local, juntamente com as áreas de ressacas¹ que promovem um sistema de drenagem natural pelo Rio Amazonas e impede que a cidade fique submersa, tendo em vista que o volume de precipitação médio anual (1990-2019) esteve em 2.521,91mm (INMET, 2020), em comparação a região metropolitana do Rio de Janeiro que obteve uma média anual (1979-2009) de 1.570,62 mm (SOBRAL *et al.*, 2018). Junior e Silva (2019) vêm estudando a importância das áreas verdes no conforto térmico em um clima quente e úmido, como o caso de Macapá. Além de ser um tema exaustivamente debatido é comprovada sua eficácia nos índices de conforto e na redução do consumo de energia elétrica (PAULA, 2004; SHAMS,

¹ Ressacas são áreas úmidas influenciadas pelo regime hídrico das marés e pela sazonalidade das chuvas que formam grandes lagos com uma fauna e flora singular. Também funcionam como corredor natural de vento, amenizando o desconforto térmico do microclima urbano (IEPA, 2004).

GIACOMELI, SUCOMINE, 2009; LIMA NETO e SOUZA, 2009; SANTOS, 2010; LABAKI, 2011; SHINZATO, 2009, 2014 e 2018; DRACH e BARBOSA, 2016).

A ausência ou carência de vegetação nos centros urbanos, soma-se a necessidade de avaliar os impactos no sistema elétrico da expansão urbana. Este processo interfere na necessidade de ampliação da malha de distribuição, transmissão e geração de energia elétrica, que em muitos casos torna-se necessário recorrer a fontes de energia poluentes. A urbanização também responde diretamente pela demanda de energia elétrica, uma vez que, contribui diretamente com a inserção de novos consumidores e conseqüentemente, aumento desta demanda. As características construtivas são capazes de influenciar na demanda de energia elétrica, pois a eficiência energética da edificação contribui na redução do consumo de energia elétrica. Edificações energeticamente eficientes demandam menos energia do que edificações convencionais, reduzindo impactos no sistema elétrico. A avaliação de sua forma e disposição em relação ao meio urbano associada à implementação de estratégias que promovam a redução da temperatura do ar contribui para redução do impacto destas ocupações no meio ambiente e seu entorno. O IPCC (2018) alerta aos perigos das mudanças climáticas e estipula metas a serem cumpridas para nos mantermos dentro dos limites aceitáveis, com orientações tanto no sistema urbano quanto na matriz de energia elétrica.

Através de ações pontuais no meio urbano, que contribuem para redução do consumo de energia e para a criação de espaços mais confortáveis, com sombreamento e ventilação, é possível atuar na direção de atender alguns dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS indicados na Agenda 2030 da ONU (UN, Agenda 2030).

Em pesquisas relacionadas à dinâmica da temperatura do ar em relação ao coeficiente de ocupação, aproveitamento e vegetação urbana, observa-se em simulações e medições que o coeficiente de vegetação urbana é que apresenta a maior influência térmica, seguido pelo coeficiente de aproveitamento que tem relação com a verticalização (VASCONCELOS e SOUZA, 2017; MOREIRA, 2020).

1.2 HIPÓTESE E OBJETIVOS

A tese aborda a problemática de melhorar o conforto térmico ambiental em uma área do setor comercial propícia a verticalização no centro de Macapá-AP, que possui uma forte dependência do sistema de climatização, estando nas proximidades da linha do equador, foz do rio Amazonas e com clima quente e úmido.

A hipótese é que vegetação arbórea, jardins suspensos e telhados verdes possam amenizar a temperatura externa ao nível do pedestre e diminuir a parcela de radiação solar direta e indireta que atingem as fachadas dos empreendimentos comerciais, tendo em vista que em sua maioria são de 2 pavimentos (6 a 8 metros de altura). Desta forma, a quantidade de calor transferida para o interior dos pontos comerciais seja menor, conseqüentemente, menor consumo de energia elétrica utilizada na climatização, o que corresponde entre 70 a 50% do consumo total, dependendo do segmento comercial.

O objetivo desta tese está vinculado ao entendimento da dinâmica da temperatura no Centro Comercial de Macapá por meio de simulações computacionais que permitam dar embasamento às sugestões de alternativas que melhorem o conforto ambiental. De modo subjetivo, a consulta do ponto de vista do transeunte deverá ser levada em consideração no aspecto do conforto térmico.

Como objetivos secundários podem ser apontados:

- Desenvolver o perfil climatológico da região compreendendo suas sazonalidades;
- Analisar a temperatura do ar e umidade relativa no interior dos empreendimentos comerciais;
- Avaliar o conforto térmico dos transeuntes nos espaços públicos;
- Desenvolver cenários para simulação computacional no ENVI-met V4.4.5 (BRUSE, 2020), com base na legislação vigente, permitindo realizar modificações no espaço construído (vegetação, telhados verdes, jardins verticais, verticalização e outros);
- Construir abrigo meteorológicos de baixo custo para os equipamentos de medição e efetuar sua validação. Indicar o seu desenvolvimento e fornecer meios para sua replicação.

Em aspectos gerais, é analisado o perfil térmico de uma determinada área no Centro Comercial por meio de simulações computacionais, alimentados com dados coletados em campo e obtidos através do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. Entender a dinâmica da temperatura do ar no Centro Comercial permite estimar as variações térmicas intraurbanas anuais percebido ao nível do pedestre, presumindo a sensação térmica e sua contribuição no consumo de energia elétrica relacionado a climatização.

Por fim, pretende-se indicar ações nos espaços abertos que valorize o conforto térmico externo e a mobilidade na área analisada, estimulando a relação social e o uso de transportes alternativos, sendo que a área comercial possui pontos turísticos e sofre com o fluxo intenso de veículos e falta de espaço para comportá-los.

1.3 JUSTIFICATIVA

A importância desta pesquisa está relacionada ao entendimento de como a configuração do meio urbano e a tipologia das edificações alteraram a qualidade ambiental de uma cidade localizada em clima equatorial.

Estudos desse tipo existem em profusão nas regiões temperadas do planeta, entretanto em regiões de clima equatorial estes são escassos. Foi efetuada uma busca no Portal de Periódicos da CAPES, incluindo bases de dados internacionais envolvendo as coleções OneFile (GALE), Science Citation Index Expanded (Web of Science), Scopus (Elsevier) e ScienceDirect (Elsevier) com os termos de busca “*thermal comfort and equatorial climate*” e “*thermal comfort and tropical climate*”. Os resultados foram separados e agrupados para os períodos de 2000-2009 e 2010-2019 para possibilitar o entendimento do crescimento do número de publicações envolvendo este tema por décadas.

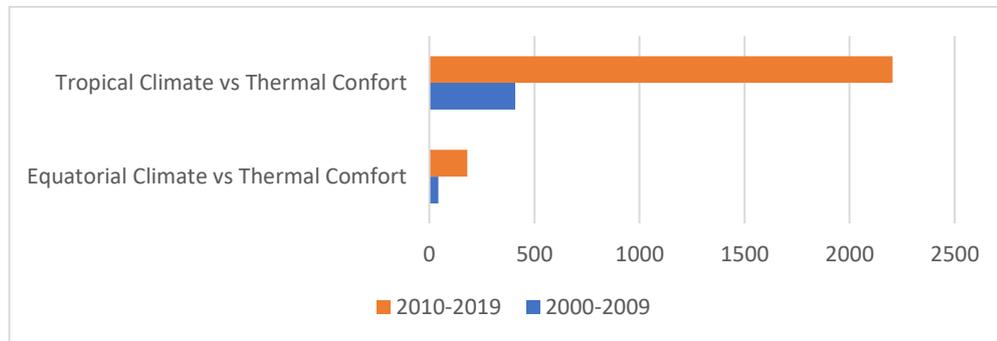
Na Tabela 1 é possível observar o crescimento das publicações por tópico de interesse, cabendo ressaltar que estes foram os mais expressivos em número de publicação. Na imagem da Figura 1 estão os valores totais encontrados nas bases consultadas sendo: 181 publicações com os termos de busca “*thermal comfort and equatorial climate*” e 2204 com os termos “*thermal comfort and tropical climate*”. A escassez de pesquisas para esta região é intrigante, uma vez que as regiões Equatoriais são populosas e abrangem países da África, América do Sul e Sudeste Asiático como Malásia e Indonésia. A grande maioria dos artigos encontrados estão relacionados à Malásia e no caso do norte do Brasil as pesquisas são quase inexistentes.

Esta é uma lacuna importante a ser preenchida uma vez que é possível observar que, muitas vezes, estratégias de baixo custo financeiro e ambiental podem ser propostas visando mitigar o desconforto observado pelos usuários dos espaços nessas regiões e oferecer áreas de qualidade em termos ambientais.

Tabela 1 – Publicações por tópicos em periódicos nas décadas de 2000-2009 e 2010-2019.

Palavras-chave	Tópico	2000-2009	2010-2019
Equatorial Climate vs conforto térmico	Engineering	26	54
	Climate	13	36
	Temperature	6	34
	Climate Change	8	32
Tropical Climate vs conforto térmico	Engineering	146	745
	Climate	201	337
	Temperature	73	429
	Climate Change	62	396

Fonte: CAPES (2020).

Figura 1 – Publicações em periódicos nas décadas de 2000-2009 e 2010-2019.

Fonte: CAPES (2020).

A importância desse estudo, especificamente para a cidade de Macapá, é o fato de que o Centro Comercial de Macapá, importante área da cidade tanto pelo seu contexto histórico na formação da região quanto pelo valor financeiro de seus imóveis encontra-se com uma escassez de espécies arbóreas, indicando que esta poderia ser uma forma de intervenção importante. Esse fato é interessante pois a cidade está localizada nas proximidades de uma floresta tropical, portanto, circundada por vegetação, e pelas áreas de ressaca, que são mananciais de reprodução de fauna e flora locais. O constante processo de aterramento utilizado para expansão do núcleo urbano contribui ainda mais para a elevação da temperatura. Simular cenários que indiquem esta relação da alteração do microclima, com a retiradas do solo natural e introdução de materiais artificiais pode auxiliar no entendimento da importância de preservar estes espaços e buscar estratégias que conciliem a necessidade de expansão da cidade e a preservação de seus microclimas.

1.4 ESTRUTURA DA TESE

Este trabalho é distribuído ao longo de seis capítulos, além da introdução e das considerações finais. Para entendimento de sua organização é apresentada uma breve explicação do que é tratado em cada um dos capítulos. Assim a estrutura da tese está estabelecida da seguinte forma:

No Capítulo 1 é apresentado o contexto histórico e urbanístico da cidade de Macapá, Amapá, para apresentar ao leitor um breve panorama da região a ser trabalhada, falando de sua evolução ao longo dos séculos e sua importância na conquista da Amazônia, pois sempre foi sua porta de entrada.

O Capítulo 2 objetiva apresentar e abordar os conceitos relacionados a três subitens, a saber: 2.1 Metabolismo Urbano, no qual serão discutidos os insumos para manutenção da cidade e seus rejeitos e resíduos, com a indicação de um metabolismo circular capaz de reduzir não apenas a saída, bem como propor insumos sustentáveis; 2.2 Caracterização do clima e da energia na cidade de Macapá, além de tratar da classificação global do clima da região, este tópico detalha as particularidades climáticas locais, fazendo também uma breve explanação do contexto energético da cidade e o 2.3 Conforto térmico e os índices de conforto que traz os conceitos relacionados ao conforto térmico e sua evolução com as Cartas Bioclimáticas das Construções, que estabelecem estratégias a serem aplicadas nas edificações. Ainda são apresentados também os índices de conforto térmico tanto para espaços fechados quanto abertos.

A Metodologia, apresentada no Capítulo 3, também se encontra detalhada em três subitens, por se tratar de uma pesquisa composta de diferentes etapas. Desta forma este capítulo aborda no subitem 3.1 Pesquisa de campo: coleta de dados climáticos e aplicação de questionário das questões relacionadas ao trabalho de campo. Neste subitem é, ainda, apresentado o abrigo meteorológico de baixo custo, desenvolvido nesta tese, utilizando pratos de EPS (do inglês, *Expanded Polystyrene*). O subitem 3.2 Simulação computacional objetiva traçar um panorama do processo de simulação e das atividades desenvolvidas tanto para geração dos arquivos de entrada para as simulações quanto da construção dos cenários para os experimentos computacionais. A sensação térmica é tratada no subitem 3.3 com os índices de conforto.

No Capítulo 4 é apresentado o estudo do Centro Comercial de Macapá, Amapá, modelado no ENVI-met, e resultados da carga de energia elétrica de dois empreendimentos

comerciais. São apresentados quatro cenários com alterações em relação à vegetação e ao processo de verticalização que a cidade vem sofrendo. As propostas dos cenários procuram atender aos fatores existentes que possam torná-las exequíveis. Os resultados para as simulações dos cenários são apresentados e discutidos no Capítulo 5 “Resultados e Discussões”.

Em Considerações finais alguns resultados são pontuados e são apontadas perspectivas futuras envolvendo os resultados desta tese bem simulações de cenários que não foram desenvolvidas.

CAPÍTULO 1 - CONTEXTO HISTÓRICO E URBANÍSTICO DA CIDADE DE MACAPÁ

O território da atual cidade de Macapá pertenceu inicialmente à Espanha, com o Tratado de Tordesilhas assinado em 1494 entre Portugal e Espanha, fazendo parte das “terras afogadas”, termo utilizado por Vicente Pinzón, referindo-se à região entre a foz do Rio Amazonas e o Cabo Orange. Em 1544, O Rei Carlos I (o mesmo Karl V, Carlos V, do Sacro Império Romano – 1519 a 1556) concedeu a Francisco Orellana o direito de explorar e povoar as terras da costa do rio-mar, que se estendia da foz do Rio Amazonas à Guiana, sob a denominação de *Adelantado de Nueva Andaluzia*. No entanto, devido ao naufrágio de 2 naus da esquadra composta por 4 navios, atreladas às dificuldades de instalação, as terras permaneceram sem a ocupação europeia (REIS, 1949; SARNEY & COSTA, 2002).

No período da União Ibérica, entre 1578 e 1640, as coroas espanholas e portuguesas estiveram unidas, desta forma, as terras do novo mundo passaram a ter a mesma administração. Em 1637, o Rei Felipe IV (em Portugal Felipe III) doou a Capitania do Cabo Norte, terras entre a foz do Rio Amazonas e o Cabo Norte, limitado a Oeste pelo Rio Paru (Figura 2), ao português Bento Maciel Parente, na tentativa de conter os constantes avanços por parte dos ingleses, holandeses e franceses que utilizavam a região para abastecer o comércio europeu com urucu, óleos, goma, peixe-boi e outros.

Figura 2 – Capitania Cabo Norte doada ao português Bento Maciel Parente.



Fonte: Santos (2001).

A doação ocorreu após a expulsão dos ingleses que haviam construído o Forte do Camaú ao sul da atual cidade de Macapá, precisamente na Ilha de Santana. Entretanto, a nova tentativa de povoar as “terras alagadas” não se sucedeu em decorrência da prisão (1641) e posterior morte (1642) de Bento Maciel Parente na invasão holandesa ao Estado do Maranhão. Seu sucessor foi seu filho, de mesmo nome, que pouco se ocupou em promover a capitania. Em sua morte, ocorreu a sucessão de Vital Maciel Parente, que sem deixar herdeiros, retornou a posse a coroa portuguesa, pois nesse período a União Ibérica havia chegado ao fim e a Coroa de Portugal reivindicado a supremacia por tais territórios (ALMEIDA, 1868; REIS, 1949).

Essa posição era, portanto, particular em relação à atuação da coroa, uma vez que estas terras situadas acima da margem norte do Rio Amazonas, identificadas como Terras do Cabo do Norte estavam envolvidas em processos de disputa (ARAÚJO, 1998).

A cidade de Macapá teve origem em 1738 com um destacamento militar em decorrência das violações do Tratado de Utrecht, assinado em 1713, que estabelecia o rio Oiapoque como limite entre o Brasil e a Guiana Francesa. Entretanto, corsários franceses efetuavam constantes incursões a colônia portuguesa, sendo necessário assegurar o domínio estabelecendo o povoamento e fortificação da foz do rio Amazonas. A dificuldade de uma ocupação permanente decorrente do rigoroso clima e a hostilidade da costa, dificultava os planos de permanência dos colonos.

Em 1751, o Governador do Estado do Grão-Pará e Maranhão, Francisco Xavier de Mendonça Furtado, irmão do Marquês de Pombal, ficou incumbido de estabelecer povoações que seriam os elementos primordiais, capazes de estabelecer uma vida organizacional e permanente, no qual, sem o povoamento não seria possível realizar o projeto de fixar a soberania luso-brasileira. No final do mesmo ano foram encaminhados os primeiros 302 colonos oriundos de Açores e um clérigo. Em janeiro de 1752, seguiram os últimos 486 açorianos (SARNEY & COSTA, 2002).

Araújo (1998) aponta que as condicionantes históricas do século XVI foram determinantes na maneira como a engenharia militar foi associada ao urbanismo. As conquistas ultramarinas envolveram, portanto, a permanente demanda dos “engenheiros fortificadores” na produção urbana, uma vez que, a implantação das fortificações pressupunha a instalação de núcleos urbanos (ARAÚJO, 1998). Este processo que associava a presença da cidade e a da fortificação era repetido nas localidades da Coroa Portuguesa, nos diversos continentes,

legitimando a soberania portuguesa. Para Araújo (1998) ele precede o paradigma do início do "urbanismo de expansão portuguesa".

Cabe ressaltar que a implantação dos núcleos urbanos de Belém e São Luís não é capaz de resumir o quadro geral da colonização da Amazônia nos primeiros anos. Este domínio territorial percorreu os séculos XVI, XVII e XVIII. A implantação do conjunto em Macapá ocorreu no século XVIII, entretanto Araújo (1998) indica que este processo não foi interrompido necessariamente no século XVIII, pois este "insere-se inequivocamente em plena Modernidade" (ARAÚJO, 1998).

A ação urbanizadora realizada em Macapá replicou o mesmo tipo de ocupação usualmente desenvolvido na região, concentrando a implantação urbana na zona costeira com a Fortaleza em localização estratégica e um núcleo urbano de traçado ortogonal. Macapá então surge às margens da foz do rio Amazonas e sobre a linha do Equador. Para Araújo (2012) "Macapá pode ser lida como uma espécie de reflexo especular de Belém, ambas garantindo a entrada do grande rio".

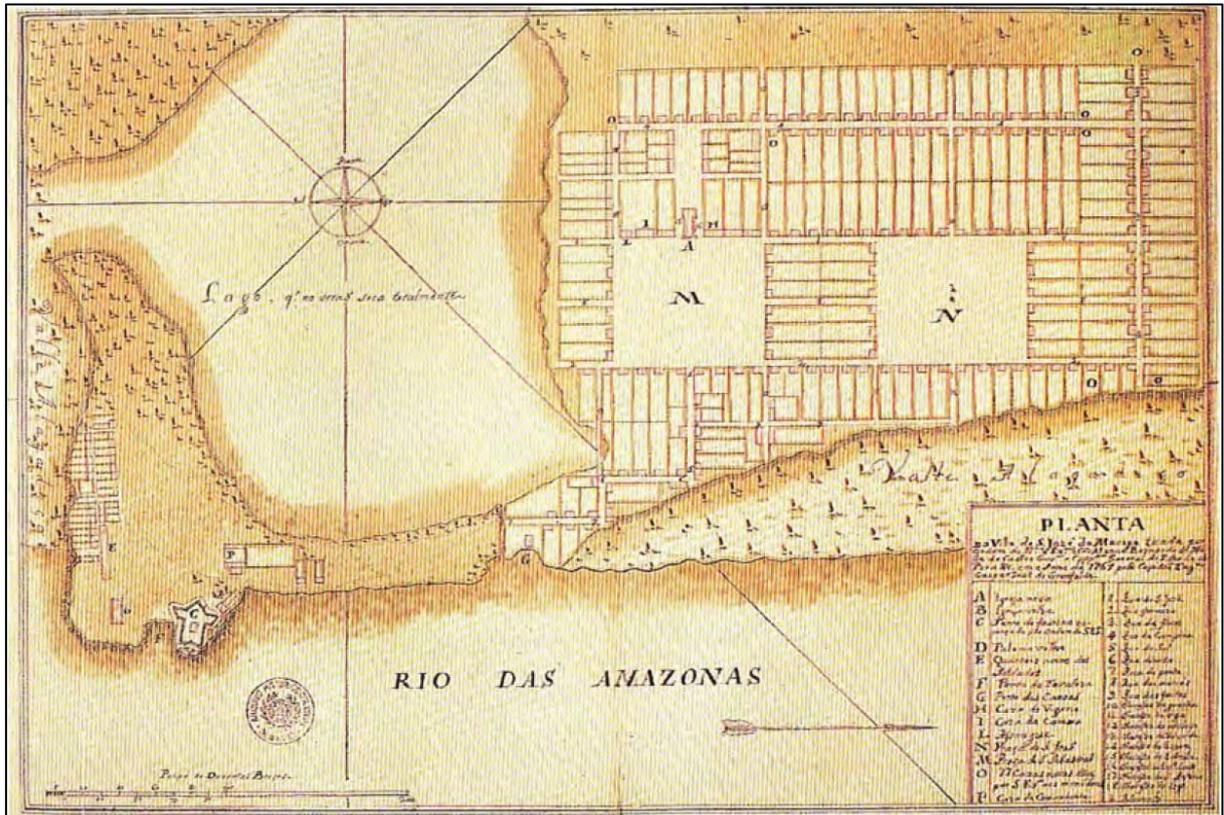
O projeto urbano incipiente para o povoado de São José de Macapá teve como encarregado o *ouvidor-geral*² João da Cruz Diniz Pinheiro, que acompanhou o primeiro grupo de colonos e foi responsável pela instalação e distribuição de lotes no centro urbano, tendo o desenho básico da povoação duas grandes praças. Após sua morte, em 1757, seu projeto urbano foi redimensionado e redesenhado pelo engenheiro Tomás Rodrigues da Costa que deu a forma apresentada na planta de 1761 (Figura 3). O engenheiro chegou a projetar a igreja, câmara municipal e o modelo das casas dos colonos que deveriam seguir um padrão. Um código de postura municipal reforçaria o sentido da beleza e regularidade das fachadas, que deveriam ser mantidas (ARAÚJO, 2012).

No dia 4 de fevereiro de 1758 o povoado de Macapá foi elevado à categoria de Vila de São José de Macapá, agregando novas sedes administrativas, entre elas, a Câmara Municipal. É possível observar na planta de 1761 (Figura 3) que os elementos centrais estavam consolidados, como a: Igreja de São José (A), casa do clérigo (H), Câmara Municipal (I), o fortim (C) e outros. Uma das características no projeto urbano foi o cuidado com as dimensões dos lotes, que mediam "dez braças de largo por trinta de fundo", aproximadamente 18 metros de frente por 55 metros de fundo. No projeto urbano da vila, percebe-se o traçado regular ou

² Responsável máximo pela administração da justiça em cada uma das comarcas no período colonial, podendo ser nomeado pela coroa portuguesa ou pelo senhor jurisdicional (CUNHA & NUNES, 2016).

“estilo tabuleiro de xadrez”, que mesmo na condição de uma vila incipiente na foz do Rio Amazonas, detinha a concepção construtiva de grandes cidades erguidas pela coroa portuguesa (BRITO, 2014).

Figura 3 – Planta da Vila de São José de Macapá em 1761.

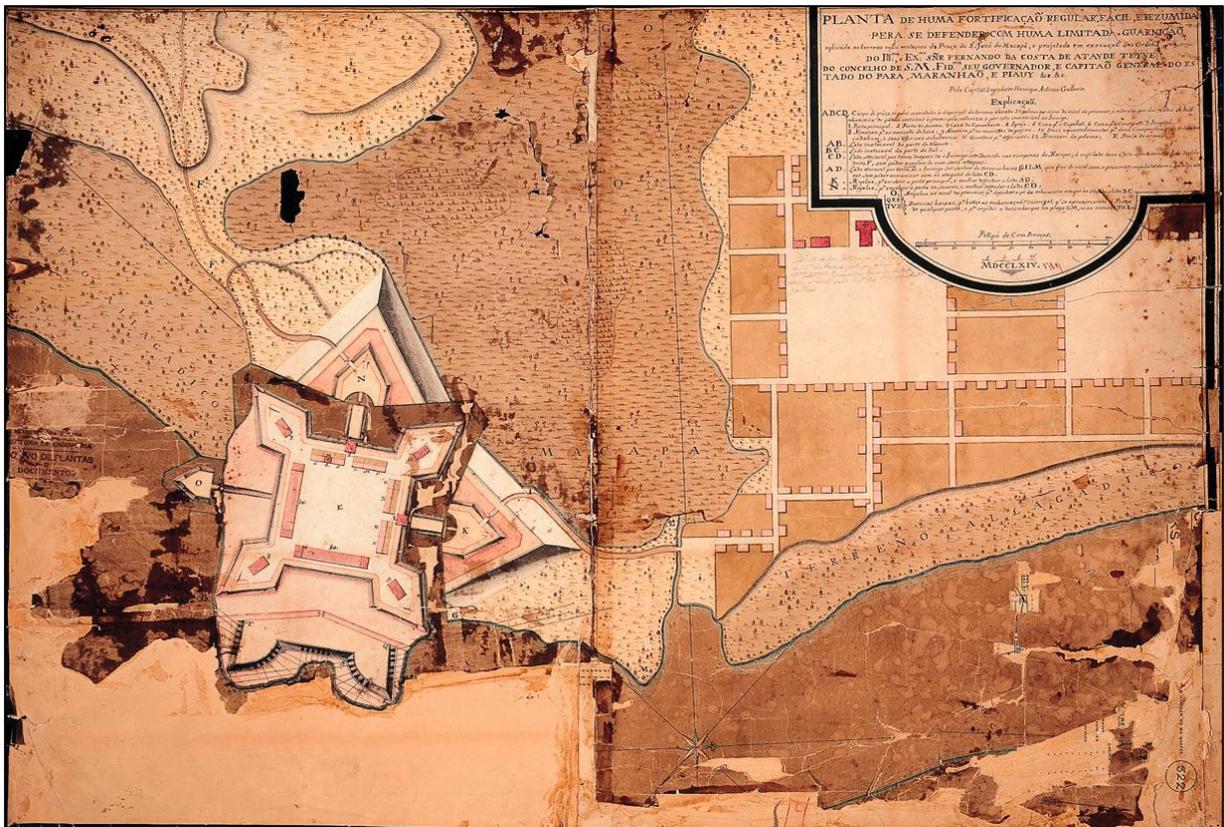


Fonte: AHEx (2017).

Em 2 de janeiro de 1764 teve início a construção da Fortaleza de São José de Macapá que substituiria o fortim erguido anos antes, em 1762, e teve sua inauguração em 19 de março de 1782 com o trabalho escravo de negros e indígenas. Seu principal objetivo era combater novas incursões francesas ou holandesas e ter que disputar a posse em tribunais internacionais. Em seu projeto original retratado na planta da fortaleza em 1764, conforme Figura 4, haveria dois *revelins*³ que dariam acesso à fortaleza e por meio de pontes levadiças, duas baterias baixas (T e Q) a leste e um redente (O) ao sul.

³ A Fortaleza São José de Macapá - tombada pelo Iphan, em 1950 apresenta obras externas de defesa como fosso, redente, revelim e caminho coberto (IPHAN, 2020). O revelim é uma obra de fortificação externa, geralmente triangular, que cobre ou defende uma cortina entre dois baluartes de uma fortificação, uma ponte e outros (PRIBERAM, 2020).

Figura 4 – Planta da Vila de São José de Macapá de 1764 com o projeto da Fortaleza de São José de Macapá (projeto original) que teve sua inauguração em 1782, com o Lago de Macapá isolando a fortaleza do centro urbano da vila



Fonte: AHEx (2017).

Durante sua construção apenas o revelim a oeste teve sua implementação, especulando-se que o terreno escolhido tenha sido o motivo, pois posteriormente a área do revelim norte passou a ser utilizada como porto, conforme pode ser observado na Figura 4 (ALMEIDA, 1868; SANTOS, 2001).

Em 06 de setembro de 1856, a Vila de São José de Macapá passa a condição de Cidade de Macapá. Almeida (1868) relata que a cidade pouco se alterou de 1764 a 1868. De 1790 a 1848, a população passou de 1.873 para 3.867 habitantes, com 259 casas habitadas.

O Lago de Macapá (Figura 3 e Figura 4), área pantanosa entre a fortaleza e a cidade, pouco havia se alterado e as terras entre a fortaleza e a cidade voltadas para o Rio Amazonas, haviam sido engolidas pelas correntezas em um período de um século. O lago possuía um pouco mais de 900 metros e poderia ser estabelecido como doca, formando um porto seguro para ancorar a esquadra da Divisão Norte e navios comerciais, entretanto, passou pelo processo de aterramento para dar espaço aos empreendimentos públicos e privados, entre eles, o Mercado

Central inaugurado em 1953. O objeto de estudo desta tese fica dentro da área do Lago de Macapá.

Figura 5 – Vista aérea da Fortaleza de São José na década de 1950 com orientação para o norte. Do projeto original, apenas o revelim a oeste teve sua construção. Ano desconhecido.



Fonte: Santos (2001).

A Vila de São José de Macapá foi um grande empreendimento de urbanização e expansão portuguesa implementado por Francisco Xavier de Mendonça Furtado. Assentada na foz do Rio Amazonas e sobre a linha do Equador que posteriormente pôde ser completada com a imponente e moderna Fortaleza de São José. A vila era a experiência que serviria de modelo aos demais projetos administrativos e políticos na Amazônia de cunho econômico (ARAÚJO, 2012).

Na condição de cidade (1856) até o início da Era Vargas (1930), pouco se investiu na região pelo império e posteriormente pela república. Esse período de abandono pode ser atrelado aos conflitos envolvendo as disputas entre a Coroa Portuguesa e a França pelas terras entre os rios Araguari e Oiapoque, rica em minérios de ferro e ouro. A cidade não apresentava características de centro urbano e tampouco caráter rural, a economia até meados da década de 1940 era inexpressiva (BRITO, 2014).

A cidade de Macapá fez parte da Província do Grão-Pará, hoje Estado do Pará, até 1943, quando houve a criação do Território Federal do Amapá constituído pelos municípios de

Macapá, Amapá e Mazagão. Inicialmente o Decreto-lei n.º 5.812 determinou o município de Amapá como capital, contudo, Janary Gentil Nunes, na função de primeiro governador, solicitou a transferência da capital para o município de Macapá por questões de logística e infraestrutura. A criação do território se mostrou uma nova estratégia de ocupação efetiva da região, com a finalidade de promover o desenvolvimento e integração socioeconômica, articulada ao discurso de proteger e ocupar a fronteira brasileira de novas possíveis ameaças de invasões por parte de franceses. Na década de 1940, a população de Macapá somava 16.234 habitantes, com aproximadamente 1.012 pessoas residindo no centro urbano (SANTOS, 2001; BASTOS 2006; IBGE, 2007).

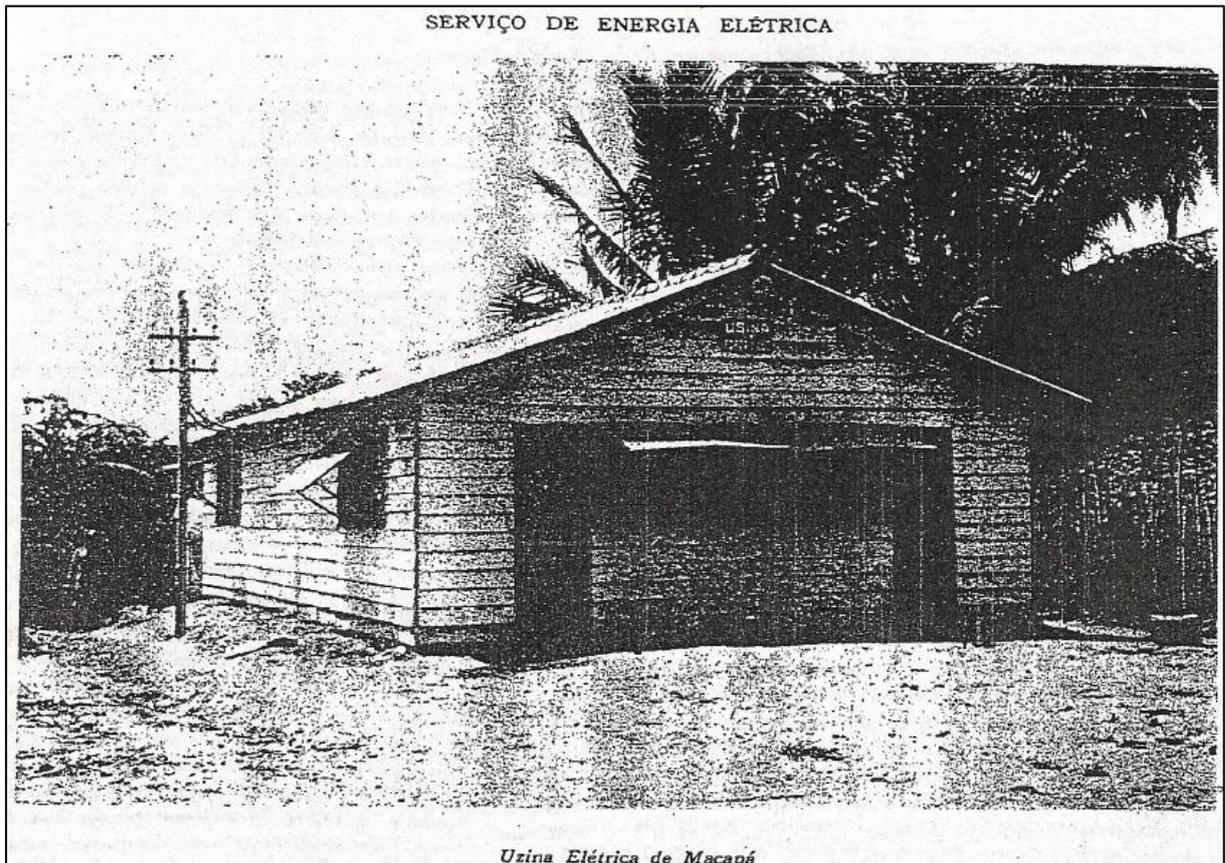
No processo de reordenamento urbanístico do território, Janary Nunes se depara com um núcleo urbano de Macapá desprovido de atendimentos básicos e serviços, que seriam essenciais para o bem-estar e progresso da população. A cidade não possuía rede elétrica, esgoto e nem água encanada, a maioria da população era analfabeta, o que levou a adotar um programa organizacional e de desenvolvimento a partir do tripé Sanear, Educar e Povoar (BASTOS, 2006). Houve implementação do projeto urbanístico com a revitalização das principais vias, abertura de novas avenidas vicinais visando à integração de bairros distantes, expandindo a malha urbana. O núcleo urbano se estendeu mantendo a forma similar ao empregado no período colonial, promovendo a construção de infraestrutura de traçado original da vila colonial, com as quadras ortogonais, ruas dispostas no sentido norte a sul e avenidas leste a oeste, no sentido do crescimento da cidade (BRITO, 2014).

Nunes (1946, p. 127) relata que em sua chegada a cidade de Macapá, em 1943, encontrou o território às escuras há mais de 6 anos. Para sanar parte do problema, houve a construção de um chalé provisório de madeira, piso de concreto e telha de fibrocimento (Figura 6) que serviria de abrigo a Usina de Força e Luz da cidade de Macapá, no qual, iniciou seus serviços em março de 1944. Em novembro de 1944 recebeu três novos motores Caterpillar (geração a diesel) de potência superior à existente na usina, permitindo finalmente fornecer energia elétrica ao sistema de iluminação, rádios, refrigeradores, ferros elétricos e máquinas em geral. A instalação da usina permitiu substituir a iluminação pública à base do lampião de querosene por lâmpadas incandescentes.

O Território Federal do Amapá, em especial a cidade de Macapá, permanecia privilegiado pela rota comercial do Rio Amazonas e com estreita relação com a América do Norte, pois durante a segunda guerra mundial, construíram uma base aérea no município do Amapá que utilizaram até 1946. Condicionando as benfeitorias e as necessidades de mão-de-

obra qualificada e até mesmo da região (ribeirinhos, paraenses e nordestinos), a população urbana de Macapá passou de 1.012 habitantes (6,2%) em 1940 para 10.068 habitantes (48,9%) em 1950 (IBGE, 2007). Um incremento significativo para uma cidade que teve, em 200 anos, no máximo 6,7 mil habitantes distribuídos por todo território macapaense.

Figura 6 – Usina de Força e Luz da cidade de Macapá que entrou em operação em março de 1944.



Fonte: Nunes (1946, p. 150).

Na Figura 7 é possível perceber as melhorias na malha urbana, com as vias pavimentadas, início da macrodrenagem e uma rede elétrica incipiente se formando na cidade.

As transformações no território federal continuaram nas décadas seguintes com os empreendimentos de cunho exploratório que fortaleceram a economia e promoveram o desenvolvimento urbano, refletindo diretamente na expansão de Macapá. Na década de 1950 foram iniciadas as atividades da Indústria e Comércio de Mineração S.A. (ICOMI). Considerado o primeiro grande projeto de mineração na Amazônia. A ICOMI extraía manganês no município de Serra do Navio e escoava por meio de uma ferrovia até o porto no município de Santana, localizado a 22 km de Macapá. Os conjuntos habitacionais para acomodar os funcionários da empresa em Serra do Navio e na Vila Amazonas, no município de Santana,

foram projetados pelo arquiteto Oswaldo Bratke, sendo posteriormente a Vila de Serra do Navio tombada pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) em 2010 (BRITO, 2014).

Figura 7 – Prédio da antiga Intendência de Macapá, atual Museu Histórico do Amapá na década de 1940.



Fonte: GEA (2010).

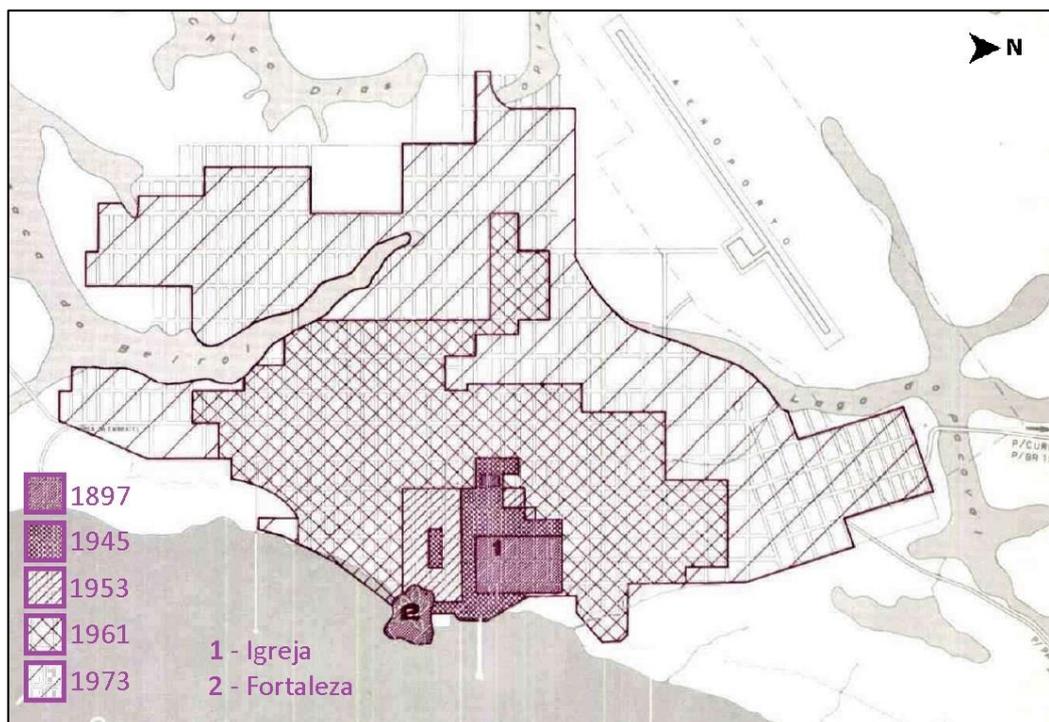
As transformações no território federal continuaram nas décadas seguintes com os empreendimentos de cunho exploratório que fortaleceram a economia e promoveram o desenvolvimento urbano, refletindo diretamente na expansão de Macapá. Na década de 1950 teve início a atividade da Indústria e Comércio de Mineração S.A. (ICOMI). Considerado o primeiro grande projeto de mineração na Amazônia. A ICOMI extraía manganês no município de Serra do Navio e escoava por meio de uma ferrovia até o porto no município de Santana, localizado a 22 km de Macapá. Os conjuntos habitacionais para acomodar os funcionários da empresa em Serra do Navio e na Vila Amazonas, no município de Santana, foram projetados pelo arquiteto Oswaldo Bratke, sendo posteriormente a Vila de Serra do Navio tombada pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) em 2010 (BRITO, 2014).

Em 1960, o crescimento desordenado levou o governador Pauxy Gentil Nunes a contratar a empresa de consultoria Grunbilf do Brasil, com a intenção de criar o primeiro Plano Urbanístico da cidade de Macapá. Esse plano deveria ordenar o crescimento e regularizar as

construções, permitindo projetar e expandir a rede elétrica pela Companhia de Eletricidade do Amapá (CEA) (BASTOS, 2006).

A cidade de Macapá cresceu ao longo da Igreja e Fortaleza de São José, se estendendo em grande parte a oeste até 1945 e posteriormente ao norte e sul, conforme observado na Figura 8. Suas áreas de ressacas passaram por aterramento e permitiram a expansão da cidade seguindo o traçado regular do período colonial. Novas igrejas, praças, escolas, prédios públicos foram construídos. No processo de urbanização e embelezamento da cidade, os moradores negros que ocupavam a área central foram deslocados para a periferia da cidade, precisamente para os bairros do Lagunho e Santa Rita (BRITO, 2014). As consultorias das empresas Grunbifl do Brasil (1960) e Cole e Associados (1976-1979) ressaltavam a importância da preservação das áreas úmidas como uma beleza natural, algo que pudesse ser um atrativo turístico e uma rota de escoamento natural das águas pluviais. Entretanto, em 1974, a Fundação João Pinheiro, responsável pela elaboração do II Plano de Desenvolvimento Urbano, sugeriu que determinadas áreas alagadas fossem aterradas e executado o sistema de macrodrenagem, garantindo assim a abertura de ruas e avenidas, seguindo o traçado original.

Figura 8 – Evolução da cidade de Macapá entre 1897 e 1973.



Fonte: Adaptado de FJP (1974).

Na evolução histórica da estrutura urbana produzida pela Fundação João Pinheiro em 1974, pode-se mensurar em quilômetros quadrados a expansão da cidade e não somente pelo

número de habitantes residindo no centro urbano. Até 1897, o núcleo pouco havia se expandido, seguindo a margem do rio com ruas paralelas e transversais. De 1897 a 1945, houve um pequeno crescimento, surgindo: ao sul o bairro do Forte; a oeste a Vila Getúlio Vargas e o bairro do Cemitério; e ao norte o campo de aviação. De 1945 a 1953 a expansão não ultrapassou o atual bairro central, se sobrepondo ao antigo Lago de Macapá, área de estudo da tese. A ação de aterramento na cidade não se restringiu ao Lago de Macapá, sendo um procedimento usual nas áreas de ressaca que permeiam toda a cidade. O crescimento demográfico intenso e a falta de interesse e investimento do poder público no sentido de regular as novas ocupações e prover serviços e transporte têm como resultado a ocupação dessas áreas com palafitas e posterior aterramento destas “novas terras”. Outra intervenção presente é a canalização ou até mesmo a extinção de alguns cursos d’água alimentadores das áreas de ressaca dificultando ou impossibilitando a renovação da água e conseqüentemente da fauna e flora local. Nesta pesquisa não está sendo discutida esta prática, mas apenas suas conseqüências em termos do clima local.

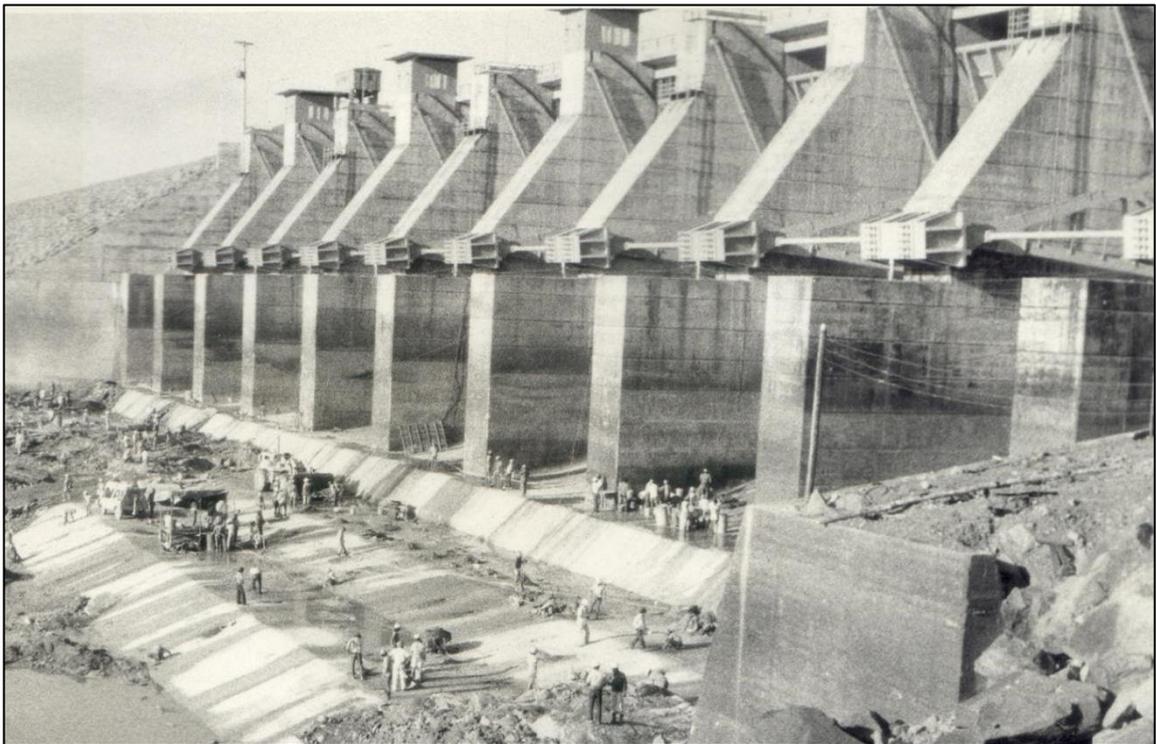
De 1953 a 1961, impulsionado pelo início das operações da ICOMI, ocorreu o primeiro grande crescimento demográfico da cidade, com: ao sul o surgimento do bairro do Trem e parte do Beiril, palafitas no Igarapé do Elesbão (município de Santana); a oeste o restante do atual bairro Central e parte do Santa Rita; ao norte os bairros do Laginho e o Igarapé das Mulheres. De 1961 a 1973, nascem o bairro Santa Rita e o Beiril e outras aglomerações, ao sudoeste surge o bairro Buritizal, a noroeste os bairros de Jesus de Nazaré e ao norte o bairro Pacoval. Nos primeiros anos do crescimento espontâneo da cidade que seguia o projeto colonial, não ocorreram dificuldades no reordenamento, contudo, a cidade de Macapá estava sendo estrangulada pelas áreas de ressacas, necessitando transpor esses limites ou efetuar aterros.

Com o crescimento da cidade permanecia a dificuldade em fornecer energia elétrica sem que houvesse *blecaute*⁴, o que prejudicava o desenvolvimento da região. As indústrias necessitavam ter sua planta de geração térmica para suprir sua demanda, a exemplo da ICOMI, que possuía 3 grupo-geradores de 600 KVA cada na planta industrial de Santana (IBGE, 1957). A solução a longo prazo seria a construção de uma usina hidrelétrica no rio Araguari, precisamente na Cachoeira do Paredão, a 140 km de Macapá. Apesar de ter seu potencial energético identificado desde 1947 com a visita de Janary Nunes e sua comitiva ao local, sua construção teve início apenas na década de 1960 sob a responsabilidade da CEA, empresa estatal que havia sido criada em 1956 para gerir os recursos energéticos do território federal. A

⁴ Perturbação na rede elétrica que ocasiona o desligamento forçado de um ou mais componentes que leve ao corte de carga elétrica.

CEA havia incorporado a Usina de Força e Luz da Cidade de Macapá e contava com recursos oriundos dos *royalties* pagos pela ICOMI. Contando com atrasos no término da obra e problemas financeiros, houve o aporte de recursos federais e a obra passou a ser gerida em 1971 pela ELETROBRÁS, posteriormente passada para sua subsidiária ELETRONORTE em 1974. A inauguração da Usina Hidrelétrica de Coaracy Nunes (UHCN) ocorreu em 13 de janeiro de 1976 e contava com uma geração de 40 MW dos 180 MW que haviam sido projetados, se tornando a primeira usina hidrelétrica da Amazônia. Existia um Plano de Industrialização do Amapá elaborado por Edouard Urech na expectativa do incremento acentuado no fornecimento de energia elétrica aliada às jazidas de minérios, após sua inauguração houve um crescimento nas atividades voltadas ao setor comercial e industrial (DRUMMOND & PEREIRA, 2007, 90 p.; PORTO, 2002, p. 126, p. 251). Na Figura 9 é possível notar os trabalhadores na construção dos vertedouros da UHCN e suas dimensões.

Figura 9 – Construção dos vertedouros da Usina Hidrelétrica de Coaracy Nunes (UHCN).



Fonte: Silveira (2015).

Na década de 1990, o Instituto de Pesquisas Econômicas da Fundação João Pinheiro realizou a compilação de alguns índices entre 1970 e 1996 de todos os estados brasileiros, considerando os Índices de Desenvolvimento Humano (IDH), que é composto por variáveis ligadas a longevidade, escolaridade e renda, e o Índice de Condições de Vida (ICV), que inclui variáveis relacionadas à habitação e infância. O resultado revelou que nesse período (1970 a

1996) o Amapá esteve na liderança da Amazônia Legal em termos de IDH e ICV. Em âmbito nacional permanecia atrás dos estados mais desenvolvidos, sendo: Distrito Federal, São Paulo, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Paraná, Santa Catarina, Mato Grosso do Sul e Espírito Santo. Uma conclusão significativa, considerando que o Amapá esteve em uma trajetória de esquecimento, apontado como um dos Estados mais pobres do país (DRUMMOND & PEREIRA, 2007, p. 21).

No contexto do crescimento populacional registrado desde 1872 pelo Instituto Brasileiro de Geografia (IBGE), os Recenseamentos Gerais ou Censos Demográficos de 1872 a 1920 não retratam claramente o fluxo e expansão populacional em Macapá, sendo que somente a partir de 1940 surgem dados específicos com a caracterização do espaço urbano e rural. De acordo com IBGE (2007, 2020b), a população na cidade de Macapá passou de 4.697 em 1890 para 512.902 habitantes em 2020. Na Tabela 2 pode-se observar um crescimento acentuado entre as décadas de 1950 e 1970 em virtude dos projetos de extrativismo mineral, em especial do manganês, ouro e caulim. Além do aparelhamento da capital pelo governo federal com a construção de hospitais, escolas, polos agrícolas, pecuários e outros.

Tabela 2 – Crescimento populacional no município de Macapá -AP entre 1890 e 2020.

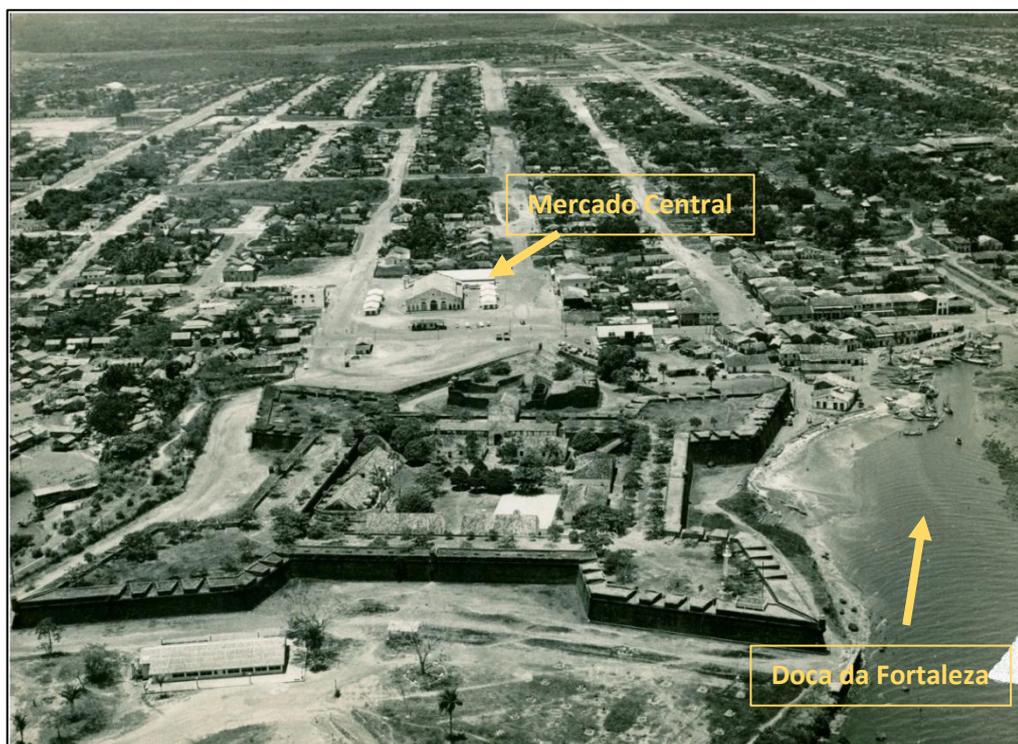
CENSO	POPULAÇÃO TOTAL	URBANO	RURAL	Crescimento ao Ano (%)
1890	4.697	-	-	
1900	6.707	-	-	4,3% (1890-1900)
1920	18.387	-	-	8,7% (1901-1920)
1940	16.234	1.012 (6,2%)	15.222 (93,8%)	-0,6% (1921-1940)
1950	20.594	10.068 (48,9%)	10.526 (51,1%)	2,7% (1941-1950)
1960	46.777	28.835 (61,6%)	17.942 (38,4%)	12,7% (1951-1960)
1970	86.097	54.740 (63,6%)	31.357 (36,4%)	8,4% (1961-1970)
1980	137.541	93.132 (67,7%)	44.319 (32,2%)	6,0% (1971-1980)
1991	153.572	132.668 (86,4%)	20.904 (13,6%)	1,1% (1981-1990)
2000	283.308	270.628 (95,5%)	12.680 (4,5%)	9,4% (1991-2000)
2010	398.204	381.214 (95,7%)	16.990 (4,3%)	4,1% (2001-2010)
2020 ESTIMATIVA	512.902	-	-	2,9% (2011-2020)

Fonte: Elaborado pelo autor com dados do IBGE (2020b, 2020c).

As décadas de 1950 e 1960 apresentaram um expressivo aumento da população, com mais de 100% na década de 1950 e quase esse mesmo valor para a década de 1960 (Tabela 1). O impacto direto é a eclosão repentina do núcleo urbano, que no início da década de 1940, pois a cidade era caracterizada como rural, possuindo apenas 6,8% da população no meio urbano, e em 10 anos, contava com 48,9% da população no meio urbano e passando por modificações para atender a nova demanda. Na década de 1990 houve outro expressivo crescimento, com o Amapá na condição de estado e a cidade de Macapá crescendo em média 9,4% ao ano, saindo de 153 mil para 283 mil habitantes. A alternativa de moradia nessa expansão para a população de baixa renda foi habitar as áreas de ressaca por estarem próximas da infraestrutura pública.

Na Figura 10 é possível observar a dinâmica da cidade entre as décadas de 1950 e 1960, com os barcos aportados na doca da fortaleza, tendo a área como via de entrada e saída do território e toda infraestrutura de serviços bancários, administrativos, comércio e espaços sociais instalados na redondeza. O Mercado Central, inaugurado em 1953, concentrava a maioria dos gêneros alimentícios da cidade, em que determinado período se constituiu como ponto de encontro da população macapaense, funcionando como atrativo econômico e social.

Figura 10 – Imagem aérea do centro de Macapá entre a década de 1950 e 1960 orientada para o oeste. Ano desconhecido.



Fonte: Adaptado de IBGE (2020c).

A Figura 11 remonta a um período pós-década de 1970 com as principais vias pavimentadas e largas, escolas, hospitais e sedes administrativas em pleno funcionamento. Também é possível observar o cuidado com a vegetação arbórea e seu plantio ao longo das calçadas e dentro das quadras. O aeroporto havia deixado de funcionar na Av. FAB no fim da década de 1950.

Figura 11 – Imagem aérea de Macapá pós década de 1970 orientada para o oeste. Ano desconhecido.

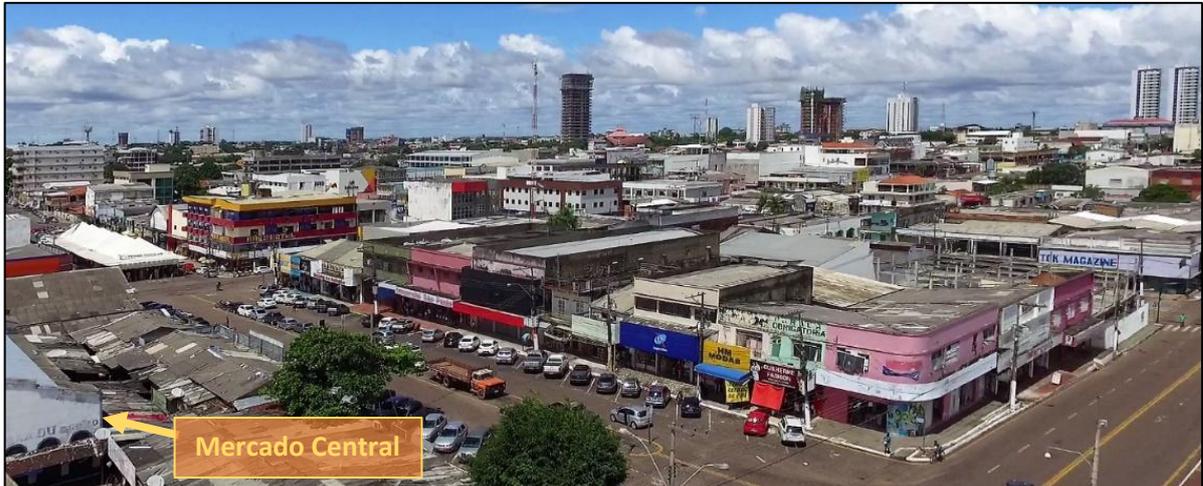


Fonte: Adaptado de IBGE (2020c).

Na Figura 12 percebe-se que a expansão da cidade com o início de um processo de verticalização. A nova preocupação se reflete no plano urbano e sua devida aplicação com os empreendimentos sendo construídos na área nobre, o chamado, centro da cidade. Vale observar que esta região é a porta de entrada para o vento que segue durante quase todo o ano o sentido leste e nordeste, ou seja, da costa para o interior da cidade. Este processo de verticalização, portanto, pode representar um efetivo bloqueio à entrada do vento, caso não seja dada atenção à necessidade de permeabilidade do tecido urbano com afastamentos laterais. Nesse contexto, a Prefeitura Municipal de Macapá tem em curso com a Universidade Federal do Amapá (UNIFAP) o projeto Macapá 300 anos, que visa adotar estratégias até o ano 2058, com políticas

públicas a curto, médio e longo prazo no âmbito do desenvolvimento urbano, social, econômico, ambiental e humano.

Figura 12 – Imagem aérea de Macapá em 2018 sobre o Mercado Central e orientada para o noroeste.



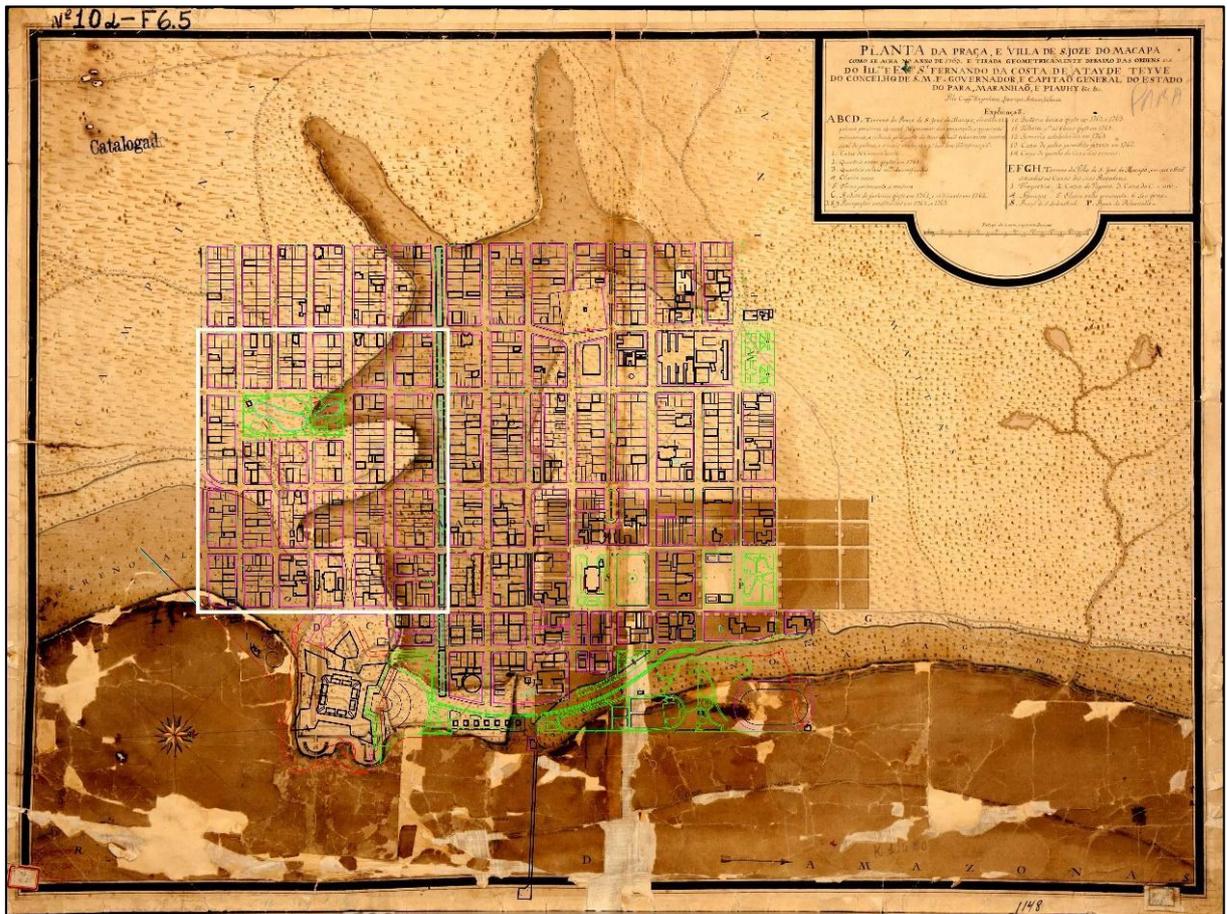
Fonte: Acervo pessoal.

A partir da imagem da Figura 12 ainda é possível entender que na parte central da cidade é rara a presença de vegetação, principalmente de espécies arbóreas. Este fato é particularmente interessante por se tratar de região próxima à Floresta Amazônica e ter um entorno permeado por áreas de ressaca.

A substituição por solo pavimentado das áreas de ressaca e lagos, como o Lago de Macapá, representa um importante desequilíbrio do clima local. A sobreposição da planta cadastral atual sobre o antigo mapa de Macapá de 1763 (AHEx, 2017), para o trecho relacionado ao trabalho, permite compreender o impacto que o aterramento pode ter representado sob a ótica de expansão do núcleo urbano (Figura 13).

Sob um olhar atento ao equilíbrio climático local esta ação representou uma importante interferência na qualidade de vida local. Na Figura 13 está marcado o recorte do trabalho, o Centro Comercial, que teve sua área parcialmente aterrada, podendo ser confirmada atualmente com a topografia que registra como a região mais baixa, passivo de alagamento.

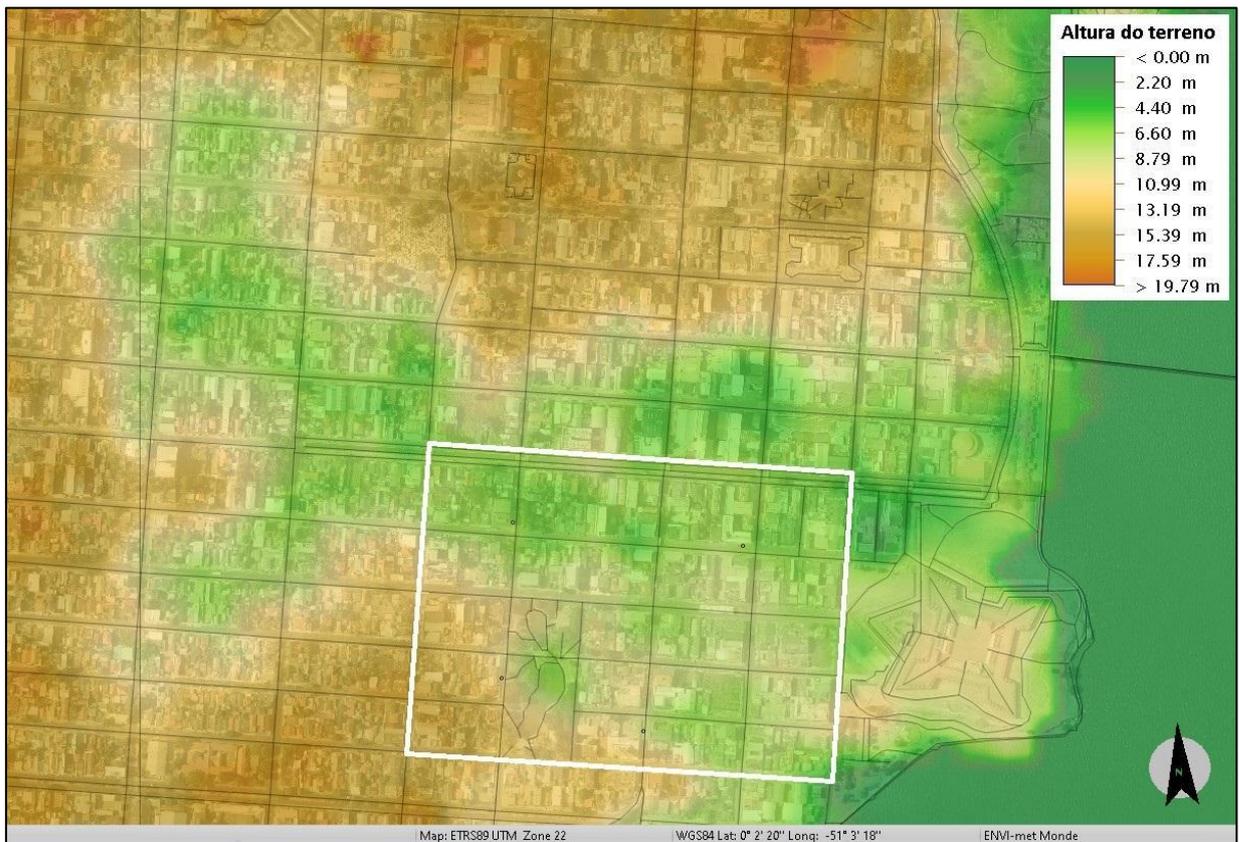
Figura 13 – Lago de Macapá: (a) Planta de 1763 com sobreposição de planta cadastral e (b) indicação do recorte de estudo, o Centro Comercial.



Fonte: AHEx (2017).

Apesar da possibilidade de haver imprecisões nos mapas cartográficos do século 18, inviabilizando a sobreposição de mapas ou plantas atuais, houve a coleta de dados topográficos da área. A NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), agência espacial norte americana, realizou o levantamento topográfico de parte do planeta a uma resolução de 30 metros no projeto SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) em 2000, estando disponível seus dados em alta resolução em 2015 (NASA, 2020). Desta forma, se obteve com auxílio do ENVI-met a sobreposição da fotografia aérea realizada pelo Exército Brasileiro em 2014 (SEMA, 2015) com a topografia realizada pela NASA em 2000, ambas georreferenciadas. O resultado pode ser observado na Figura 14 com basicamente 75% da área de estudo sobre uma cota baixa, com possibilidades significativas de terem feito parte do Lago de Macapá.

Figura 14 – Topografia obtido pela NASA em 2000 do centro de Macapá.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ainda na Figura 14 é possível notar a abrangência do lago sobre a cidade, levando em consideração a tonalidade verde, tendo a dimensão da região aterrada para permitir sua ocupação.

A água presente nas áreas de ressaca promove o equilíbrio da temperatura do ar contribuindo para redução das elevadas temperaturas locais, devido ao resfriamento evaporativo (BUSTOS ROMERO, 2015). Estas áreas inundadas vêm sendo rotineiramente substituídas por solo não natural sem permeabilidade para lidar com as águas das chuvas abundantes no inverno da região. Nesta tese não serão apontadas alternativas à esta forma de ocupação do solo, ou seja, o aterro sistemático das áreas de ressaca. Entretanto cabe ressaltar ser possível a ocupação de regiões alagadas com habitações de qualidade tipo palafitas ou casas flutuantes com saneamento e serviços. Isto ocorre na Holanda, e em regiões como Malásia e Indonésia com mesma faixa de latitude que a da região Amazônica.

A utilização de materiais não naturais para revestimento do solo promove uma maior absorção da radiação solar incidente e conseqüentemente o maior retorno de calor para o ambiente. A vegetação, portanto, representaria um forte aliado para lidar com as elevadas

temperaturas tanto pelo sombreamento quanto pelo processo de evapotranspiração capaz de auxiliar amenizando os valores de temperatura do ar.

CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O crescimento populacional impõe uma constante necessidade de expansão das cidades. A ocupação de novas regiões, vem associada ao aumento do consumo de energia elétrica e de um processo de industrialização, sendo ambos fatores que contribuem com as mudanças climáticas. Com a expansão das cidades, ocorrem mudanças em larga escala na cobertura do solo natural com a utilização de revestimentos artificiais que afetam a permeabilidade do solo e absorvem a radiação solar, acumulando carga térmica e emitindo calor. Este fator associado às atividades antropogênicas, contribuem para o aumento da temperatura, com o aquecimento local, e dos níveis de concentração de elementos poluentes (GEE e *arrossóis*⁵) na atmosfera.

Neste capítulo são detalhadas essas questões que contribuem para o entendimento e desenvolvimento do tema desta tese. No item 2.1 é apresentado o conceito do metabolismo urbano, onde será observado como o sistema cidades relaciona os insumos necessários e o processo de descarte de seus resíduos e rejeitos, englobando as escalas climáticas e as trocas energéticas. O item 2.2 aborda a caracterização do clima e os aspectos de geração e uso de energia para a cidade de Macapá, traçando um panorama das alterações locais ao longo do tempo. O item 2.3 apresenta conceitos do conforto térmico e dos índices de conforto desenvolvidos para representar a sensação térmica do homem em espaços internos e externos.

2.1 METABOLISMO URBANO

As mudanças climáticas e a *pegada ecológica*⁶ nos últimos anos se tornaram uma preocupação na sociedade, com impacto direto na cultura, economia e relações sociais. Essas alterações são reflexos da ação humana na criação da “natureza artificial”, que em alguns aspectos, não ponderam seu impacto no meio local ou global, sem levar em conta a forma urbana, cobertura do solo e propriedades térmicas dos materiais construtivos que interferem diretamente nas variáveis climáticas e consumo de energia elétrica. Na criação e manutenção da natureza artificial, focando as cidades, se faz necessário ter os requisitos mínimos de

⁵ São pequenas partículas de um líquido ou sólido em suspensão no ar na forma de gás, sendo emitida de forma antropogênica ou natural. Sua quantidade e distribuição no planeta altera o balanço energético influenciando o clima de diversas maneiras (PAULIQUEVIS, 2007).

⁶ A Pegada Ecológica é uma metodologia de contabilidade ambiental que avalia a pressão do consumo das populações humanas sobre os recursos naturais (WWF, 2012).

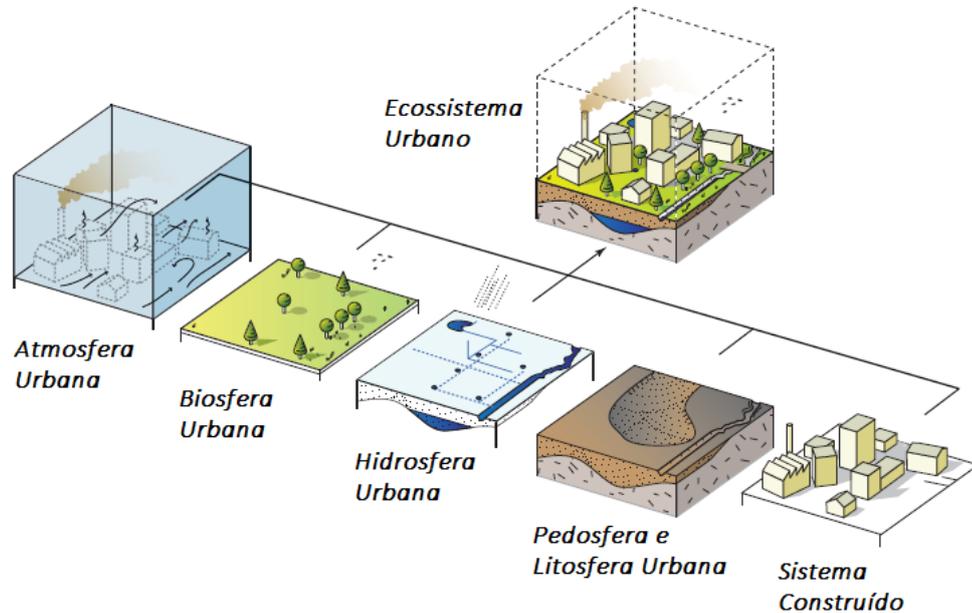
sobrevivência com a obtenção de recursos naturais que atendam uma população que cresceu vertiginosamente nos últimos séculos. Tais recursos começam a se tornar escassos, como é o caso da água potável que sinalizou um alerta para racionamento a partir de 2013 nas duas maiores cidades brasileiras, São Paulo – SP e Rio de Janeiro – RJ.

O modo como as cidades vêm se desenvolvendo causa preocupação nos setores responsáveis pelo fornecimento de energia elétrica, alimentos e água potável, uma vez que o poder público, de uma forma geral, parece seguir deixando em segundo plano os serviços de coleta, tratamento e descarte do esgoto e dos resíduos sólidos. Para Ress (1992) a pegada ecológica é caracterizada pelo modo como as cidades obtêm seus elementos básicos de subsistência e como se descartam os resíduos e rejeitos deste processo, sendo este metabolismo urbano mensurado em termos de matéria, energia e dinâmica dos fluxos. Desta forma a pegada ecológica verifica o espaço físico (expresso em hectares globais - gha) que uma cidade necessita para regenerar os recursos naturais consumidos ao longo de um determinado período.

Mascaró (2010, p. 17) relata que nas grandes cidades a pegada é da ordem de 100 vezes a sua área, e que, quanto maior a quantidade de veículos automotores por habitantes e a sua velocidade de circulação reduzida motivada pelos congestionamentos, maior será a pegada ecológica dessa cidade. A cidade de Londres, Reino Unido, vem adotando medidas de contenção de tráfego automotor e incentivando os transportes alternativos e públicos, desta maneira sua pegada ficou em 125 vezes a sua área física. A cidade de São Paulo com seu tráfego constantemente engarrafado, apresenta períodos em que sua pegada ecológica supera 200 vezes a sua área urbana.

Oke *et al.* (2017, p. 2) trabalham com o termo Ecosistema Urbano, introduzido por Tansley (1935), para entender e descrever a cidade por meio da sua relação com o meio ambiente, que é formado pela vegetação, animais e pessoas interagindo com os componentes abióticos nas cidades (radiação solar, vento, água, solo e outros). A presença de pessoas remete ao estudo dos ambientes: cultural e biofísico. O ambiente cultural se refere às atividades sociais, políticas, econômicas e outras que são estudados pelos cientistas sociais e refletem no ambiente construído com edifícios, monumentos, estradas, indústrias e outras. O ambiente biofísico pode ser dividido seguindo as “esferas” ecológicas clássicas: atmosfera urbana, biosfera, hidrosfera, pedosfera (solo), litosfera (geologia) e sistema construtivo. Todos esses ambientes estão sobrepostos no ecossistema urbano, conforme Figura 15, permitindo entender a dinâmica físico-química do ar, água e resíduos sólidos das cidades no aspecto local e global.

Figura 15 – Componentes biofísicos e culturais que compõem o ecossistema urbano.



Fonte: Adaptado de Oke *et al.* (2017, p. 3).

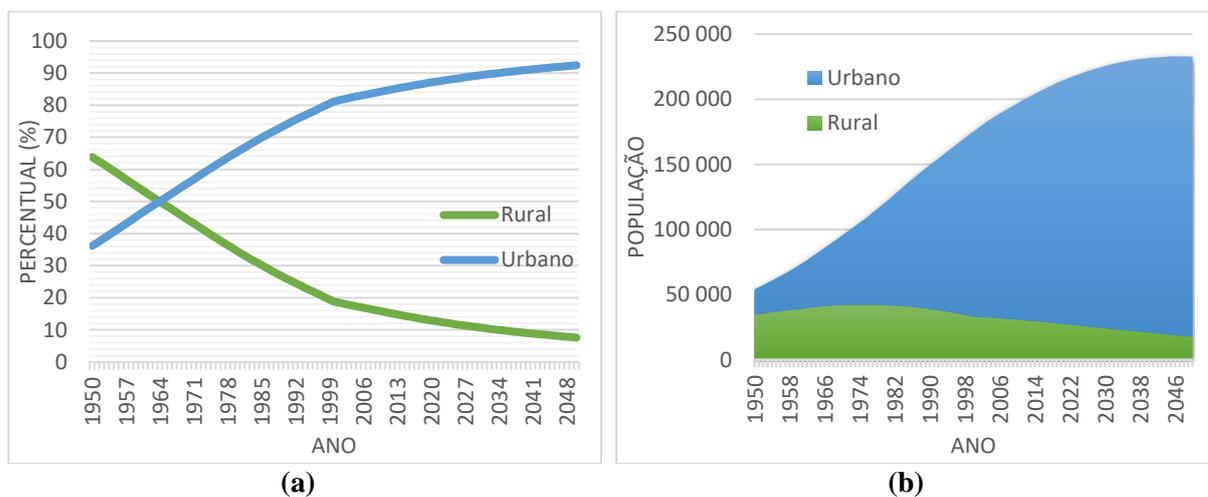
A interligação entre estes sistemas (Figura 15) permite entender que as alterações impostas a uma das camadas têm a capacidade de produzir alterações nas demais, assim intervenções no sistema construtivo podem alterar as outras diversas camadas. O meio urbano interfere e sofre interferências do meio ambiente.

Segundo dados do *World Urbanization Prospects* (UN, 2018), 55% da população mundial vive nos ecossistemas urbanos com expectativa de aumentar para 68% até 2050, onde em 1950 havia 751 milhões de pessoas e em 2018 atingimos 4,2 bilhões vivendo nas cidades. Os ecossistemas urbanos são criados e reformulados a todo instante de forma lenta, gradual e singular. Isso provoca uma grande diversidade associada às diferentes formas de uso da terra e grau de manejo ou degradação humana, podendo ser observado pelo espectro ecológico, passando pelo ecossistema remanescente (lagos, rios, várzeas, florestas) através do ecossistema gerido (campos, parques, jardins, cemitérios e outros) até o sistema totalmente antropogênico (estradas, prédios, estacionamentos, indústria e outros). O resultado é um ecossistema urbano com um conjunto distinto de habitats para plantas, animais selvagens e seres humanos inseridos em uma combinação exclusiva de elementos abióticos (OKE, 2017, p. 3).

O *World Urbanization Prospects* (UN, 2018) indicou percentuais de ocupação em áreas urbanas para 2018: América do Norte (82%), América Latina e Caribe (81%), Europa (74%) e Oceania (68%). Na Ásia ficou próxima de 50% e na África com 43% da população vivendo nas cidades. No Brasil, em 2010, havia uma população de 160 milhões de habitantes vivendo nas

idades, representando 84% da população brasileira, bem diferente do ano de 1960 em que a população urbana era composta por 32 milhões de habitantes, o que representava 45% da população, ou seja, até a década de 1960 a população brasileira vivia em sua maioria no ambiente rural (IBGE, 2010). Na Figura 16 é possível visualizar o crescimento da população urbana brasileira ao longo dos anos com uma projeção para 2050, observando que em 1964 foi o marco divisor da mudança do perfil brasileiro, passando este de rural para urbano e em constante expansão.

Figura 16 – Linha histórica e projeção da população brasileira urbana e rural para o período de 1950 a 2050. (a) Relação percentual e (b) relação quantitativa entre a população urbana e rural.



Fonte: Adaptado de UN (2018).

A expectativa brasileira para 2050 (Figura 16) é que a população ultrapasse os 230 milhões de habitantes, ressaltando que a estimativa para 2020 ficou em 211,76 milhões de habitantes (UN, 2018; IBGE, 2020(a)).

Este importante crescimento da população urbana apresenta entre outras implicações um maior consumo de energia elétrica nos centros urbanos. Em regiões de clima tropical ou equatorial, como é o caso do Estado do Amapá, uma das grandes contribuições para este consumo é o uso de equipamentos de ar-condicionado para resfriamento da temperatura do ar.

As cidades apresentam um consumo de energia elétrica e diversas matérias para sua subsistência, maior do que poderia produzir, com uma enorme dependência de combustíveis fósseis. A maior parte da sua cobertura é desprovida de vegetação e possui baixa permeabilidade, composta por alvenaria, concreto, asfalto e outros materiais que tornam o espaço com um albedo pequeno (capacidade de reflexão da radiação solar) e elevada emissividade (capacidade de emissão de energia por radiação), contribuindo para o

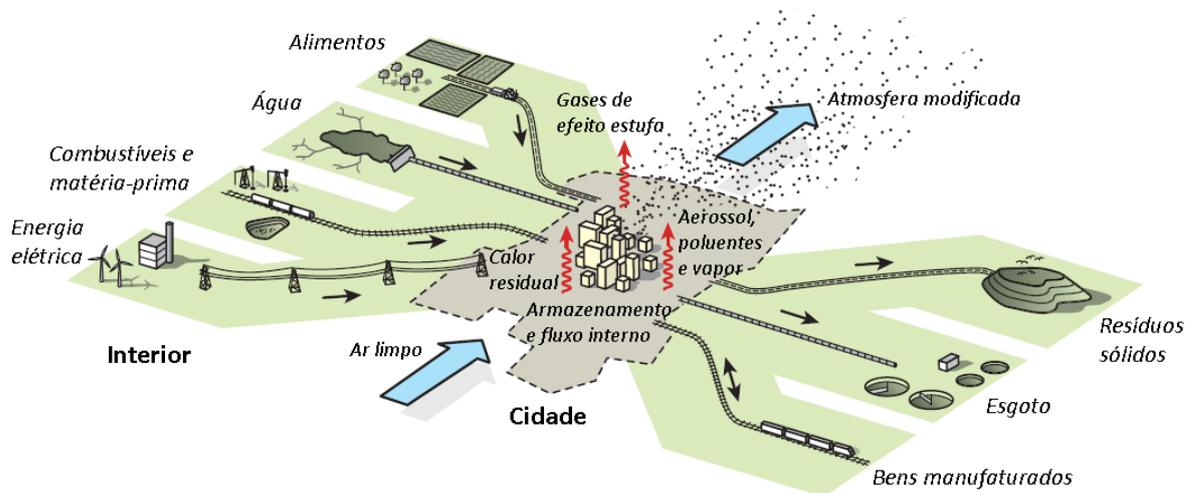
agravamento do microclima local e acentuando o consumo de energia elétrica (BROWN; GILLESPIE, 1995, p. 45).

A cidade pode ser considerada um sistema aberto que depende de recursos naturais para sua subsistência e atividades, devolvendo ao meio ambiente os rejeitos de sua produção, seja ela por meio de resíduos sólidos, esgoto, calor ou gases de efeito estufa. Essa dinâmica é chamada por Wolman (1965) de “metabolismo da cidade” ou “metabolismo urbano” que conceituou a cidade por meio de um ciclo metabólico similar à de um ser vivo, que necessita de recursos externos, realiza o metabolismo para sua sobrevivência, realiza um trabalho e ejeta do organismo os excrementos. Por meio do metabolismo urbano, Wolman (1965) chama atenção para a poluição do ar e água que são elementos básicos para a sobrevivência de qualquer espécie, vinculado ao crescimento das cidades, uma maior dependência dos elementos básicos e maior cuidado com o seu descarte.

Oke *et al.* (2017, p. 3) lidam com o metabolismo urbano como uma ferramenta que permite quantificar seus limites e dependências, avaliando os impactos de novas tecnologias ou mudanças em geral, além de prever necessidades futuras.

O estudo do fluxo de material e energia pode ser visualizado na Figura 17, com as entradas de energia elétrica, combustível, matéria-prima, água, alimentos e ar limpo que permitem o funcionamento da cidade e pode ser relacionado à qualidade de vida com empregos, moradia e alimentos. As saídas do sistema são os produtos manufaturados e os resíduos excretados (esgoto, resíduos sólidos, poluentes do ar, calor residual e gases de efeito estufa).

Figura 17 – Representação do ecossistema urbano com seu fluxo de entradas e saídas, caracterizado por metabolismo urbano.

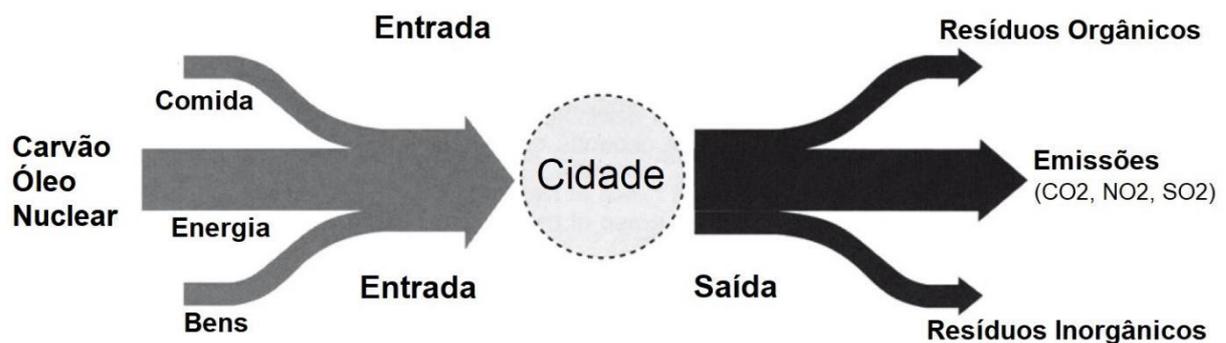


Fonte: Adaptado de Oke *et al.* (2017, p. 4).

Na análise do fluxo metabólico (Figura 17) as entradas podem se diferenciar das saídas dentro de um determinado período. Seguindo o princípio da conservação de massa e energia, toda matéria que entra no sistema deverá sair de alguma forma. Uma entrada excedente no ecossistema urbano indica um crescimento do sistema por meio do aumento físico do ambiente construído, armazenamento de mercadorias ou aumento populacional. Por outro lado, se a produção exceder a entrada, o sistema estará em processo de decrescimento (OKE *et al.*, 2017, p. 4).

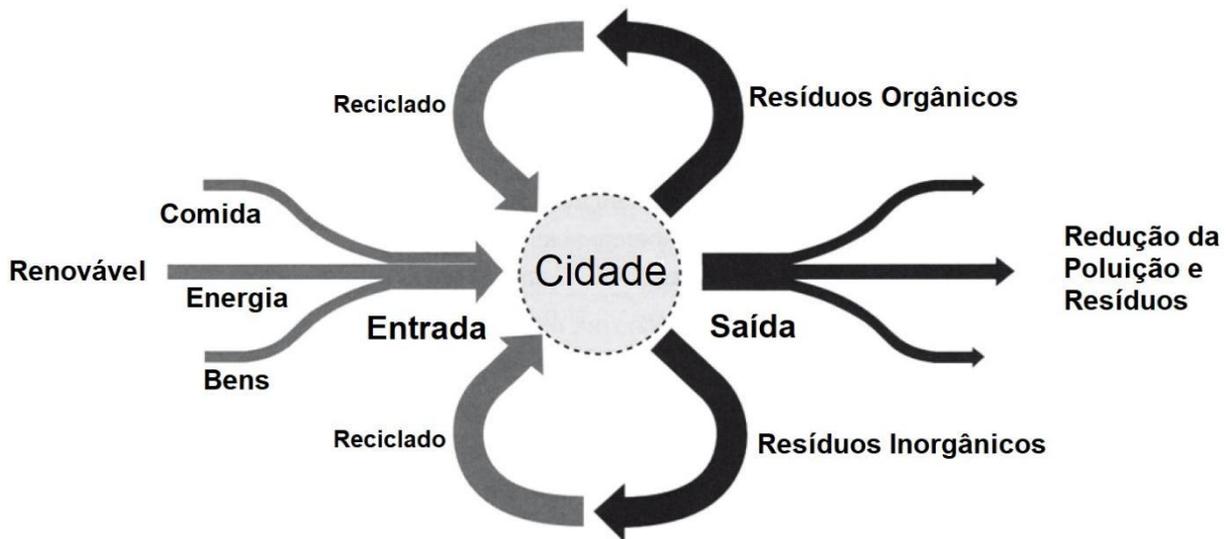
A partir do estudo do metabolismo urbano inicial proposto por Wolman (1965), houve um aprimoramento na sua análise com a introdução dos conceitos de metabolismo urbano linear e circular, trabalhado por Herbert Girardet em Rogers (1997, p. 31). O conceito visa facilitar o entendimento dos fluxos de materiais, energias e resíduos, propondo um novo plano de consumo com menor dependência de matéria-prima de outras regiões. O metabolismo urbano linear é caracterizado (Figura 18 e Figura 19) por uma forte dependência dos recursos obtidos de fora da cidade, sem o seu devido reaproveitamento, o que vem a explicar o comportamento das cidades que viam suas fontes de matéria-prima como inesgotáveis e os locais de despejo de resíduos como espaços infinitos. Com a expansão das cidades, as áreas utilizadas como fontes começaram a se sobrepor sobre as outras, havendo uma valorização da matéria-prima e os rejeitos cada vez mais próximos das cidades. Uma forma de minimizar os impactos ecológicos, tanto na captação de matéria-prima quanto no descarte, é por meio do metabolismo urbano circular, que observa a cidade como um sistema fechado de reaproveitamento com a reciclagem, tendo o resíduo como uma fonte de matéria-prima e energia. Como vantagem se tem uma diminuição da demanda por matéria-prima cada vez mais distante e diminuição dos resíduos. Na Figura 18 é possível observar o metabolismo urbano linear com um acentuado fluxo na entrada e saída, podendo ser atenuado com o metabolismo urbano circular da Figura 19, com uma redução nos fluxos de entrada e saída.

Figura 18 – Metabolismo urbano linear com altas taxas de consumo e poluição.



Fonte: Adaptado de Rogers (1997, p. 31).

Figura 19 – Metabolismo urbano circular minimiza novos insumos e maximizam a reciclagem.



Fonte: Adaptado de Rogers (1997, p. 31).

Outro importante ponto que o conceito do metabolismo urbano circular traz além de minimizar os novos insumos é o fato de buscar trabalhar com as energias renováveis. Observa-se na Figura 18 que os insumos energéticos são o carvão, o óleo e a energia nuclear, enquanto no caso da Figura 19 eles são renováveis. Então há uma minimização na entrada desses insumos, uma busca por insumos renováveis e há um processo importante de reciclagem tanto de resíduos orgânicos quanto inorgânicos.

As transformações ocorridas nas últimas décadas, levando uma população majoritariamente rural para urbana, trouxeram consigo vantagens relacionadas à saúde, educação, infraestrutura e lazer. Entretanto, trouxe também desvantagens que necessitam de planejamento e gerenciamento objetivando o mínimo possível de impacto no meio ambiente. As cidades expandiram e se transformaram em *megacidades*⁷, a exemplo do Rio de Janeiro e São Paulo, que são responsáveis por mudanças na cobertura terrestre com a substituição da vegetação nativa para dar espaço às estradas, pontes, casas e prédios que alteram os vales, morros e até cursos de rios. Na cidade de Macapá, Estado do Amapá, no passado era comum o aterro de áreas úmidas, conhecidas localmente por ressacas, para dar espaço à expansão urbana com novas moradias e empreendimentos públicos ou privados de interesse da administração local. Além da canalização de *igarapés*⁸ que acabam se tornando esgoto a céu aberto. Tais

⁷ Megacidade é o termo usado para descrever cidades com mais de 10 milhões de habitantes. Entretanto, é usado com menor frequência em alusão a áreas metropolitanas de 4 a 10 milhões de habitantes (GILBERT, 1993).

⁸ Conhecido na Amazônia como pequenos rios ou canais que permitem o tráfego de embarcações de pequeno calado, geralmente canoas.

alterações na cobertura do solo ocorrem de forma heterogênea e tem efeito duradouro no sistema ecológico, modificando a fertilidade e a hidrologia do solo, com sua parcela de contribuição na esfera global.

A hidrologia urbana, em período chuvoso, causa enormes transtornos em decorrência da impermeabilidade do solo. Com a utilização de materiais impermeáveis na construção de ruas, calçadas e estacionamentos, promovem uma redução na infiltração de água das chuvas, o que acaba comprometendo o volume de água subterrânea armazenado. Em contrapartida, a água na superfície escoar para os lagos e rios que se encontram em seus níveis máximos, ocasionando as inundações nas grandes cidades atrelado às políticas públicas ineficientes relacionadas à drenagem e manejo das águas pluviais.

Outra preocupação relacionada à água é quanto a sua qualidade, tendo em vista que em 2018 o consumo médio brasileiro esteve em torno de 154,9 litros por habitante ao dia (SNIS, 2018). Os centros urbanos podem ser responsáveis pela sua contaminação de forma direta ou indireta. De forma direta pode ser citado o esgoto, que no Brasil, no ano de 2018, o tratamento corresponde 46,3% da estimativa de esgoto gerado com um índice de atendimento total com rede de 53,2% (SNIS, 2018), ou seja, o restante do material escoar diretamente para os rios, lagos e baías, contaminando o meio ambiente. De forma indireta pode ser citada a contaminação de mananciais por agrotóxicos, utilizados em larga escala na agricultura com a finalidade de combater pragas e doenças, ou sua contaminação por lixões e aterros não controlados. As terras cultiváveis acompanharam o crescimento populacional para atender a demanda em constante expansão, tanto no movimento agrícola quanto agropecuário.

A alteração na biosfera pelo desenvolvimento urbano com a substituição da vegetação nativa por espécies novas e exóticas (grama, arbustos, árvores ornamentais, árvores frutíferas e outras) afetou a fauna, que gradualmente tendeu a se afastar pela perda do habitat natural. A mesma alteração que provoca a degradação do solo e mudanças na hidrologia também provoca mudanças atmosféricas e climáticas. Todas essas modificações que vem afetando a biodiversidade nos primeiros momentos de sua expansão, no século XXI teve seu aporte no comportamento humano que experimentou mudanças de costumes e da diversidade cultural promovida pelas mudanças climáticas, em que alguns autores tratam como perda da qualidade de vida (DIAS, 2013; OKE *et al.*, 2017, p. 5).

Para promover a minimização nas implicações do ecossistema urbano com a modificação da atmosfera e as mudanças climáticas, é necessário conhecer os fatores que

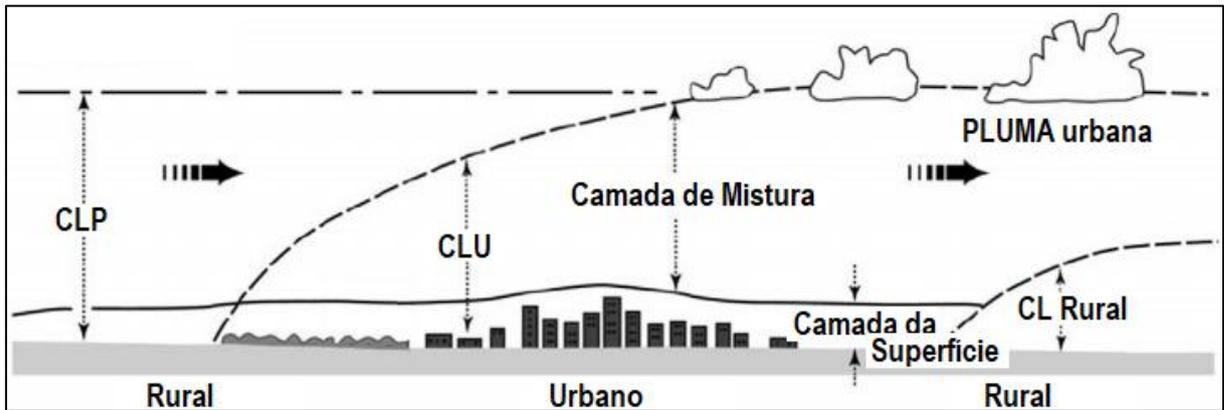
permitem a existência de uma arquitetura e planejamento urbano adequados ao lugar, auxiliando a discussão do papel do clima no projeto urbano, com um olhar para o conforto térmico e redução do consumo de energia elétrica.

O primeiro fator está relacionado às propriedades da superfície, um dos aspectos envolvidos na forma urbana que por sua vez engloba materiais naturais e construtivos, com suas propriedades radiativa, térmica e de umidade de uma superfície. A partir destas propriedades podem ser definidas: a capacidade de reter e transmitir calor e água; a cobertura da superfície composta por diferentes tipos de materiais que são importantes na divisão de calor (condução, convecção e radiação); e as estruturas urbanas que atentam para as dimensões dos edifícios, espaços entre eles e as dimensões e orientações das ruas, possibilitando o fluxo de ar e radiação solar incidente próximo ao nível da rua.

O segundo fator está relacionado à dinâmica urbana que difere ao longo do dia ou semana, com as atividades antropogênicas que liberam vapor de água, calor, líquido, gases e poluentes em geral, que podem contribuir com para o efeito estufa. Em aspectos gerais, o tecido urbano pode ser comparado a copa de uma árvore, no qual a radiação solar incidente é gradualmente absorvida e cria condições específicas de temperatura e umidade do ar, com o espaço delimitado pelos edifícios até seus telhados, conhecidos como “copa urbana” ou camada superficial, e as atividades antropogênicas que modificam a atmosfera e se estendem para além da cidade acompanhando a predominância do vento, conforme pôde ser visto na Figura 17 (OLGYAY, 1963; GIVONI, 1998, p. 241; OKE, 2017, p. 5). A imagem da Figura 20 auxilia o entendimento destas relações ao nível do mesoclima. Para o entendimento destas relações foi aqui adotada a definição apresentada por Ayoade (1986) que divide o clima a partir da sua escala de abrangência em: macroclima que envolve os movimentos atmosféricos em larga escala; mesoclima, presente na escala que varia entre 10 e 100 quilômetros de largura; e microclima que envolve os estudos do clima nas proximidades da superfície e abrange áreas com menos de 100 metros de extensão.

Na Figura 20 estão as diversas camadas limite presentes na mesoescala da atmosfera de um meio urbano. A camada limite da pluma (CLP) envolve a camada de mistura e a camada limite urbana (CLU) que vai variar de acordo com o processo de verticalização do local. No meio rural esta camada limite não atinge uma altura tão elevada quanto no meio urbano.

Figura 20 – Efeitos do clima na mesoescala.



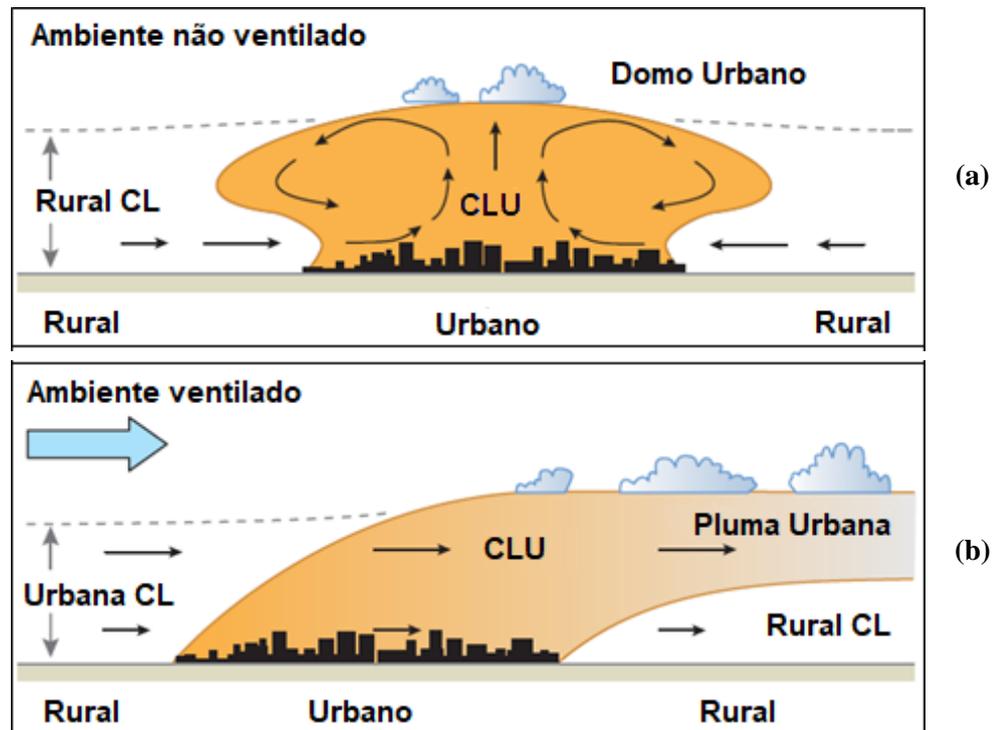
Fonte: Oke (2006)

Mascaró e Mascaró (2009) estratificam estas três escalas em relação aos dados obtidos. Os dados macroclimáticos são oriundos de estações meteorológicas e qualificam o clima regional por meio da insolação, nebulosidade, precipitação, temperatura, umidade e vento. Os dados mesoclimáticos não são de simples obtenção, pois utilizam informações relacionadas à topografia local, vegetação ou tipo de cobertura para mensurar as modificações do macroclima. Os dados microclimáticos são baseados nas ações antropogênicas que afetaram seu entorno, a influência que exercem sobre a ambiência.

Mascaró e Mascaró (2009) abordam os mesmos conceitos que Oke (1984) na estratificação do clima urbano. Entretanto, Oke (1976) estabelece o conceito de camadas verticais inseridas no microclima e mesoclima urbano. O nível microclimático se estabelece do solo até a cobertura das edificações, podendo ser denominado de camada intraurbano. É o ar existente próximo ao solo que influencia todo o microclima dos arredores imediatos. No nível mesoclimático, corresponde a camada acima da cobertura das edificações, podendo ser denominada de camada limite urbana. É a parcela em que as características climáticas são modificadas pela cidade. Ambas sofrem intensa influência na direção e intensidade do vento e do ciclo solar diário. Outra camada relevante é a pluma urbana que se encontra sobre a camada estável rural, entretanto, mais quente que o meio rural e originário da cidade. A Figura 21 retrata o comportamento do clima urbano em mesoescala, onde os ventos têm forte influência no deslocamento da massa de ar quente originada sobre as cidades.

Nos dias com ventos calmos, representado pela Figura 21-a, a concentração do ar quente sobre a cidade forma o que Oke (2017) chama de “domo”. Entretanto, com a incidência de vento o ar quente pode se deslocar sobre a camada rural, formando a pluma urbana (Figura 21-b).

Figura 21 – Camada limite urbana em mesoescala. (a) domo urbano com ventos calmos e (b) pluma urbana com um fluxo de vento moderado.



Fonte: Adaptado de OKE *et al.* (2017).

Em Oke (2017), na estratificação climática vertical, se verifica uma configuração com ausência de ventos regionais, o que acarreta o acúmulo da carga térmica e poluentes sobre as cidades, no qual pode ser denominado de cúpula urbana. Nessa configuração, ocorre a inexistência da pluma urbana. Entretanto, essa configuração é incomum surgir.

Brown e Gillespie (1995) observam o microclima por meio do balanço energético, similar a energia elétrica, com diferentes fluxos, trabalhos e perdas. Entretanto, levando em consideração a interação do sistema atmosférico com a vegetação, construções e cobertura do solo, é possível orientar o fluxo térmico assim como a corrente elétrica, bastando saber conectar os elementos certos. Para uma determinada localidade é disponível certa quantidade de energia, comumente na forma de radiação solar em kJ/m^2 . Essa energia pode ser usada para aquecer o solo ou evaporar a água, e o restante utilizado para aquecer o ambiente, nesse caso, denominado microclima. Se um ambiente estiver seco, não será necessário energia para evaporar a água, desse modo, mais energia será empregada para aquecer a superfície terrestre e o ar. Se o ambiente estiver úmido, grande parte da energia solar será utilizada na evaporação e o restante para aquecer a superfície e o ar. Desta forma, conhecendo a dinâmica do balanço energético é possível facilmente modificar o microclima alterando a forma que o vento, radiação e precipitação se relacionam com o meio. Esses elementos estão intrinsecamente conectados ao

conforto térmico que podem ser mensurados pela temperatura do ar e umidade relativa, consequentemente, a energia elétrica utilizada para climatizar edifícios, residências ou qualquer outro empreendimento a fim de proporcionar melhores sensações térmicas.

Os poluentes atmosféricos são originados por atividades antropogênicas ou fontes naturais, apesar das fontes antropogênicas prevalecerem no ambiente urbano, se espalham além dos limites das cidades. Forma-se então uma camada constituída por uma pluma (pluma urbana – Figura 20 e Figura 21) de elementos químicos única, podendo danificar ecossistemas terrestres e aquáticos. De maneira semelhante, os gases de efeito estufa (GEE) são emitidos nas cidades e afetam a capacidade de manter a temperatura da atmosfera terrestre em valores apropriados para a vida das espécies vegetais e animais. A maioria dos poluentes do ar é emitida durante a reação de hidrocarbonetos e oxigênio (O_2). Na sua combustão de forma adequada produz calor, luz, dióxido de carbono (CO_2) e vapor de água na atmosfera. Os hidrocarbonetos podem ser formados por combustíveis fósseis (gasolina, diesel, carvão e outros) ou biocombustíveis (madeira, bioetanol, biodiesel e outros) e na sua combustão inadequada podem liberar monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrogênio (NO_2), óxido nítrico (NO), dióxido de enxofre (SO_2) e outros. Em veículos automotores são utilizados conversores catalíticos para minimizar a emissão desses poluentes e em usinas de energia elétrica são empregados equipamentos com sensores de oxigênio, a fim de garantir uma combustão adequada e reduzir a emissão de monóxido de carbono, gás tóxico, ao invés de CO_2 (DIAS, 2013; IPCC, 2013).

Rees (1992) realizou uma análise para mensurar em hectares, a dimensão necessária para suprir a demanda por alimentos, produtos florestais e capacidade para absorver CO_2 produzido pela combustão de combustíveis fósseis ou fornecer o equivalente em biocombustível, isso para uma determinada região. Foi definido que seriam necessários 1,9 hectares para produção per capita de alimentos e de 3 a 4 hectares para os demais itens. A região escolhida se localiza no Canadá e possuía uma população de 1,7 milhões de habitantes, com uma área de 400 mil hectares. Desta forma, seriam necessários 8,3 milhões de hectares para sustentar uma população com alimentos e combustíveis fósseis para o estilo de vida da região no período avaliado, ou seja, a área não poderia suprir toda sua demanda e necessitaria “importar” recursos, o equivalente a 20 vezes a sua área. A *World Wide Fund For Nature* (WWF) realizou um levantamento similar para o Estado de São Paulo no ano de 2012, com uma população de 42 milhões de habitantes para uma área de 24,8 milhões de hectares, com uma pegada ecológica para o período de 3,52 hectares per capita. Com isso, o Estado necessitaria de uma área de 147,84 milhões de hectares, o equivalente a aproximadamente 6 vezes a sua área,

10 vezes a área do Estado do Amapá ou aproximadamente 34 vezes a área do Estado do Rio de Janeiro (WWF, 2012). Percebe-se que independente do período, região ou estilo de vida, a pegada ecológica que mensura entre outras propriedades, também a capacidade de absorver CO₂, revela que as cidades ou regiões possuem grande dificuldade de promover seu sustento de maneira autônoma, necessitando em parcela significativa, de regiões vizinhas.

Outra análise bastante abordada e complementar a pegada ecológica, é a Biocapacidade ou Capacidade Biológica conceituada por Wackernagel e Rees (1996), que mensura os recursos ecológicos e a capacidade de assimilar os resíduos em um determinado país, região ou em nível global. Abrange terras cultiváveis, pastagem, pesca, florestas fornecendo madeira e absorvendo CO₂, áreas construídas e instalações hidrelétricas que ocupam uma vasta área com seus reservatórios. A diferença na produção de produtos agrícolas ou pesqueiros entre regiões ou países pode ser mensurada em hectares globais (gha), em que algumas situações podem ser superiores à dimensão real em hectares. Tanto a biocapacidade quanto a pegada ecológica podem ser expressas em hectares globais (gha) que representam sua produtividade ou consumo.

A expansão das cidades com o crescimento populacional, demanda crescente por terra, aumento do consumo de energia elétrica e industrialização são os principais impulsionadores da mudança climática. Conforme comentado anteriormente estas expansões do meio urbano ocasionam o aumento nas concentrações de elementos poluentes (GEE e *arrossóis*) na atmosfera e provocando seu aquecimento, além de mudanças em larga escala no uso da terra e cobertura, modificando o balanço energético na *troposfera*⁹. O efeito direto é observado com temperaturas do ar mais elevadas em áreas terrestres, temperatura do oceano elevada e diminuição do pH em virtude da absorção de CO₂ (tornando-se ácido), aumento do nível do mar e redução da cobertura anual de gelo e neve. A tendência para as próximas décadas é de um aumento no contraste entre as regiões e estações úmidas e secas (IPCC, 2013, 2014).

O balanço energético na troposfera e suas alterações são mensurados por meio dos *radioativos forçantes*¹⁰ – RF que é quantificado em *watts* por metro quadrado (W/m²). O termo é usado para comparar os vários autores antropogênicos e naturais responsáveis pelas mudanças climáticas e de que forma afetam a troposfera. Estima-se que as atividades antropogênicas

⁹ Equivale a três quartos de toda massa da atmosfera, se estendendo por cerca de 10 quilômetros acima do solo. É onde ocorrem as variações climáticas e 90% do vapor de água no mundo se encontram nessa camada, com as mudanças da forma gasosa, líquida ou sólida e proporcionando as nuvens e precipitações (BROWN & GILLESPIE, 1995).

¹⁰ É uma medida que verifica as alterações na radiação líquida na troposfera em relação a de 1750, utiliza a unidade watts por metro quadrado (W/m²) (IPCC, 2013).

tenham elevado o RF global para valores entre +1,1 e +3,3W/m² em relação ao ano de 1750, ou seja, antes da Revolução Industrial. O RF leva em conta várias fontes que podem resultar positivamente (aquecimento) ou negativamente (resfriamento). No RF positivo, grande parte da contribuição é oriunda do GEE, principalmente CO₂, enquanto os aerossóis, apesar de modificar o balanço energético, são responsáveis pelas nuvens e precipitações, o que acarreta, em certa parte, um RF negativo relacionado ao resfriamento. A mudança de albedo com a substituição das florestas por terras agrícolas e de pastagem também causou um pequeno RF negativo. Comparando as mudanças naturais em RF desde 1750 em decorrência da alteração na irradiância solar e erupções vulcânicas que acabam injetando aerossóis, são estimados como tendo um pequeno efeito no aquecimento e resfriamento global, respectivamente. O impacto dos vulcões está ligado a fenômenos naturais e no ato da erupção, o que pode afetar a composição da estratosfera (camada acima da troposfera), o RF a longo prazo é pequeno (IPCC, 2013).

Folberth (2012) realizou uma modelagem com a emissão de poluente e GEE de 34 megacidades, de modo a mensurar a contribuição das cidades em valores globais de RF para um ano de referência de 2005 e projeção para 2050. Com a execução do modelo se observou que as cidades contribuem na faixa de 3 a 12% nas emissões globais de cada elemento (CO₂, CH₄, N₂O, NO_x, CO, SO₂, BC e OC), sendo sua maior contribuição em CO₂ (12%). Os resultados mostram que o RF global que pode ser atribuído diretamente as emissões das cidades é da ordem de +0,15W/m², que representa um aquecimento devido principalmente ao CO₂ (+0,12W/m²) e um pequeno resfriamento devido aos aerossóis (-0,0008W/m²). As emissões de CO₂ são relevantes na mudança climática proporcionada pelas megacidades, em termos de GEE, com aproximadamente 90% de contribuição e o restante a cargo do metano (CH₄). As emissões de CH₄ têm um grande impacto a curto prazo, podendo ser um importante viés para mitigação a curto prazo do clima.

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas - IPCC (2018) realizou projeções para 2100 com base nas emissões dos últimos anos que resultaram em uma elevação no aquecimento global em 1,5°C entre 2030 e 2052, tendo como referência a temperatura média da era pré-industrial. Estima-se que as atividades antropogênicas tenham causado aproximadamente um aquecimento global de 1,0°C até 2018. Os riscos relacionados ao clima para o meio ambiente e seres humanos são elevados, afetando a saúde humana com morbidade e mortalidade. As ilhas de calor urbanas amplificam os impactos das ondas de calor, possibilitando a potencialização de doenças transmitidas por vetores, como malária e dengue.

Os caminhos que limitem o aquecimento global a 1,5°C requerem medidas rápidas e de longo alcance no sistema de geração de energia elétrica, utilização da terra, infraestrutura urbana (incluindo transporte e edifícios) e sistemas industriais, implicando reduções de emissões profundas em todos os setores. No sistema de geração de energia elétrica se propõem que as fontes de geração tenham uma baixa emissão e que as fontes renováveis forneçam entre 70 a 85% da energia elétrica em 2050. No Brasil, no ano de 2020, cerca 73,34% da matriz de energia elétrica em operação são oriundos de fontes renováveis (eólica, solar, biomassa e hídrica) (ANEEL, 2020). No sistema urbano se propõe caminhos por meio da eficiência energética prediais para a redução da demanda de energia elétrica. Tomando como base o ano de 2010, se estabelece uma meta de reduzir de 55% a 75% a demanda de energia elétrica predial até 2050, de maneira que possa manter um aquecimento global a 1,5°C.

A eficiência energética é caracterizada como a capacidade de produzir a mesma tarefa com o menor consumo de energia. As discussões tomaram profundidade na década de 1990, após debates na Conferência Mundial do Meio Ambiente sobre o aumento das emissões de GEE e mudanças climáticas. Nessa conferência houve a estipulação de metas quantitativas e cronogramas que levassem a redução do consumo de combustíveis fósseis em conjunto com a redução dos GEE. Alguns países criaram ou reestruturaram instituições capazes de promover a eficiência energética no setor industrial, residencial, comercial, transportes, construção civil e equipamentos elétricos em geral (MENKES, 2004).

Segundo Aguilar (2018), a normalização permitiu comparar a eficiência de equipamentos com as mesmas características através de etiquetas, proporcionando ao consumidor informações imparciais sobre o consumo do equipamento. Apesar da etiquetagem ser adotada de forma voluntária pelos fabricantes, acaba estimulando a melhoria do rendimento dos equipamentos mensurados. Nos EUA, o programa aplicado em edificações possibilitou a redução no consumo de energia em 30% em casas residenciais novas. Essa etiquetagem em edificações leva em consideração o desempenho energético por meio da envoltória, iluminação e climatização.

No Brasil existem algumas políticas públicas voltadas para a redução do consumo de energia elétrica, combustíveis fósseis e derivados de petróleo, que no processo de produção ou consumo, acabem liberando CO₂ na atmosfera. Uma dessas políticas públicas vigentes no país é o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL, criado em 1985 pelo Ministério de Minas e Energia, visa promover o uso eficiente de energia elétrica evitando desperdícios e atuando na certificação de equipamentos, edificações, iluminação pública,

indústria, comércio e promovendo o compartilhamento do conhecimento nas escolas. No ano de 2019, o programa proporcionou uma economia de 4,48% no consumo de energia elétrica, evitando que fossem liberados para a atmosfera 1,6 milhão de toneladas de CO₂. Essa emissão poupada equivale a 557 mil veículos que circulariam durante um ano (PROCEL, 2020). O programa desenvolveu o PROCEL EDIFICA para o segmento das edificações, mas vem atuando através de parcerias com instituições de ensino e pesquisa para ampliação dos estudos de eficiência energética e conforto ambiental no contexto *urbano*¹¹. Esses tipos de políticas públicas demonstram a preocupação, não somente com os financiamentos extras que seriam necessários para suprir a demanda crescente de energia elétrica, mas também com as modificações que as cidades e o comportamento humano acabam proporcionando ao meio ambiente, não somente local, mas global.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA E DA ENERGIA NA CIDADE DE MACAPÁ

A cidade de Macapá sofreu significativas transformações em mais de 262 anos, principalmente nos últimos 77 anos com a criação do Território Federal do Amapá (TFA). A expansão demográfica e populacional vem refletindo seus efeitos indesejados no clima local. Vilhena, Silva e Freitas (2018) verificaram as mudanças climáticas em Macapá-AP por meio da Estação Meteorológica Convencional (EMC) do INMET (0° 2' 42.27" S, 51° 6' 35.53" O), código *OMM*¹² n.º 82098, que está em funcionamento desde 31 de dezembro de 1924, nela pode-se observar que houve um aumento na temperatura mínima média de 0,6°C em um período de 1968 a 2016, com tendência de evolução. Nessa diferença, os autores levaram em consideração as Normais Climatológicas de 1961-1990, que apresentam as médias mensais anuais durante 30 anos, a média anual dos últimos 48 anos (1968 a 2016) e os últimos anos de medição (2001-2016). Comparando a Normal Climatológica de 1961-1990 com a climatológica atual 1990-2019, observa-se um incremento de 0,7°C na temperatura mínima média anual foi de 1,2°C na temperatura máxima média anual, ambos com tendência de evolução. Esse aumento na temperatura média mínima e máxima tem relação direta com a expansão urbana de Macapá,

¹¹ Essas ações aparecem ilustradas em publicações, como por exemplo: "Planejamento e controle ambiental-urbano e a eficiência energética" e "Clima urbano e eficiência energética nas edificações" (IBAM/DUMA; ELETROBRAS/PROCEL, 2013; ELETROBRAS/PROCEL, 2011).

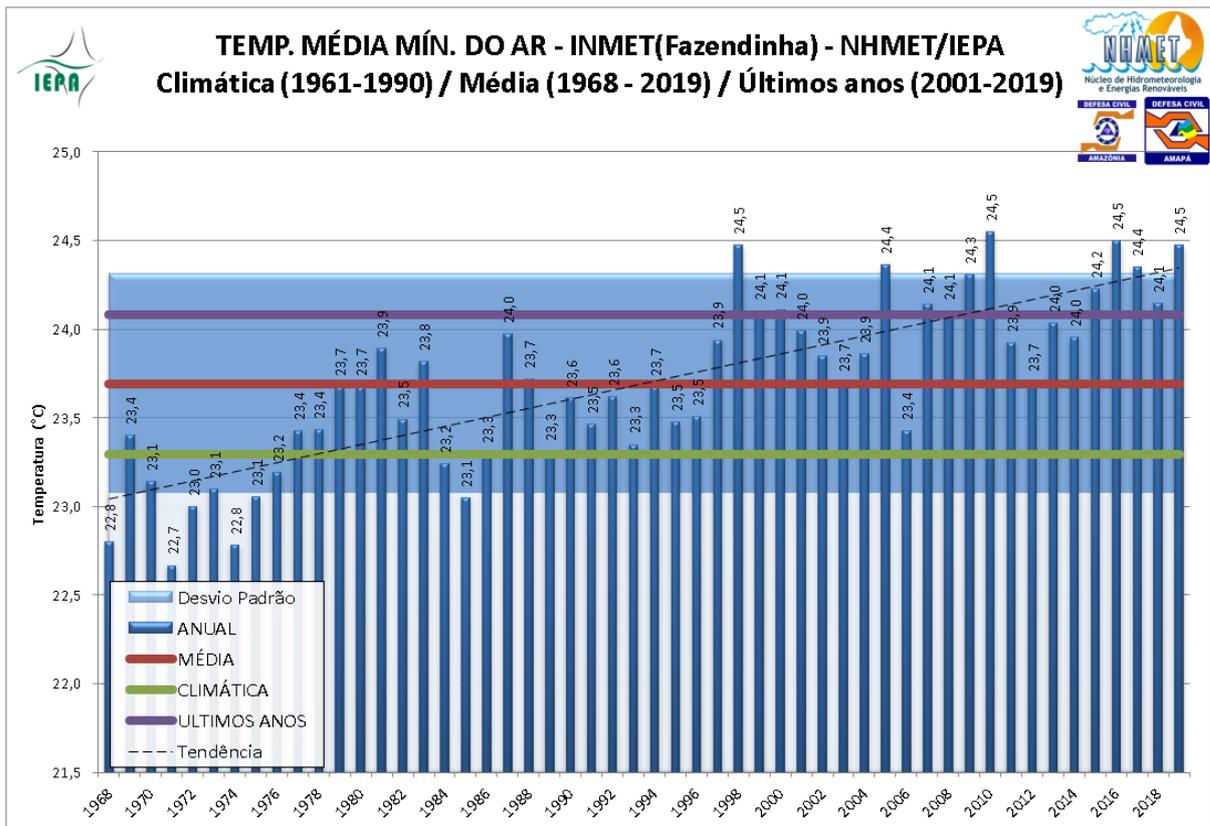
¹² A Organização Meteorológica Mundial (OMM) estabelece normas para medições e análises climatológicas, tendo como parceira no Brasil o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (VILHENA, SILVA E FREITAS, 2018).

pois até a década de 1990, a estação meteorológica convencional permanecia em uma região de campo, entre fazendas, e atualmente, as residências no Distrito da Fazendinha estão em sua volta.

Nas Figura 22 e Figura 23 é possível observar as temperaturas médias anuais mínimas e máximas nos últimos 51 anos (1968 a 2019) compilados pelo Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá (IEPA).

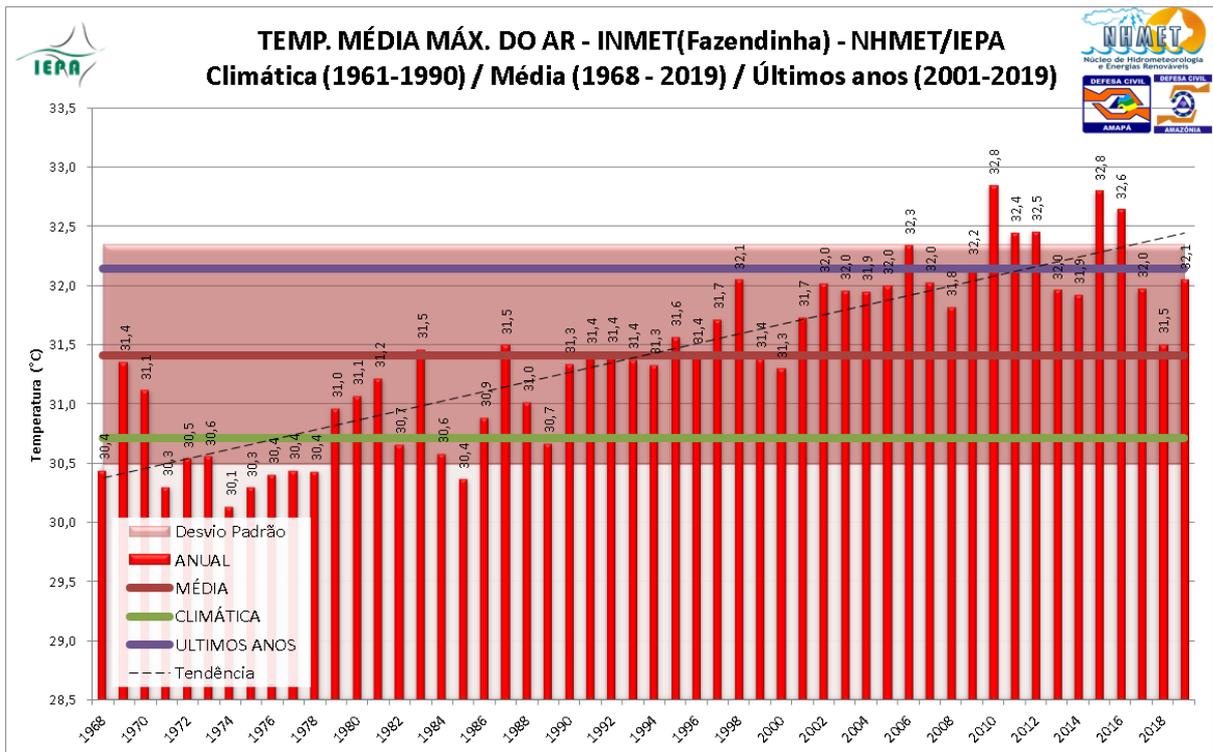
A próxima Normal Climatológica tem abrangência de 1991 a 2020, essa climatológica é composta das menores e maiores temperaturas registradas desde dezembro de 1967. A menor temperatura foi verificada em 31 de janeiro de 1996, registrando 19,6°C. No dia anterior havia sido registrado 19,9°C, que até então, era o menor valor. O recorde em temperaturas máximas vem ocorrendo desde 2008, atingindo o seu pico em 2016. Regularmente, os picos de temperatura são registrados no mês de outubro, conforme pode ser observado na Tabela 2.

Figura 22 – Variação de temperatura mínima média anual de 1968 a 2019.



Fonte: IEPA (2020).

Figura 23 – Variação de temperatura máxima média anual de 1968 a 2019.



Fonte: IEPA (2020).

Tabela 3 – Recorde nas temperaturas máximas na estação convencional do INMET.

Data	07/11/2008	09/10/2009	28/10/2010	30/10/2015	05/10/2016
Temp. (°C)	36,4	36,4	36,5	36,3	36,6

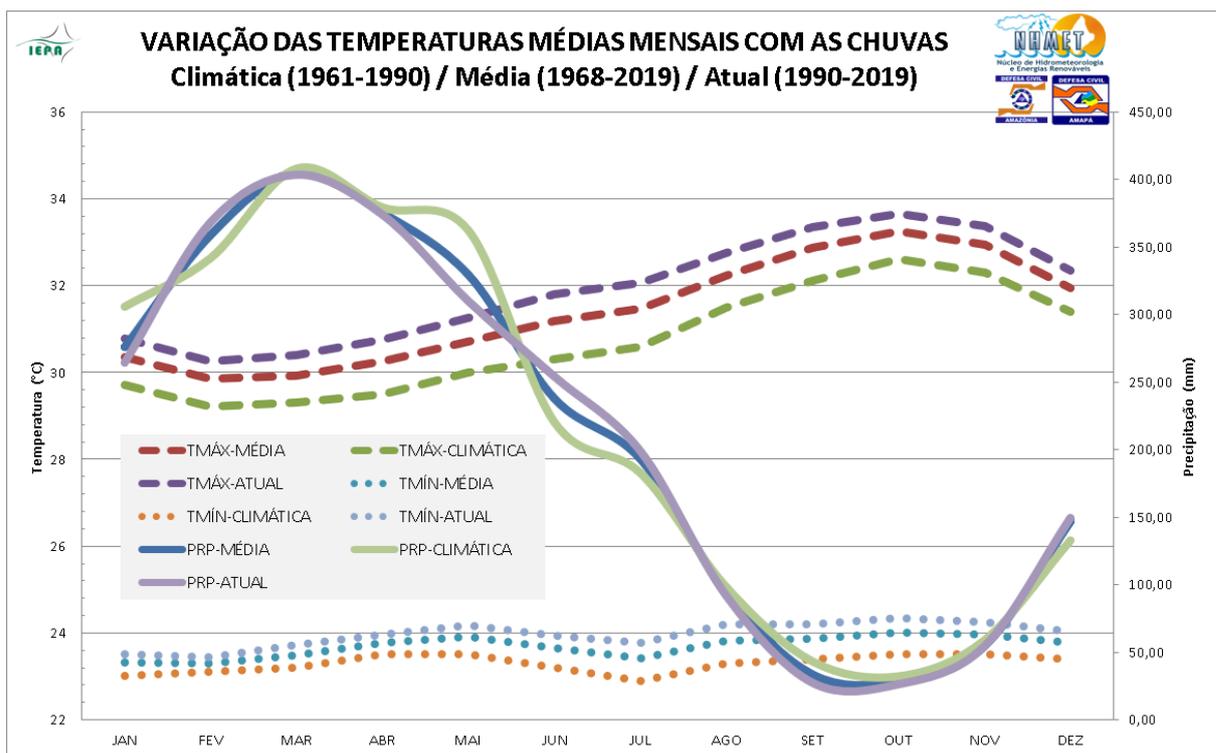
Fonte: Vilhena, Silva e Freitas (2018).

O registro das maiores temperaturas do ar surge no período de menor precipitação, com o oposto ocorrendo no período chuvoso, em que surgem as menores temperaturas do ar registradas ao longo do ano. O fato é sustentado pelas medições observadas e analisadas na estação convencional do INMET. Diferente do que ocorre nas cidades próximas ao trópico de Capricórnio, a quantidade de chuvas acima da média anual representa um clima quente, levado por uma precipitação acentuada. Na região amazônica, próxima a linha do Equador, a dinâmica é distinta.

Na região Norte do Brasil o conceito de clima quente e frio é associado ao regime das chuvas, conhecidos popularmente por Inverno e Verão Amazônico. Segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, o Estado do Amapá tem seu clima definido como Aw - clima tropical chuvoso de savana com estação seca de inverno (VILHENA, 2017, p. 39).

Cada cidade na região Norte pode ter uma climatologia característica, podendo ser averiguado pelo registro histórico nas estações meteorológicas da região. Na cidade de Macapá o inverno amazônico tem início, normalmente, no mês de dezembro e termina no mês de agosto, com seu pico de chuvas no mês de março com precipitação acima de 400 mm, e nos demais meses permanecendo acima de 60 mm até o mês de agosto. O verão amazônico inicia no mês de setembro com a proximidade do *equinócio*¹³ de primavera, com precipitações abaixo de 60 mm e perdurando até o final do mês de novembro. Apresenta seus picos de calor, normalmente, no mês de outubro, mês com o menor volume de precipitação (VILHENA, SILVA E FREITAS, 2018). Na Figura 24 pode ser observada a relação da temperatura do ar com as chuvas por meio da Normal Climatológica (1961 a 1990), médias dos últimos 51 anos (1968 a 2019) e a Climatológica Atual (1990 a 2019).

Figura 24 – Comparação entre as temperaturas médias máximas e mínimas com a precipitação de 1968 a 2019.



Fonte: IEPA (2020).

A partir dos dados é possível associar a expansão da cidade às alterações na dinâmica das variáveis climáticas, dentre elas a temperatura do ar. Com as mudanças climáticas espera-

¹³ Fenômeno conhecido com a passagem do sol pela linha do equador em direção ao norte, equinócio de outono no mês de março, e ao sul, equinócio de primavera no mês de setembro. O equinócio de outono (março), conhecido no estado do Amapá como equinócio das águas, marca o período de intensas chuvas na região. Na cidade de Macapá, cortada pela linha do equador, o período do equinócio é constatado pela duração do dia e noite, sendo exatamente de 12 horas (SILVA, VOELZKE & ARAÚJO, 2018).

se um desconforto acentuado devido às ilhas de calor na cidade de Macapá, no qual sofreu uma evolução relevante nas últimas décadas devido a criação do território e investimentos diversos.

O crescimento populacional, o consumo de energia elétrica e as mudanças climáticas possuem íntima relação. A previsão é que para 2050 a população brasileira ultrapasse os 230 milhões (UN, 2018) com uma demanda por energia elétrica 200% maior que a observada em 2016 e um aquecimento global em 2°C em relação a 1750 (IPCC, 2018), caso nenhuma medida corretiva seja efetuada. De maneira a atenuar o efeito antropogênico no mundo, os estudos sobre a ocupação dos espaços são de extrema importância para garantir uma qualidade de vida e bem-estar social em um futuro próximo, tendo em vista que as mudanças climáticas são percebidas na atualidade.

Uma relação pode ser construída entre mudança climática e energia elétrica, em um ciclo vicioso contínuo. Apesar da matriz energética limpa ou renovável representar 73,34% em 2020, nem sempre estão disponíveis para entrar em operação e gerar energia elétrica devido a intermitência do vento (eólica), chuvas (hídrica) e Sol (solar), necessitando das usinas termelétricas como complemento. Nos últimos anos, as condições hidrológicas e climáticas adversas têm causado uma redução no volume de água represada nos reservatórios das hidrelétricas, comprometendo sua capacidade de geração, o que levou ao acionamento de usinas termelétricas a combustíveis fósseis, elevando a liberação de CO₂, em especial entre 2011 e 2014 (SEEG, 2018).

Outro condicionante de seu elo ou ciclo vicioso, está relacionado ao aumento do consumo de energia elétrica em períodos quentes em virtude da climatização dos ambientes internos, tais períodos que estão se acentuando nos últimos anos. No estado do Amapá, até o ano de 2015, existia dificuldade no fornecimento de energia elétricas no período quente, que é exatamente o período de *baixa hidraulicidade*¹⁴ das usinas hidrelétricas no estado, em virtude da diminuição das chuvas. Nesse período de verão amazônico era necessário utilizar as usinas termelétricas para suprir a demanda elevada e, em casos de demanda de energia elétrica ser maior que a geração, algumas comunidades do interior permaneciam sem o fornecimento de energia por algumas horas. Com a interligação do sistema elétrico ao Sistema Interligado Nacional (SIN) pela linha de transmissão da Usina Hidrelétrica de Tucuruí, no estado do Pará,

¹⁴ Período de estiagem que leva a diminuição do nível dos reservatórios, levando a hidrelétrica a operar próximo da vazão mínima, conseqüentemente, com redução na capacidade de geração de energia elétrica.

o déficit de energia elétrica pode ser suprido pelas usinas hidrelétricas do Sul e Sudeste, que nesse período estão com seus reservatórios cheios.

A Figura 25 apresenta o consumo de energia elétrica mensal da cidade de Macapá para o período de 2013 a 2019, havendo a possibilidade de correlacionar com a precipitação. Entre os meses de fevereiro a abril, que registrou uma precipitação mensal entre 350 e 400mm, o consumo de energia elétrica é o menor ao longo do ano. Nos meses entre setembro a novembro que registrou uma precipitação abaixo dos 60mm, período conhecido como verão amazônico, a cidade de Macapá apresenta o seu maior consumo de energia elétrica. Esse registro permite validar que o clima urbano tem relação direta com a energia elétrica, havendo possibilidade de mitigação com atuação tanto na cidade (aspecto macro) quanto no ambiente construído (pontualmente).

Figura 25 – Consumo mensal de energia elétrica na cidade de Macapá para o período de 2013 a 2019.

CONSUMO DE ENERGIA - MUNICÍPIO DE MACAPÁ (GWh)														
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total	Variação
2013	55,52	50,48	51,35	52,74	52,23	58,02	52,97	54,69	60,14	61,64	65,95	61,16	676,82	
2014	60,80	51,39	51,97	57,21	55,14	58,28	59,71	60,69	66,32	64,51	66,07	62,76	714,83	5,62%
2015	62,14	60,51	57,71	58,76	58,30	59,86	62,62	62,83	65,49	63,39	71,09	68,71	751,50	5,13%
2016	63,46	61,75	61,00	59,49	62,04	63,08	63,87	66,35	68,50	68,45	72,00	66,02	776,02	3,26%
2017	59,66	53,77	54,04	53,99	62,71	60,96	59,29	69,04	75,10	61,43	67,37	63,82	741,19	-4,49%
2018	59,70	53,81	56,47	55,30	57,04	57,26	59,21	62,82	65,87	70,08	63,95	56,88	718,38	-3,08%
2019	54,12	54,16	53,21	54,96	59,39	58,69	62,69	65,15	68,22	67,88	67,67	65,38	731,51	1,83%

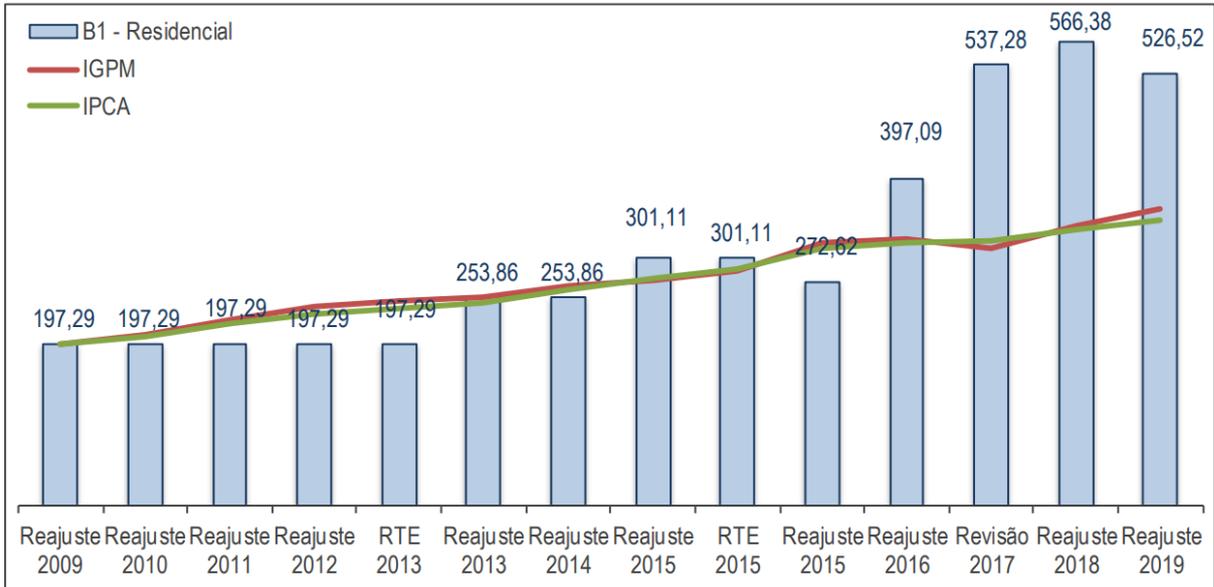
Fonte: CEA (2020).

A Figura 25 é possível notar que em 2017 e 2018 houve uma redução no consumo de energia elétrica anual, redução causada pelo reajuste tarifário que levou a tarifa de R\$ 197,29 o mega Watt-hora consumido em 2013 para R\$ 537,28 em 2017, conforme Figura 26. Com um reajuste acima do Índice Geral de Preços de Mercado (IGPM) e Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), teve uma redução de 4,49% em 2017 e persistiu em queda de 3,08% em 2018.

Apesar do SIN possibilitar o fornecimento de energia elétrica limpa por todo país com sua interligação, diminuindo a necessidade das usinas termelétricas, o acréscimo de carga elétrica evoluiu em velocidade superior à capacidade de geração de energia elétrica limpa. Em 1990, as usinas hidrelétricas eram responsáveis por 93% da energia elétrica do país, passando para 66% em 2016, havendo em parte uma complementação de geração térmica responsável pela emissão de 8,6 milhões de toneladas de CO₂ em 1990, seguindo para 54,2 milhões de

toneladas em 2016. A emissão por geração de energia elétrica está na terceira posição em relação às energias, ficando atrás do transporte e indústria (SEEG, 2018).

Figura 26 – Evolução da tarifa residencial B1 da CEA no período de 2009 a 2019.



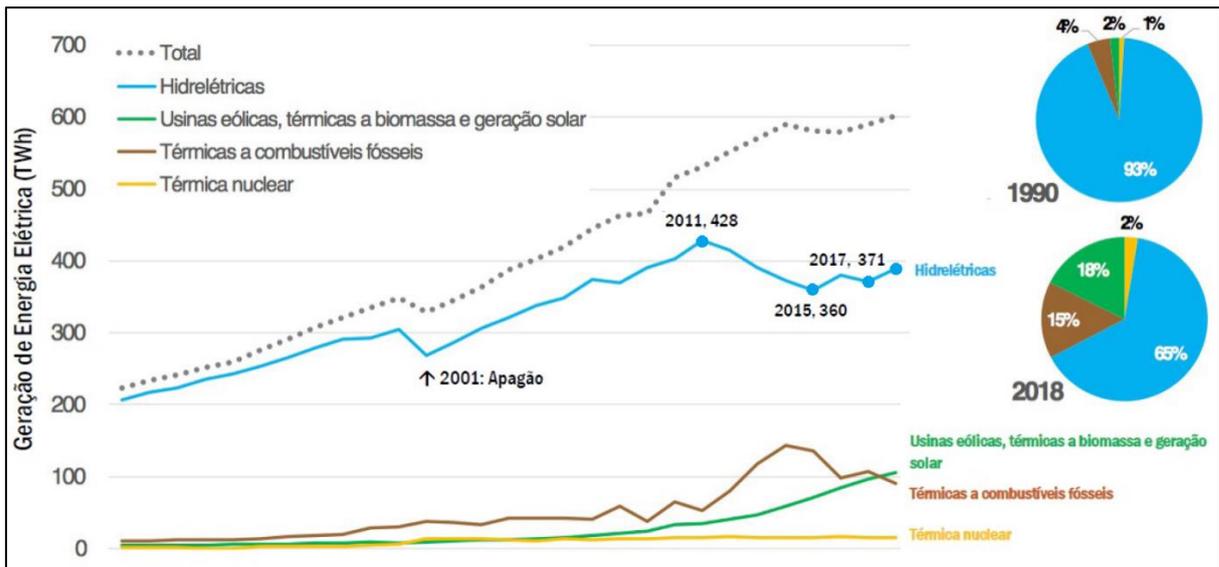
Fonte: ANEEL (2019a, p. 8).

Na Figura 27 pode-se acompanhar a evolução da oferta por tipos de geração e demanda de energia elétrica entre 1990 e 2018. Os investimentos em geração hídrica sempre foram maiores que as demais fontes, entretanto, a partir de 2001 com o “apagão” energético, os investimentos se voltaram, a priori, para as termelétricas e mais recentemente as fontes de energia eólica e solar, não deixando de lado as hidrelétricas, apenas permitindo a curto prazo que a geração pudesse estar disponível. Desta maneira, em 2011 com a diminuição da parcela na geração hídrica devido novamente a baixa hidraulicidade das principais usinas no país, as fontes de energia providas a combustíveis fósseis e eólica permitiram que o SIN não entrasse em um novo período de racionamento de energia elétrica, contudo, passando a emitir uma quantidade superior de CO₂.

No ano de 2019, o setor comercial brasileiro apresentou uma demanda de 19,1% do consumo total de energia elétrica com uma parcela de 6,9% de clientes. Na esfera comercial, o ramo varejista apresentou um consumo que representa 4,92% do consumo total brasileiro (EPE, 2020). Com uma parcela significativa no consumo de energia elétrica, se estratificou o consumo no setor comercial e obteve 47% provenientes da climatização, 22% iluminação e 31% demais cargas (computador, tv, micro-ondas, cafeteira e outros). Este cenário possibilita entender a dinâmica do consumo e, conseqüentemente, vislumbrar qual a ação necessária para promover

sua redução. Uma das formas pode ser reforçar a ideia de aumentar a eficiência energética nas edificações, acompanhado da introdução de vegetação que possibilita a redução da temperatura da massa de ar na altura do pedestre e próximo aos empreendimentos comerciais, além de proteger as fachadas da radiação direta e conseqüentemente, redução no consumo de energia elétrica empregada na climatização (ELETROBRAS, 2005; DALL'AGNOL, 2018).

Figura 27 – Evolução da oferta por tipo de geração de energia elétrica entre 1990 e 2018.



Fonte: SEEG (2019, p. 16).

A utilização de geração distribuída fotovoltaica é outra vantagem para o setor comercial, pois o seu horário de funcionamento coincide com a geração de energia elétrica fotovoltaica que depende da radiação solar, reduzindo a demanda de energia elétrica nas linhas de distribuição que tem seu pico próximo das 15:00 horas, coincidindo com as temperaturas máximas registradas durante o dia. As conseqüências de se utilizar um sistema de geração distribuída no setor comercial estão especialmente ligadas a diminuição de perdas nas linhas de distribuição, vantagem para o setor elétrico, e uma melhora no perfil da energia elétrica, o que evita o mau funcionamento de equipamentos eletroeletrônicos que poderiam causar prejuízos financeiros aos estabelecimentos.

A utilização de dados obtidos tanto na parte de medições in loco quanto de simulações em computador para o estudo dos efeitos climáticos no ambiente, permite o desenvolvimento de análises de cenários existentes e, ainda, de testar cenários para possíveis alterações de interesse. É possível inclusive testar a redução de demanda de energia elétrica proporcionada pela diminuição da temperatura do ar, no ambiente externo, decorrente da introdução ou reintrodução da vegetação. Este fato pode ser avaliado, para simular a introdução de novas

espécies arbóreas com impacto no setor elétrico. Essa análise permite quantificar monetariamente em curto, médio e longo prazo seus efeitos relacionados ao consumo e financiamentos previstos na expansão do sistema de distribuição de energia elétrica, que permanece em constante expansão. Dall’Agnol (2018) retrata que o consumo de energia elétrica no mundo tem aumentando nos últimos anos, com 40% do consumo nos edifícios, sendo este consumo responsável por 30% da emissão de CO₂. No Brasil, a expectativa de aumento do consumo de energia é de 3 a 5% a cada 5 anos e as edificações correspondem a 51% do consumo de energia elétrica, sendo responsável por 17,2% das emissões totais de GEE no setor de energia (transporte, indústria, geração de energia elétrica, produção de combustíveis e outros), representando 5% das emissões totais de GEE no Brasil.

A eficiência energética é abordada como um forte vetor no desenvolvimento sustentável e atenuador nas modificações climáticas, na atenuação da escassez de recursos naturais, impactos econômicos, sociais e ambientais. Atrelada à eficiência energética são incluídas o uso de fontes renováveis em ampla escala na *geração distribuída*¹⁵, promovendo uma matriz energética sustentável com a geração local e redução das perdas na transmissão e distribuição.

O conceito de eficiência energética está articulado a um conjunto de medidas que visam diminuir os gastos em energia, seja elas por meio de equipamentos elétricos que consomem uma quantidade de energia elétrica superior para realizar um determinado trabalho ou pelo combustível, também uma energia, empregada para manter um automóvel ligado no meio de um congestionamento. Técnicas que maximizem a mobilidade urbana podem ser consideradas de eficiência energética, assim como o projeto urbano que busque aproveitar e canalizar o vento sobre a cidade com a finalidade de retirar o ar quente. Todo e qualquer procedimento que maximize o aproveitamento de energia com mudanças de hábitos, equipamentos elétricos com melhores rendimentos, projetos urbanos que valorize as vias, porosidades das quadras e vegetação, são técnicas de eficiência energética.

No Brasil existe o Programa de Eficiência Energética (PEE) regulado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), criado em 1998, que busca promover o uso eficiente de energia elétrica por meio de projetos que potencialize os benefícios públicos da energia economizada com a demanda evitada. Essa demanda evitada surge na transformação do

¹⁵ São fontes de energia elétrica, principalmente solar, que geram no local de consumo ou próximo a ele, injetando sua energia elétrica no sistema de distribuição da concessionária, o que permite compensar o consumo com a geração. Essa modalidade de geração teve sua regulamentação em 2012 com a Resolução Normativa (REN) nº 482/2012 - ANEEL, limitando a uma geração máxima de 5MW.

mercado mais eficiente energeticamente, estimulando novas tecnologias e novos hábitos e práticas racionais no uso da energia elétrica (ANEEL, 2019b).

No meio urbano, a vegetação e consumo de energia elétrica estão intimamente conectadas nos pequenos, médios e grandes centros urbanos. O aumento da taxa de vegetação impacta inversamente no consumo de energia elétrica de forma indireta, podendo entrar na lista de itens que levam a eficiência energética. A substituição de uma árvore para possibilitar a locação de postes de iluminação, telefonia e rede de distribuição de energia elétrica, acarreta uma incidência de vento e radiação solar, exigindo maior tempo de funcionamento dos climatizadores para atingir determinados estados de conforto térmico. Como citado em Rosenfeld *et al.* (1995), que as áreas urbanas têm, na sua grande maioria, superfícies mais escuras e com quantidade reduzida de vegetação quando comparadas a áreas vizinhas. Isto afeta diretamente o clima, o uso de energia e a qualidade de vida nas cidades.

Taha (1997) realizou a análise de parâmetros com potencial de interferir nas ilhas de calor, entre eles o albedo das superfícies, a evapotranspiração da vegetação e o calor antropogênico. Pode-se constatar que os três parâmetros têm influência direta na alteração do clima nas proximidades da superfície. As simulações indicaram que as cidades podem reverter com facilidade as ilhas de calor e minimizar seus impactos no consumo energético com o simples aumento do albedo dos materiais que compõem as coberturas e pavimentos, além da arborização. A simulação mostra que com aumento razoável no albedo nas áreas urbanas geram uma redução de até 2°C na temperatura do ar. O aumento da vegetação em áreas urbanas provoca uma redução de 2°C, podendo chegar a 4°C em determinadas situações meteorológicas favoráveis.

Milano e Dalcin (2000) abordam que a radiação solar, temperatura do ar e de superfície, umidade relativa do ar, precipitação e circulação de ar são afetados por atributos urbanos, como: característica de sua superfície, material empregado, edificações e ausência de vegetação.

Akbari e Konopacki (2004) afirmaram que a arborização contribui significativamente no resfriamento das cidades e redução do consumo de energia elétrica. Por meio de simulações para o verão da região metropolitana de Toronto, Canadá, se aplicou telhados e superfícies com alto índices de albedo, de maneira que possuíssem baixa emissividade, e árvores estrategicamente posicionadas para proporcionar o sombreamento. Da economia obtida, 59% se deteve no setor residencial, 28% no setor comercial e 13% em escritórios. Estima-se que a

economia anual seja de cerca de 150 GWh. Nessas simulações pode-se verificar que o sombreamento das árvores contribuiu em 30% da economia obtida.

Akbari e Konopacki (2005) realizaram um estudo que verifica as estratégias que reduzem as ilhas de calor por meio de telhados reflexivos, sombreamento por árvores, calçadas reflexivas e demais vegetações urbanas, e conseqüentemente, analisou o uso de energia elétrica no resfriamento dos edifícios. Entre as abordagens simuladas, verificou-se que nos empreendimentos comerciais houve uma redução nas ilhas de calor, com prédios construídos antes de 1980, de 10 a 17% e prédios pós 1980 de 7 a 14%. A redução na demanda de energia em momentos de pico variou entre 0,4 e 0,7 kW em prédio pré 1980 e 0,2 e 0,3 kW para prédios pós 1980.

Nesse contexto, o processo de urbanização, o conforto ambiental, as mudanças climáticas e a geração de energia elétrica possuem relação intrínseca. Se torna pertinente compreender sua dinâmica em uma climatologia sobre a linha do equador que difere do restante do país, pois sabendo que no verão é quando tem-se a maior demanda por energia elétrica vinculada a climatização. Sabe-se também que é o período de melhor incidência de radiação solar, com isso, melhores condições de geração distribuída por meio de painéis fotovoltaicos. Como a carga elétrica é elevada no Centro Comercial justamente durante o dia, a geração distribuída pode ser vista como uma alternativa de alívio da rede elétrica. Entretanto, precisa-se compreender como a forma urbana e os materiais empregados atualmente estão contribuindo no acréscimo da temperatura nos ambientes internos e externos, não esquecendo que os equipamentos de climatização transferem para o ambiente externo o ar quente. Todas essas variáveis devem ser analisadas para compreender o ambiente externo, recomendando medidas que possam amenizar o desconforto térmico e o consumo de energia elétrica no Centro Comercial de Macapá.

2.3 CONFORTO TÉRMICO E OS ÍNDICES DE CONFORTO

No meio urbano, para elencar as alternativas de mitigação do clima indesejado, é importante compreender o balanço energético e como os elementos climáticos e construtivos o influenciam. O balanço energético urbano é a base do estudo para o microclima ou clima interagindo com os elementos do ambiente urbano, aplicando o princípio da conservação de energia nas superfícies e volumes com a transferência e armazenamento de energia dentro de um sistema urbano e com a atmosfera. No ecossistema urbano, o balanço energético pode ser

analisado por meio de superfícies (asfalto, calçada, parede, telhado e outros) que se relacionam com os elementos imersos na atmosfera urbana (corpo humano, edifícios e áreas verdes) e o ar na troposfera. Os quatro principais modos de transferência de energia de um corpo ou superfície a outro são devido a radiação de ondas longas ou *infravermelha*¹⁶, evaporação, condução e convecção de calor para o ar pelo vento. Com esses conceitos percebe-se a existência de oportunidades de manipular a energia entre os vários elementos e formas urbanas existentes, projetando um microclima alvo (BROWN & GILLESPIE, 1995). Givoni (1998) aborda com profundidade os meios e modos de se trabalhar com a forma e materiais nas edificações e no meio urbano para se atingir um clima específico, levando em conta o conceito do balanço energético para adotar estratégias que permitam armazenar calor em climas frios ou liberar em climas quentes. A preocupação não se baseia em apenas projetar um edifício com formas irreverentes, e sim em projetar um edifício que possibilite aproveitar a radiação e ventilação para promover um clima interno desejado, levando em conta o consumo de energia elétrica. Outro ponto bem abordado leva em conta a interação dos edifícios e materiais com o clima urbano, com a forma urbana e as maneiras de mitigar os climas indesejados, mostrando a importância das áreas verdes tanto em climas frios (funcionando como barreiras para o vento) quanto em climas quentes (refletindo a radiação solar, principalmente de ondas longas).

Brown e Gillespie (1995), relacionam a umidade do solo ao conforto térmico, exemplificando que a baixa umidade impacta em uma maior absorção por parte do solo para uma radiação incidente durante o dia, havendo a liberação durante a noite e ocasionando uma elevação na amplitude térmica. A umidade é a quantidade de vapor de água na atmosfera e está associada à temperatura, portanto, quanto maiores temperaturas, maiores capacidades de reter vapor de água. Nessa lógica, se evidencia e comprova a elevada umidade encontrada nas zonas equatoriais que dispõem de radiação e temperatura acima da média anual.

A água e a umidade são tratadas como elementos relevantes e que precisam de um cuidado especial para cada clima e região. A água pode ser utilizada na obtenção de microclimas favoráveis a partir de sua inércia térmica (lâminas d'água, lagos e canais) e evaporação (fontes, surtidores, cascatas). Entretanto, se tem a recomendação de evitar a absorção de umidade e diminuir a pressão de vapor nas estações quente e úmidas, podendo ser relacionada tal citação com as zonas equatoriais de climas semelhantes.

¹⁶ A energia solar é composta por radiação ultravioleta, luz visível e radiação infravermelha ou de ondas longas. A radiação infravermelha é emitida por todo e qualquer objeto e depende diretamente de sua temperatura. Na atmosfera acaba interagindo com os GEE (BROWN & GILLESPIE, 1995).

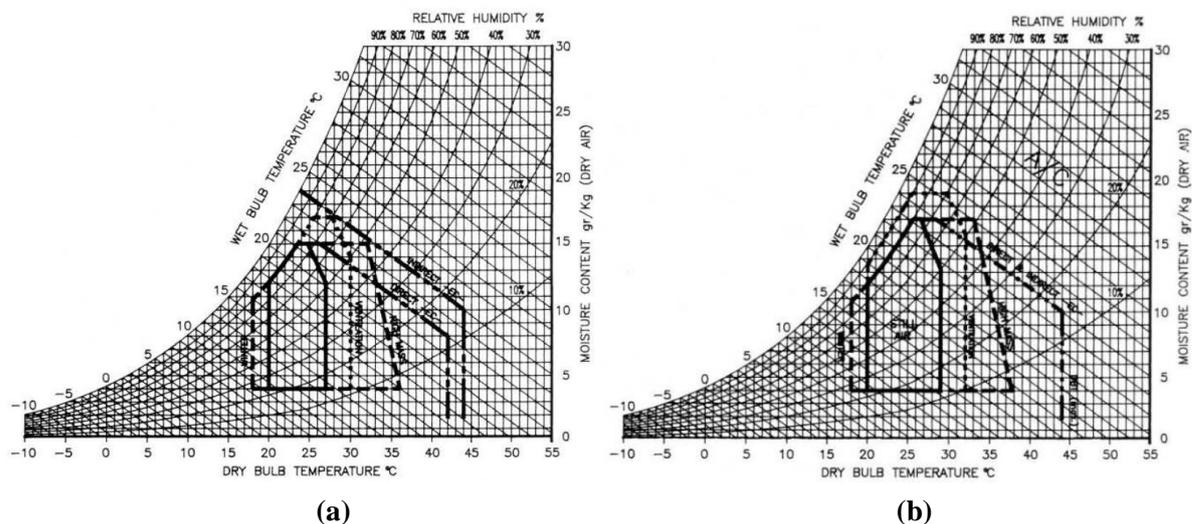
Os índices de albedo e emissividade dos materiais são fatores importantes na cidade, conhecer sua correlação com o clima permite alterar materiais e métodos, a fim de adequar ao conforto humano. O albedo ou coeficiente de reflexão representa a razão entre a radiação incidente e a refletida pela superfície e a emissividade (ϵ), representa a eficácia de uma superfície em emitir energia na forma de radiação térmica. No ambiente urbano, Oke *et al.* (2017) cita as estradas e telhados que usualmente são compostos por materiais escuros, acarretando um albedo na faixa do 0,05 a 0,15. As paredes são mais claras, com albedo na faixa de 0,15 e 0,30. Com esses elementos, pode-se verificar sua emissividade que se torna superior a 0,90, podendo existir materiais com valores significativamente menores. As pinturas externas e os revestimentos do telhado podem ser selecionados de forma a minimizar a absorção de calor, luminosidade e outros. Desta maneira, o vidro da janela pode ser selecionado para ajudar a controlar a iluminação interior, minimizar o ganho de calor solar ou refletir a radiação de onda longa (infravermelha). A lei de Kirchhoff ($\epsilon_\lambda = \varphi_\lambda$) afirma que um material com baixa emissividade possui uma absorção de ondas longas baixa, afetando a irradiação de calor aos objetos na proximidade. O ambiente externo em uma cidade com um dia quente pode evidenciar a simples escolha dos materiais empregados, como a utilização de tinta clara nas paredes e telhados. Tais escolhas afetam o balanço energético nas ruas e vizinhanças.

No balanço energético trabalhado em Brown e Gillespie (1995) é abordado a atuação da vegetação por meio das folhas na forma de albedo. As folhas utilizam grande parte da radiação solar visível na fotossíntese, o restante é refletido e transmitido com a radiação de ondas longas. Pode-se mensurar que 60% da radiação refletida, 10% é de onda visível e 50% de ondas longas. Na transmissão, se estima que dos 40% restantes, 10% seja de onda visível e 30% de ondas longas. Portanto, múltiplas camadas de folhas auxiliam a reduzir a transmissão e aumentam a reflexão.

O termo arquitetura bioclimática ou projeto bioclimático surgiu de forma inicialmente no trabalho dos irmãos Aladar e Viktor Olgyay (1963), que possuía como objetivo o conforto térmico humano adequando ou modificando os elementos ao seu redor com base nos elementos regionais. Em seu trabalho abordando o tema, construiu a carta bioclimática que possuía no centro uma zona de conforto e fornecia medidas necessárias para a correção, caso apresentassem pontos fora da zona. Esses pontos recebiam dados do clima externo e propunham métodos de adaptação do edifício ao clima. Givoni (1969) apresentou a carta bioclimática por ele denominada “carta bioclimática de construções”, *Building Bioclimatic Chart* - BBCC (Givoni, 1976) ampliando a proposta inicial de Olgyay (1963). Ele teve como base as

temperaturas internas dos edifícios para desenhar uma *carta psicrométrica*¹⁷ que pudesse expressar as estratégias, como sistemas de refrigeração passiva ou de baixa energia, sem perder o conforto térmico interno em climas quentes e sem sistema de climatização. As medições foram efetuadas nos Estados Unidos, Europa e Israel. Govoni (1992) efetuou revisões sobre os limites da zona de conforto de sua carta original e a observação de que os habitantes de regiões quentes e úmidas, toleravam valores mais elevados de temperatura e umidade do ar. Esta capacidade de aclimatização foi fundamental para indicar a necessidade de orientação distinta e o desenvolvimento de diagramas de conforto específicos. Foram então apresentadas duas versões: uma para clima temperado e outra para as regiões quentes úmidas (Figura 28).

Figura 28 – Cartas bioclimáticas desenvolvidas por Givoni (1998): (a) carta bioclimática para climas temperados e (b) carta bioclimática para regiões tropicais úmidas.



Fonte: Givoni (1998, p. 79-80).

Observa-se a partir da Figura 28 que a região definida como zona de conforto aparece ampliada (Figura 28-b) admitindo valores de temperatura de bulbo seco e bulbo úmido mais elevadas que aquelas apresentadas na Figura 28-a. Este efeito é resultado da tolerância dos habitantes locais, um processo de aclimação.

De acordo com a ASHRAE (American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers) o conforto térmico é definido como o “estado mental que expressa satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda”, ou seja, a sensação de nem frio,

¹⁷ Relaciona temperatura do ar e umidade absoluta com uma zona de conforto que se encontra em destaque no centro do gráfico. Os pontos dentro da zona de conforto representam o estado de temperatura e umidade que levam as pessoas se sentirem bem (CORBELLA & YANNAS, 2009).

nem quente. Para englobar as diversas variáveis envolvidas na sensação térmica, como este ambiente térmico é percebido pelo homem, foram desenvolvidos os índices de conforto.

Dentre os índices que podem ser encontrados na literatura há o Índice de Stress Térmico (ITS) desenvolvido por Givoni (1976) capaz de descrever os mecanismos de trocas entre o corpo e o ambiente, sendo, portanto, um “índice biofísico”. As cartas bioclimáticas, tanto de Olgyay (1963) como de Givoni (1976) e os índices de conforto como o PMV (FANGER, 1973), vislumbram fornecer parâmetros para o desenvolvimento de um ambiente agradável para se viver e trabalhar, adequado a uma determinada região. A sensação térmica é um conceito subjetivo que, portanto, varia de pessoa para pessoa dentro de um mesmo ambiente ou entre indivíduos de regiões distintas. Esse conforto térmico é intrínseco à sensação humana de calor e frio que são percebidas por meio da temperatura do ar, umidade, velocidade do vento, radiação solar incidente sobre o corpo e a radiação média das superfícies vizinhas, que acabam alterando a sensação de conforto térmico das pessoas. Uma pessoa se diz em uma zona de conforto quando a temperatura da pele está aproximadamente a 35°C, no qual o indivíduo não realiza trocas de energia com o ambiente recebendo e/ou emitindo calor.

Variáveis humanas ou individuais também interferem na sensação de conforto térmico e vão variar de indivíduo para indivíduo. O metabolismo, tendo o MET como unidade utilizada para descrever a energia produzida por uma unidade de área de uma pessoa em repouso (1 MET = 58 W/m²). Caso o ambiente esteja quente ou o metabolismo humano se encontre fornecendo calor devido a uma atividade física intensa, a temperatura da pele tende a aumentar, neste último caso em decorrência da dilatação dos vasos sanguíneos que transferem o calor interno do corpo para a superfície da pele, que posteriormente o dissipa para o ambiente por meio da radiação, condução, convecção e evaporação (CORBELLA e CORNER, 2011).

As vestimentas também são consideradas variáveis humanas e são representadas por valor adimensional, o CLO. Este valor é tabelado e varia de acordo com o tipo de vestimenta e tecido. Outras variáveis que interferem na sensação térmica do indivíduo são idade, altura, peso, hábitos alimentares e culturais, sexo, saúde etc.

O desenvolvimento dos índices de conforto, portanto, não é uma tarefa trivial, uma vez que eles tentam englobar em um único fator grande parte das variáveis ambientais e humana e ser capaz de representar a sensação de conforto para um número maior de pessoas. Dois grupos que diferem na forma de abordagem podem ser apontados: os que têm como base o balanço de energia e os que focam em abordagem adaptativa. Estes últimos envolvem pesquisas realizadas

em situação real. Sem interferência do pesquisador no andamento das atividades e nas variáveis ambientais. O homem é um agente ativo com capacidade de interagir com o meio de acordo com suas sensações e preferências térmicas.

Um índice bastante empregado é o índice pelo voto médio predito (PMV, do inglês *predicted mean vote*), proposto por Fanger (1973) e baseado no balanço de calor. Ele foi desenvolvido a partir de pesquisas realizadas em ambientes totalmente controlados pelo pesquisador. Neste ambiente tanto as variáveis ambientais quanto pessoais são manipuladas, sendo o homem um receptor passivo do ambiente térmico. Ele prevê o valor médio para um grande grupo de pessoas usando parâmetros ambientais (temperatura de bulbo seco, temperatura média radiante, velocidade do vento e umidade do ar relativa) e humanos (vestimenta e taxa metabólica). Neste estudo as pessoas registram seu voto de acordo com a escala sétima (indicar os valores -3, -2 -1, 0, 1, 2, 3), que aponta desde muito frio até muito quente. Em conjunto com o PMV, se utiliza a porcentagem de pessoas insatisfeitas (PPD, do inglês *predicted percentage dissatisfied*), que devido a variação de sensação térmica entre as pessoas, se torna improvável que todos os usuários de um ambiente se sintam termicamente confortáveis. O PPD pode ser determinado com base no PMV e seu valor varia de 0 a 100. Os índices PMV e PPD são utilizados pela Norma ISO 7730 (2005) e ASHRAE 55-2004.

Os primeiros trabalhos sobre conforto térmico de Haldane (1905), Houghten e Yagloglou (1923), Vernon e Warner (1932), Bedford (1936) e até mesmo de Olgyay (1963), buscavam identificar uma zona de conforto nos edifícios e fábricas, ou seja, em um ambiente fechado e possível de ser controlado com os sistemas passivos e ativos (SZOKOLAY, 1997). No ano de 2000, o *Environment Canada* divulgou uma atualização do índice de conforto ao ar livre em condições frias, chamado por *Wind Chill Index*, impulsionando o estudo sobre o conforto térmico externo (HÖPPE, 2002). Desde então, o tema passou a adquirir profundidade com os trabalhos produzidos por Ahmed (2003), Spagnolo e De Dear (2003), Johansson (2006), Thorsson (2007), Krüger et. al. (2012), Pantavou (2013) e outros, para variadas regiões, climas distintos e diversas metodologias e análise.

Johansson (2006) retrata a deterioração do ambiente externo nas cidades tropicais devido ao processo acentuado de urbanização, levando a uma série de problemas relacionados à saúde e bem-estar nos seres humanos, além de afetar negativamente as atividades sociais e comerciais ao ar livre. Na zona tropical, o conforto térmico se encontra acima da suposta zona de conforto em decorrência da combinação de intensa radiação solar, altas temperaturas e baixa velocidade de vento, principalmente em dias claros. As piores situações foram devido às ruas

largas com prédios baixos e sem sombra de árvores. A fim de melhorar o conforto em ambientes externos, Johansson (2006) sugere uma forma urbana mais compacta, com cânions de ruas mais profundos e sombra adicional através do uso de árvores, passarelas cobertas, galerias de pedestres e outros. Além da abertura na faixa costeira com ruas perpendiculares e edifícios em alturas irregulares permitiriam que a brisa do mar penetrasse ainda mais nas cidades, pois as cidades equatoriais possuem ventos fracos em nível macro. Um ambiente externo confortável promove benefícios sociais, culturais e econômicos, em especial em países quentes com risco de doenças relacionadas ao aumento da temperatura. Também tem influência positiva no ambiente interno, acarretando um uso menor de energia elétrica na climatização de espaços.

No aspecto construtivo com relação aos espaços públicos, Bustos Romero (2015) retrata a complexidade de se trabalhar para conceber uma unidade arquitetônica que possua elementos ambientais, climáticos, históricos, culturais e tecnológicos, de modo a obter um fim funcional e agradável à realidade de seus usuários, possibilitando uma integração harmoniosa ao tecido urbano. Essa integração ao tecido urbano do espaço público leva em consideração os materiais e forma do invólucro dos edifícios que os rodeiam, sendo fundamental para compreender as reverberações, absorção e reflexão da energia incidente no ambiente produzido. A conciliação do conforto térmico interno e externo, em alguns casos, pode levar a embates que necessitem ser atenuados. Este é o caso da utilização de materiais que refletem a radiação ao invés de absorvê-la e rapidamente devolvê-la ao ambiente externo, mantendo temperaturas baixas dentro dos edifícios, entretanto, irradiando diretamente o calor ao espaço público o que acaba se somando às demais emissões. A radiação incidente é máxima na linha do equador ($394.576 \text{ cal/cm}^2 \text{ ano}$) e diminui gradualmente até o polo, chegando a um mínimo ($257.740 \text{ cal/cm}^2 \text{ ano}$). Logo, se faz necessário analisar os efeitos da umidade, penetração do calor e condutibilidade térmica dos materiais para manter um equilíbrio energético urbano, que pode contar com a alteração de albedo, disposição geométrica e utilização de vegetação na absorção da radiação solar.

A vegetação muita das vezes é vista apenas como modo ornamental com cores, formas, frutas e cheiros que podem atuar no embelezamento do ambiente interno e externo. Entretanto, é um importante recurso que atua na modificação dos elementos climáticos, do balanço energético urbano, em prol do conforto térmico externo e conseqüentemente interno. Segundo Mascaró e Mascaró (2009), a versatilidade da vegetação a serviço da modificação do clima proporciona noção de espaço, condição de sombra, frescor e ornamentação em estruturas permanentes dos edifícios. A vegetação atua no controle da radiação solar, temperatura e

umidade do ar, ação dos ventos e da chuva e na amenização da poluição do ar. No controle da radiação, as espécies decíduas podem transmitir de 10 a 30% da radiação solar durante o verão e de 50 a 80% durante o inverno, enquanto as espécies coníferas transmitem de 10 a 30% o ano todo. A absorção da radiação solar, em média, é de 50% de ondas curtas e 95% de ondas longas (OKE, 2017). Seu efeito climático varia com a morfologia e fisiologia da espécie, além da idade e saúde que interferem no seu desempenho. A temperatura e umidade do ar estão relacionadas diretamente a quantidade de ar que passa pelo seu dossel e de forma indireta como resultado do sombreamento da superfície. Na relação direta, o processo de fotossíntese realiza a captura de CO₂ e proporciona a evapotranspiração que acaba umedecendo e resfriando o ar no seu entorno. Os primeiros a sentirem seus efeitos são os pedestres que têm a carga térmica incidente reduzida pelo sombreamento. Outro papel importante é na regulação do conforto térmico por meio da manipulação do vento com a obstrução, deflexão, filtragem e condução, que controla o fluxo de ar no sentido de amenizar a ação dos ventos frios no inverno. Nesse sentido, Mascaró e Mascaró (2009) enfatizam o desempenho importante na caracterização do microclima urbano, melhorando as condições ambientais e o conforto térmico humano com a atenuação das condições extremas de frio ou calor nos espaços urbanos e nas edificações adjacentes.

Para a determinação de sensação térmica de usuários de espaços abertos, dois índices dentre os desenvolvidos têm tido ampla aplicação, inclusive no Brasil. O Physiological Equivalent Temperature (PET) é um índice de conforto expresso em graus Celsius (Tabela 4). Peter Höppe (1999) o definiu como sendo a temperatura fisiológica equivalente. Ele modela as condições térmicas do corpo humano de uma forma fisiologicamente relevante, utilizando o modelo de balanço de calor do corpo humano. Por exemplo, em dias quentes de verão, com radiação solar direta o valor de PET pode ser 20°C superior ao da temperatura do ar e, em um dia de vento no inverno até 15°C mais baixo (Höppe, 1999). O PET vem sendo adotado em estudos de climatologia urbana para cidades brasileiras (ABREU e LABAKI, 2010; HIRASHIMA, 2010; MONTEIRO e ALUCCI, 2010, 2013; KRÜGER, DRACH e BRÖDE, 2016).

O Universal Thermal Climate Index (UTCI), também expresso em graus Celsius (Tabela 4), foi elaborado com base no modelo termorregulatório multinodal (FIALA et al., 2012). Ele é baseado em uma temperatura equivalente tomada em ambiente de referência. O cálculo do PET e do UTCI utilizando o software Rayman versão 2.0 (MATZARAKIS e RUTZ, 2010) necessita das variáveis de entrada correspondentes ao vento, radiação, umidade e

temperatura do ar. Para seu cálculo, usualmente, são adotados os critérios de um homem definido como padrão pela ISO 7730 (2005).

A utilização do PET e do UTCI no Brasil, para análises da sensação térmica no espaço aberto também já vem sendo adotada (BARBOSA, DRACH, CORBELLA, 2019; KRÜGER e DRACH, 2017; KRÜGER e DRACH, 2016; ROSSI, KRÜGER e BRÖDE, 2012; MONTEIRO e ALUCCI, 2012; NINCE *et al.*, 2013).

Tabela 4 – Categorias de conforto térmico e estresse térmicos para PET e UTCI definidas por Matzarakis e Mayer (1997) e Bröde et al. (2012), respectivamente

PET	UTCI	CATEGORIA DE ESTRESSE TÉRMICO
18 °C	9 °C	-----
		ausência de estresse térmico
23 °C	26 °C	-----
		estresse térmico moderado
29 °C	32 °C	-----
		estresse térmico forte
35 °C	38 °C	-----
		estresse térmico muito forte
41 °C	46 °C	-----
		estresse térmico extremo

Fonte: Adaptado de Krüger, Drach e Bröde (2016).

Entender o papel da vegetação no meio urbano com a modificação dos elementos climáticos interagindo com os elementos construtivos, é de extrema relevância para compreender o contexto micro e macro. Essa compreensão pode ser mensurada por meio de simulações computacionais. Spangenberg (2008), Shinzato e Duarte (2018) realizaram estudos na cidade de São Paulo na primavera de 2006 e 2013, respectivamente. Ambos trabalharam com medições na altura do pedestre (1,10 m) de temperatura do ar, umidade do ar e velocidade de vento em espaços abertos, verificando a variação de temperatura dentro de um parque e nas imediações. Após caracterização do ambiente, verificação do fator de visão de céu e coleta de dados climáticos, as informações foram inseridas em um software que utiliza um modelo preditivo para simular o efeito microclimático da vegetação com diferentes características. O software adotado é o ENVI-met desenvolvido por Bruse (2010), possuindo modelos tridimensionais para simular a interação da superfície-vegetação-atmosfera. Spangenberg (2008) constatou por meio das simulações que a temperatura do ar sofria uma redução de até 1,1°C, a temperatura dos pavimentos com redução de até 12°C e a temperatura média radiante ao nível do pedestre com redução de até 24°C. Em Shinzato e Duarte (2018) os resultados

seguem uma semelhança, com uma redução máxima da temperatura do ar abaixo da copa das árvores de 0,7°C, redução na temperatura dos pavimentos de até 19°C, redução de 15°C na temperatura média radiante e a temperatura percebida ao nível do pedestre com redução de até 7°C. Percebe-se a contribuição significativa, porém limitada, da vegetação em espaços abertos. Drach e Barbosa (2016) desenvolveram estudos no centro da cidade do Rio de Janeiro com a coleta de dados através de uma mini estação climática Davis Vantage Pro2 em 7 pontos desta região. Os resultados indicaram a influência da vegetação no microclima. Os menores valores de temperatura do ar e as maiores umidades foram observados no Ponto 1, ponto localizado na rua Pedro Lessa, região arborizada do centro do Rio de Janeiro, para todos os verões estudados. Apesar da proximidade entre os pontos de medição, a diferença de temperatura do ar chegou a mais de 3°C.

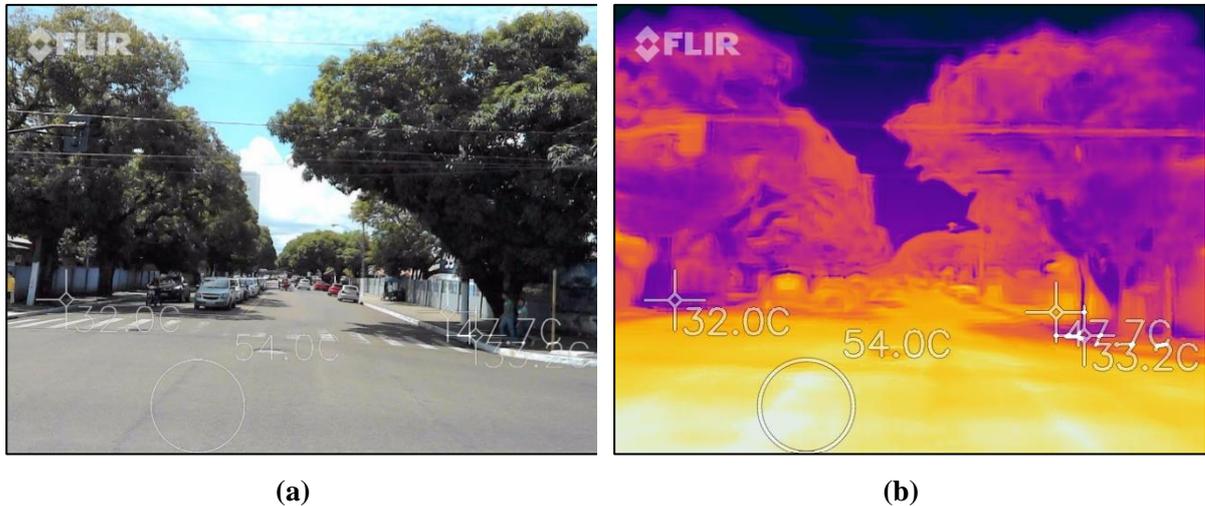
O estado do Amapá, apesar de ter cerca de 62% do seu território sob regime especial de proteção exclusiva de unidades de conservação, sofre degradação ambiental que pode ser percebida na capital. A falta de vegetação no Centro Comercial reflete diretamente no comportamento humano e no consumo de energia elétrica da área, e conseqüentemente na economia local, algo que pode ser mitigado.

Com base no referencial teórico introdutório, sabe-se que o controle bioclimático tem efeito assertivo em curto, médio e longo prazo, restando apenas mensurar com auxílio dos softwares os benefícios econômicos e sociais que podem surgir em decorrência das possíveis intervenções.

Uma maneira de reafirmar a relevância da vegetação no espaço urbano a longo prazo em um ambiente quente e úmido, seguindo o projeto urbanístico que determina o ordenamento da cidade com as áreas expansivas, a forma urbana que visa proporcionar a melhor qualidade de vida, pode ser vislumbrado na década de 1970 (Figura 11) e contrapondo seus efeitos em 2018 (Figura 29). É possível constatar os benefícios térmicos após mais de 40 anos de sua implementação com um corredor vegetal ao longo da Av. FAB, umas das principais vias no município de Macapá que abriga secretarias estaduais, Fórum, sede do Tribunal de Justiça, Prefeitura Municipal, promotoria, hospitais e outras sedes. Na Figura 29 nota-se a variação de temperatura de até 20°C de um elemento protegido pelo sombreamento para outro descampado, podendo atingir na via uma temperatura de 54°C. É interessante notar a variação na calçada, em que a região sombreada fornece uma temperatura de 33,2°C contra 47,7°C para uma área sem proteção a alguns metros de distância. Valendo-se da importância e benefícios de manter

corretamente um corredor vegetal aos usuários locais e moradores, espera-se que esse estudo possa quantificar e recomendar modificações ao ambiente construído.

Figura 29 – Imagem da Av. FAB orientada para o oeste em novembro de 2018 com as medições térmicas dos pavimentos. (a) Imagem colorida e (b) imagem térmica.



Fonte: Acervo pessoal.

A urbanização tem enorme relevância na qualidade de vida, mantendo uma cidade funcional, agradável, caminhável e sustentável. Com um bom planejamento inserindo meios de transportes coletivos que atendam a população e dando relevância ao pedestre e ciclista, o produto final acaba refletindo indiretamente no setor elétrico, pois ocorrem menores emissões de CO₂, conseqüentemente menores variações climáticas, menor consumo no resfriamento ou aquecimento de ambiente. Dessa forma, nota-se que a ciência do bem-estar urbano é interdisciplinar e qualquer variação intraurbana interfere nos seres humanos de forma cultural, psicológica, econômica e social.

CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA

A pesquisa desenvolvida nesta tese pode ser classificada como quantitativa e qualitativa, uma vez que engloba as duas formas de ação para a interpretação do fenômeno estudado: através da atribuição de significados, quando tratando de valores subjetivos, como aqueles obtidos através da análise de conforto ambiental; através da utilização de métodos estatísticos, no caso das medições efetuadas com as estações meteorológicas em espaços abertos e fechados, bem como com a utilização de programas computacionais que apóiam a pesquisa.

É possível dizer ainda que possui caráter exploratório e orientação analítico-descritivo com entrevistas estruturadas. Ela é aplicada, uma vez que almeja gerar conhecimentos capazes de auxiliar na solução de problemas específicos que envolvam fatos e interesses locais.

O desenvolvimento da pesquisa envolve ações específicas, porém complementares e que podem ocorrer concomitantemente. A primeira é a pesquisa de campo com a coleta, tratamento e análise dos dados, sendo estes dados de variáveis climáticas e de respostas dos usuários aos espaços, acerca da sensação térmica. Esta fase inclui o desenvolvimento de um protótipo de abrigo para os sensores, validado com medições comparativas com abrigos de eficiência comprovada. A partir dos dados coletados são calculados os índices de conforto Physiological Equivalent Temperature – PET (Höppe, 1999) e Universal Thermal Climate Index – UTCI (FIALA et al., 2012), ambos desenvolvidos para ambientes externos.

A segunda fase trata da simulação computacional com o software ENVI-met (BRUSE, 2020). Esta fase envolve a aquisição de dados, desenvolvimento de modelos computacionais para simulação, geração de arquivos climáticos de entrada obtidos na primeira fase, processo de simulação em equipamento específico (workstation), leitura e análise de dados e geração de imagens e gráficos para visualização dos resultados. As duas fases demandam uma constante avaliação dos resultados e a possibilidade de revisão de conduta e equipamento. Esta reavaliação, como um sistema de *feedback*, permite o refinamento dos resultados, trazendo a redução de erros e o aumento da precisão.

O recorte espacial se encontra na cidade de Macapá, localizada no nordeste da Amazônia, banhado pelo Rio Amazonas e situado sobre a linha do equador (00° 02' N e 51° 03' W). Possui clima predominante quente e úmido com temperaturas médias anuais de 26,9°C e temperaturas médias mínima e máxima do ar de 24,08°C e 32,14°C, respectivamente. O total

anual da precipitação pluvial é de aproximadamente 2.492,33 mm. A média anual da umidade relativa do ar é de 80,1% (INMET, 2020). Na classificação *Köppen-Geiger*¹⁸, é definida como **Aw**, clima tropical chuvoso de savana com estação seca de inverno (VILHENA, 2017, p. 39). Em 2020, a população estava estimada em 512.902 habitantes com crescimento anual 2,9% entre 2010 e 2020, com uma área territorial de 6.503,46 km². Em 2010, a arborização de vias públicas representava 66% e o percentual da população urbana era de 95,73% (IBGE, 2020b, 2020c).

A área estudada está situada nas proximidades da Fortaleza de São José de Macapá, à esquerda do Rio Amazonas, fez parte do projeto urbano de Janary Nunes com a expansão do Centro Comercial, atuando como pólo comercial e turístico, o que atrai um alto número de pessoas e capital. Na Figura 30 é possível observar a área delimitada pela Rua Eliezer Levy (oeste), Avenida Mendonça Júnior (norte), Rua Cândido Mendes (leste) e Rua Rio Vila Nova em determinado perímetro (próximo ao rio) que em seguida se torna Avenida Pedro Baião (sul).

Figura 30 – Delimitação da área de estudo e os pontos de medições no Centro Comercial de Macapá-AP. Imagem do dia 16/07/2020.



Fonte: Adaptado do Google Earth Pro (2020).

Os pontos seleccionados para as medições externas (P1 a P4) e internas (P5 a P6) da temperatura do ar e umidade relativa estão indicados na imagem (Figura 30). As medições efetuadas no meio urbano são utilizadas para validar a simulação computacional desenvolvida

¹⁸ Classificação que determina os tipos climáticos considerando a vegetação, sazonalidade da precipitação e temperaturas, levando em consideração os valores médios anuais e mensais (VILHENA, 2017, p. 36).

no ENVI-met. As medições nos espaços internos servem para analisar a carga térmica absorvida pelos empreendimentos comerciais, vinculando ao consumo de energia elétrica que será medido no ponto de entrega da CEA com um tempo de integralização de 10 minutos.

No perímetro, indicado na Figura 30, se encontra a Praça Floriano Peixoto (esquina com as ruas General Rondon e Av. Pedro Baião), com um pequeno lago e árvores de médio e grande porte. O local era uma área de ressaca cujo projeto previa um espaço de lazer com a permanência do lago. Hoje a praça é utilizada pelo poder público na realização de eventos e pela sociedade em geral nos fins de tarde.

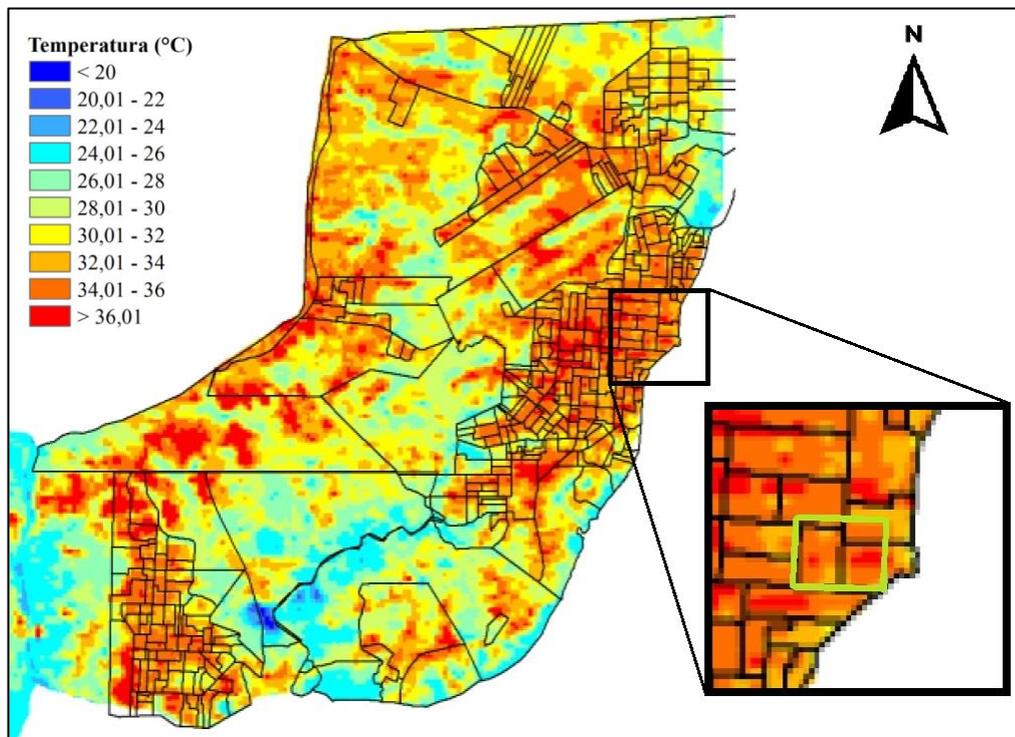
Na década de 1950-1960 a Rua Cândido Mendes era o elo das zonas norte e sul da cidade, passando pelo Mercado Central e abrigando os principais pontos comerciais. Nas décadas de 1960 e 1970 a Avenida Mendonça Júnior ainda era um igarapé que possuía residências a sua margem, a canalização tinha por objetivo escoar as águas pluviais para o rio Amazonas (ARRUDA, 2011).

O interesse pela área de estudo delimitada se deve às suas características físicas (escassez de espécies arbóreas, presença de praça arborizada e proximidade do Rio Amazonas) e ao contexto histórico que a envolve, a proximidade da Fortaleza de São José de Macapá e o processo de aterramento (antigo Lago de Macapá) no seu entorno da várzea que permitiu a ocupação com o Mercado Central, moradias e empreendimentos comerciais. Apesar da recente ocupação, 1953, conforme levantamento da FJP (1974, p. 48), o espaço sofreu modificações profundas que refletem no contraste da temperatura urbana local, em que perímetros absorvem muita energia térmica em relação a outras e acabam ocasionando desconforto térmico e elevação no consumo de energia elétrica. Por se tratar de uma área mista com a predominância de empreendimentos comerciais próximos a Fortaleza e São José e a predominância de ambientes residenciais na proximidade da Praça Floriano Peixoto, o perímetro com empreendimentos comerciais possuem um índice de vegetação baixa, conseqüentemente, temperaturas do ar e consumo de energia elétrica elevadas. Com base no consumo por classe fornecido pela CEA (2020) para o período de 2002 a 2019, sabe-se que o setor comercial é o segundo maior consumidor de energia elétrica do estado e com uma parcela voltada a climatização correspondente a 47% deste consumo, conforme Dall’Agnol *et al.* (2018, p. 8).

Silva (2016) realizou a análise das ilhas de calor para o período de 1986 a 2015 nas cidades de Macapá e Santana, Amapá, por meio de imagens geradas pelos satélites LANDSAT 5 e 8 utilizando as bandas 5, 3 e 4 na composição B (blue), R (red) e G (green). Após a

composição das imagens, realizou-se o tratamento e obtenção das cartas temáticas de temperatura de superfície, albedo, emissividade, vegetação e outros. Percebeu-se que a modificação da cobertura do solo por áreas de cultivo, criação de animais e a própria expansão da cidade permitiram elevar a temperatura da superfície, conseqüentemente do ar. A Figura 31 permite observar a temperatura de superfície do dia 26/10/2006, verão amazônico, estando em destaque a área de estudo, onde se encontram perímetros com temperaturas elevadas e brandas devido a vegetação da praça Floriano Peixoto. Essa proximidade traz relevância a área delimitada.

Figura 31 – Carta de temperatura de superfície de Macapá e Santana obtidas pelo satélite LANDSAT 5 em 26/10/2006. Em destaque a área de estudo em verde.

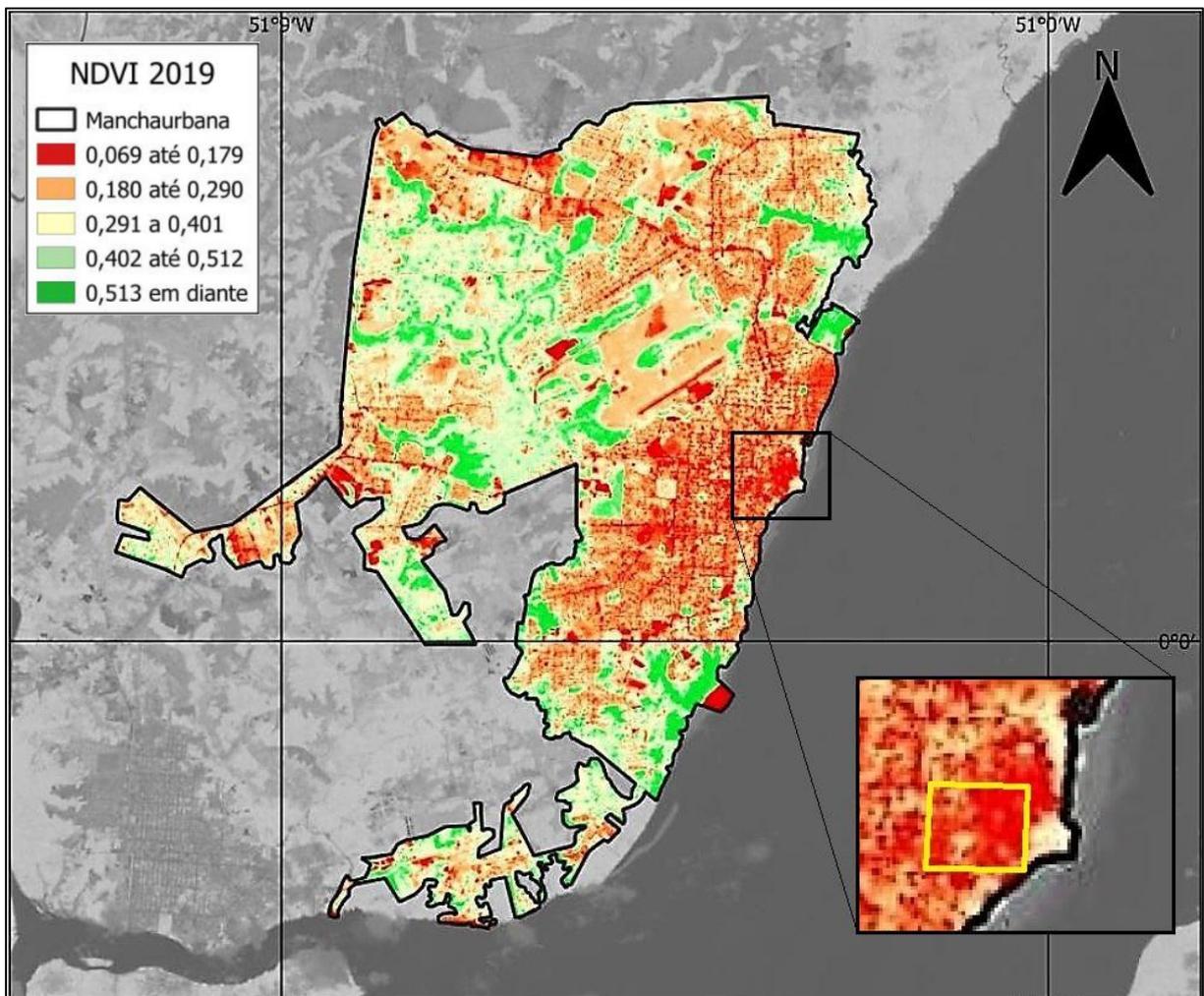


Fonte: Adaptado de Silva (2016).

Silva (2016) estabelece uma relação na diminuição do índice de vegetação com o aumento da temperatura de superfície, neste caso, devido ao crescimento da malha urbana e, conseqüentemente, das áreas de aterro. Nesse aspecto, Moreira (2020, p. 22) estudou as ilhas de calor em Macapá produzindo mapas levando em consideração alguns índices, entre eles o Índice de Diferença Normalizada de Vegetação (NDVI, do inglês *Normalized Difference Vegetation Index*) que permitiu compreender um padrão na cobertura vegetal urbana aos índices climáticos que sugeriram uma tendência na elevação da temperatura média do ar.

Havendo relação da cobertura vegetal com a temperatura do ar, Moreira (2020) realizou a composição do NDVI utilizando imagens geradas pelo LANDSAT 8 do dia 12/09/2019, verão amazônico, e obteve a Figura 32 com uma escala de -1 a 1, no qual, -1 significa vegetação inexistente e 1 vegetação saudável.

Figura 32 – NDVI de Macapá em 12/09/2019. Em destaque a área de estudo em amarelo.



Fonte: Adaptado de Moreira (2020, p. 45).

Nota-se a partir da imagem (Figura 32) com a área de estudo em destaque, a inexistência ou baixa incidência de vegetação em uma porção significativa da região, o que torna promissora a introdução de vegetação, principalmente de espécies arbóreas que contribuem também com o sombreamento. A simulação computacional permite correlacionar cenários com a introdução de vegetação e a variação da temperatura do ar. Os resultados são validados através dos dados obtidos por meio de medições externas.

Nas medições de temperatura e umidade do ar, direção e velocidade do vento devem ser atendidas as recomendações de Oke *et al.* (2017), que sugerem o posicionamento dos

instrumentos dentro de uma área homogênea e evitar materiais ou propriedades anômalas que forneçam umidade em uma região seca ou oposto. Desta maneira, são utilizados os dados obtidos pelo INMET que possui estações meteorológicas no município com instrumentos calibrados e posicionados em áreas de forma a evitar dados discrepantes com a realidade local. Em Macapá esses dados servirão de base para alimentar o software ENVI-met que possui modelos preditivos das condições microclimáticas locais.

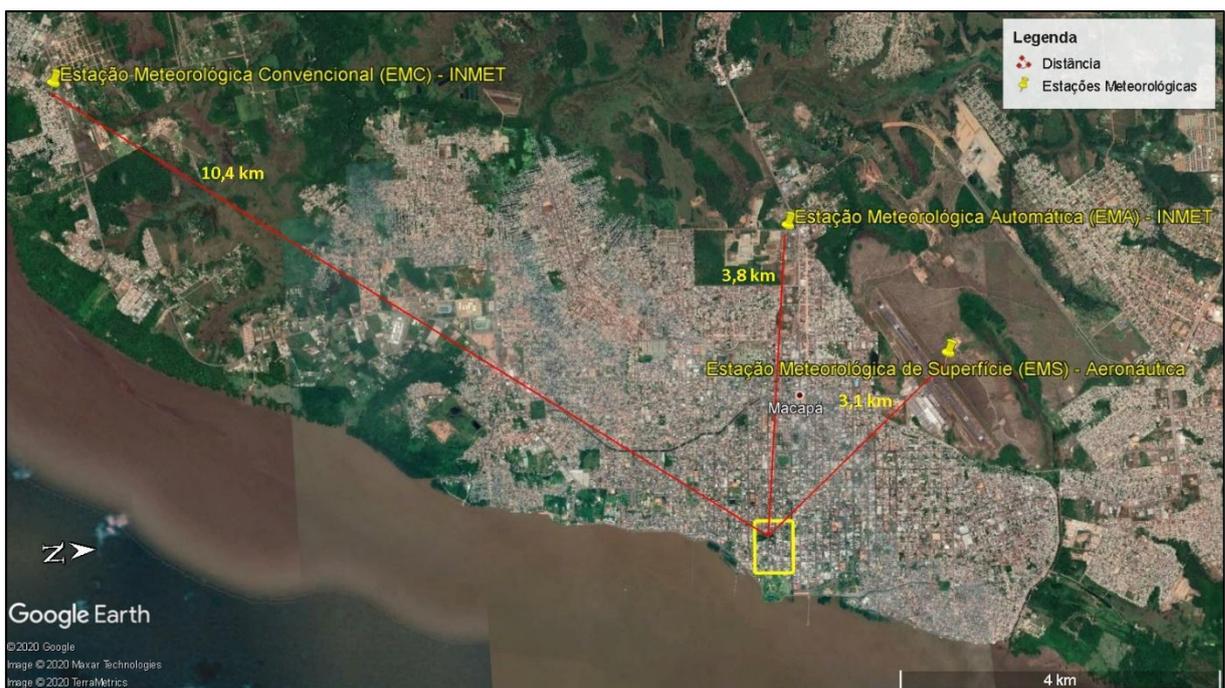
3.1 PESQUISA DE CAMPO: COLETA DE DADOS CLIMÁTICOS E APLICAÇÃO DE QUESTIONÁRIO

A medição será essencial ao ENVI-met que deverá receber informações munidas de confiabilidade e precisão, de modo que seja representado fielmente o espaço a ser estudado sem a interferência de fontes externas que venham a comprometer os dados, seja ela pela ausência de padronização na alocação ou especificação do equipamento. A norma ISO 7726 (2001) estabelece um padrão internacional as características mínimas dos instrumentos que devem medir as grandezas físicas que caracterizam o ambiente, bem como o seu método, no qual, os equipamentos utilizados atendem aos requisitos.

A primeira fonte de dados a ser avaliada são dos órgãos governamentais de medição e previsão meteorológica, neste caso, estando disponível na cidade de Macapá as estações do INMET (convencional e automática) e da Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica (REDEMET). A Estação Meteorológica Convencional (EMC), código WMO n.º 82098, localizada no distrito da Fazendinha e estando a 10,4 km em linha reta da área analisada, conforme Figura 33, está em funcionamento contínuo desde 01 de janeiro de 1925 e comporta os sensores de pressão atmosférica, temperatura do ar, umidade relativa do ar, precipitação, radiação solar, direção e velocidade do vento. Os dados coletados se encontram disponíveis no site do INMET de dezembro de 1967 até o momento, anterior a esse período (1925 a 1967) estão em formato físico sob os cuidados do INMET em Brasília-DF e no 2º Distrito de Meteorologia (DISME), localizado em Belém-PA. Atualmente, o observador efetua o registro diário das informações na estação convencional às 12:00 UTC, 18:00 UTC e 00:00 UTC, o que corresponde no fuso horário de Brasília (UTC -3) às 9:00, 15:00 e 21:00 horas, respectivamente. O *Universal Time Coordinated (UTC)* é o sucessor do *Greenwich Mean Time (GMT)*, o que elimina erros no tempo relacionado às variações no período de rotação da terra.

A Estação Meteorológica Automática (EMA), código WMO n.º A249, localizada no 34º Batalhão de Infantaria e Selva do Exército Brasileiro e estando a 3,8 km em linha reta da área analisada (Figura 33), está em funcionamento desde 31 de outubro de 2013. Possui a mesma funcionalidade da EMC, entretanto, envia dados a cada hora diretamente ao servidor do INMET por meio do satélite BrasilSat. As informações em tempo real e históricas ficam disponíveis ao público no site do INMET, com pequenos períodos de interrupção por falhas vinculadas a carência de manutenção. Devido ser uma estação que não necessite de visitas regulares do observador na coleta de dados, as falhas recorrentes são oriundas da falta de limpeza e reparos básicos. No APÊNDICE A-1 constam imagens dos reparos realizados pelo autor e as equipes do Núcleo de Hidrometeorologia e Energias Renováveis (NHMET/IEPA), Defesa Civil, Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Amapá e Laboratório de Energias Renováveis da Universidade Federal do Amapá (UNIFAP).

Figura 33 – Localização geográfica das estações meteorológicas do INMET e REDEMET (Aeronáutica) em relação à área de estudo no Centro Comercial de Macapá-AP.



Fonte: Adaptado do Google Earth Pro (2020).

Por último, a Estação Meteorológica de Superfície (EMS), código WMO n.º 82099, pertencente à REDEMET, localizada no Aeroporto Internacional de Macapá - Alberto Alcolumbre e afastada 3,1 km em linha reta da área delimitada (Figura 33). Esta estação é do tipo EMS-1 e possui como diferencial as estações do INMET o sensor de transmissômetro, responsável por medir o alcance visual ao longo da pista, e o tetômetro, responsável por fornecer a altura na base das nuvens.

As três estações mencionadas estão de acordo com a Organização Meteorológica Mundial (WMO, do inglês *World Meteorological Organization*) e fazem parte da rede internacional na coleta de informações climáticas. Nessa tese foram utilizados os dados da EMA pela facilidade no acesso ao arquivo histórico, tendo em vista que no software ENVI-met os dados climáticos de entrada devem ser inseridos com o intervalo de 1 hora. A EMS também possui um banco de dados histórico no intervalo de 1 hora, entretanto, seu acesso é limitado ao público, necessitando de autorização do Comando da Aeronáutica.

De posse das variáveis climáticas obtidas nas estações meteorológicas que se encontram nos arredores da cidade, ou seja, mensurando de forma confiável o perfil climatológico de Macapá. É possível simular o comportamento térmico do Centro Comercial tendo como entradas a temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar, velocidade e direção do vento. A resposta à modelagem do centro será obtida com novos valores de temperatura do ar, umidade, temperatura média radiante, velocidade e direção do vento, temperatura do solo, temperatura de superfície, fator de visão de céu e outros. Todos os resultados ficam disponíveis a serem analisados em níveis/alturas/cortes nos eixos XY, XZ e YZ. De posse desses resultados se tem a necessidade de validar o modelo com novas medições, desta vez no meio intraurbano abordadas nesta tese por medições externas (P1 a P4), conforme apresentado na Figura 30. As medições externas são referentes a temperatura e umidade relativa do ar que estavam sendo registradas em sincronismo com a EMA.

Na medição externa se adotou o equipamento HOBO MX2301 produzido pela ONSET, conforme Figura 34-a, possui a funcionalidade de *data logger* e armazena dados de temperatura e umidade relativa do ar no intervalo de integralização de 1 segundo a 18 horas. Nesta medição se utilizou o intervalo de 1 minuto para realizar a integralização e armazenamento. Este equipamento atende a ISO 7726 (2001) com uma precisão do sensor de temperatura de $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ entre 0 e 70°C e o sensor de umidade de $\pm 2,5\%$ entre 10 e 90% (ONSET, 2020). A escolha desse equipamento se deve a característica de ser resistente à água, podendo ser instalado em ambientes abertos. Possui comunicação via *bluetooth*, o que permite acompanhar o desempenho do equipamento regularmente, verificando seu funcionamento e copiando os dados sem a necessidade de retirá-lo do local.

Nas medições internas (P5 e P6) nos empreendimentos comerciais se adotou o equipamento HOBO UX100-003 produzido pela ONSET, conforme Figura 34-b, possuindo a funcionalidade de *data logger* e as mesmas características de armazenamento do equipamento

anterior, sendo adotado o tempo de integralização e armazenamento de 1 minuto. Atende a ISO 7726 (2001) com uma precisão do sensor de temperatura de $\pm 0,21^{\circ}\text{C}$ entre 0 e 50°C e o sensor de umidade de $\pm 3,5\%$ entre 25 e 85% (ONSET, 2020). Não é resistente à água e sua comunicação é via USB, entretanto, o visor permite acompanhar seu funcionamento e em caso de memória cheia ou outros eventos, podem ser facilmente visualizados.

Figura 34 – Equipamentos produzidos pela ONSET utilizados nas medições de temperatura e umidade relativa do ar no meio intraurbano, sendo: (a) HOBO MX2301 e (b) HOBO UX100-003.

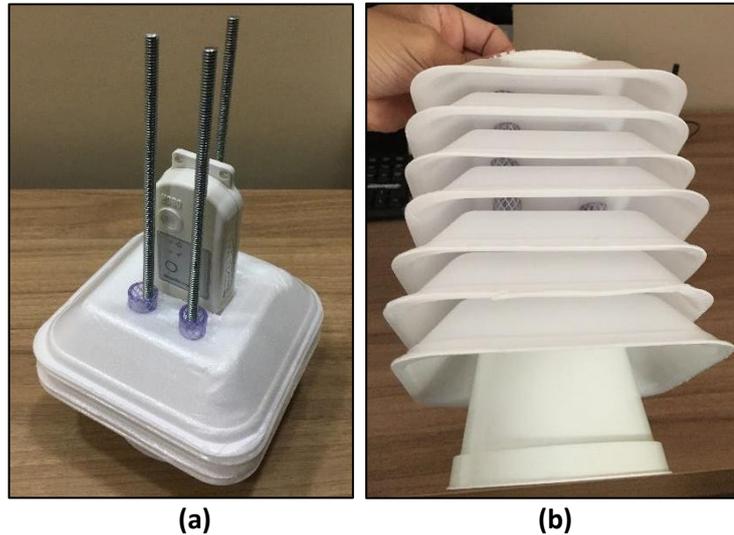


Fonte: ONSET (2020).

Nas medições externas o equipamento necessita de um abrigo meteorológico que o proteja da radiação solar direta e difusa evitando o aumento da temperatura do invólucro do sensor. Sem o abrigo, o HOBO acaba absorvendo energia e transferindo esse calor ao ar que circula internamente, levando a uma temperatura superior ao que deveria ser registrado. Nesta tese se decidiu implementar abrigos meteorológicos de baixo custo, adaptando a proposta de Reisser Jr *et al.* (2017) que havia sido avaliado na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). O modelo é do tipo Gill adaptado, recomendado para determinação de temperatura em que as diferenças com os equipamentos não sejam superiores a 1°C . A estrutura proposta é baseada em pratos de plásticos aditivados anti-UV de cor branca usados na drenagem da água de vasos de jardins, mangueiras de plástico como espaçadores dos pratos e barras roscáveis na sustentação fixadas por arruelas e porcas. Em sua implementação e validação houve a substituição dos pratos de plásticos por poliestireno expandido (EPS, do inglês *Expanded Polystyrene*) ou conhecido popularmente pela marca brasileira como Isopor. Com o EPS houve o teste com vários modelos que diferenciavam na quantidade de pratos utilizados por nível até seu corte e anteparos internos. O modelo da Figura 35 obteve o melhor

desempenho térmico em relação à estação meteorológica Davis Vantage Vue utilizada como referência, tendo seu emprego nas medições externas.

Figura 35 – Abrigo meteorológico do tipo Gill de baixo custo utilizando pratos de EPS. (a) Em montagem com o HOBO exposto e (b) abrigo finalizado



Fonte: Acervo pessoal.

Nas campanhas de medições externas os equipamentos devem ficar fixos aos postes circulares da CEA a uma altura mínima de 2,8 metros, evitando depredação e furtos. Os abrigos meteorológicos estarão em um suporte metálico que deverá ficar preso por braçadeiras ajustáveis aos postes. Entre o suporte e o poste haverá um anteparo composto por manta térmica e papel cartão na tonalidade escura, a fim de evitar que a radiação solar direta de onda curta ou longa proveniente do poste venha a interferir na medição. Os abrigos meteorológicos devem ficar posicionados na mesma direção, com o objetivo de que fiquem expostos ao sol no mesmo período. Nesse caso se adotou posicionar os abrigos a Leste, de modo que no período da tarde ficassem na sombra. Próximo ao sensor haverá um proclame informando a finalidade do equipamento e dados do pesquisador responsável, conforme modelo no APÊNDICE B.

3.2 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Definido os materiais e métodos da medição que auxiliarão a simulação, outra etapa de mesma relevância é a modelagem tridimensional da área de estudo. No *Monde*, subprograma do ENVI-met, foi construído o modelo do ambiente real com as características construtivas obtidas *in loco* da pavimentação, vegetação, tipos de construções e tonalidades. A cobertura foi definida com auxílio da fotografia aérea registrada e organizada em 2014 pelo Exército

Brasileiro, onde compõe a Base Cartográfica Digital Contínua do Estado do Amapá (SEMA, 2015). Apesar do período do registro, houve pouca alteração até a modelagem do Centro Comercial, mudanças que podem ser avaliadas por meio do Google Earth que possui uma base de imagens atualizadas, entretanto, com baixa resolução.

O ENVI-met vem sendo amplamente utilizado e validado em diversos climas e regiões, com a validação por Ozkeresteci *et al.* (2003) realizando a modelagem e introduzindo parâmetros climáticos de Phoenix, Arizona; por Bruse e Skinner (1999) que avaliou o efeito de um parque em Melbourne, Austrália, com variações na temperatura do ar entre o parque e a rua de até 2°C; por Shinzato (2009, 2014), Shinzato e Duarte (2018) e Shinzato *et al.* (2019) que vem realizando estudos com os efeitos da vegetação e sua calibração na cidade de São Paulo – SP, estudo similar a ser aplicado nesta tese com a modelagem de espécies arbóreas e o efeito do parque no seu entorno em comparação ao restante da cidade; por Silva (2017) que realizou a modelagem de alguns bairros de João Pessoa, Paraíba, para calcular com o BIO-met, subprograma do ENVI-met, o índice PET e estimar o conforto térmico urbano; por Krebs (2018) que realizou o estudo da influência de telhados verdes de variadas configurações no clima de Porto Alegre, Brasil; por Vasconcelos e Souza (2017) que realizaram a modelagem de uma determinada área em São Carlos – SP com sua validação por medições intraurbanas, nesse estudo houve a verificação da influência dos coeficientes de ocupação, aproveitamento e cobertura vegetal, de modo que a análise possa auxiliar nas tomadas de decisão do planejamento urbano; por Barbosa (2018) que analisou cenários introduzindo a verticalização, pavimentação porosa, vegetação e outros elementos com dados climáticos de Maringá, Paraná; e por Andrade e Romero (2018) que utilizaram imagens térmicas do satélite Landsat 8 para definir a área a ser modelada do Setor de Indústria e Abastecimento (SIA) de Brasília-DF, desta forma se avaliou o conforto térmico urbano por meio do BIO-met com o índice PMV ao nível do pedestre. Nas consultas aos trabalhos desenvolvidos no Brasil houve quase que na totalidade a utilização dos dados climáticos de entrada fornecidos pelo INMET, possibilitando a padronização devido a forma com que as estações meteorológicas se encontram instaladas, pois apresentam as mesmas especificações de equipamentos e posicionamento.

O ENVI-met V4.4.5 é um modelo de prognóstico baseado nas leis da dinâmica dos fluídos e termodinâmica, permitindo simular: fluxo do ar ao redor de edifícios; troca de energia na superfície do solo, paredes e telhados; impacto da vegetação no microclima local; bioclimatologia; e dispersão dos poluentes. A simulação da dinâmica da atmosfera passa pela interação do solo, vegetação e espaço construído, com a possibilidade de resposta da

temperatura interna das edificações (BRUSE, 2020). Na modelagem é necessário fornecer as características dos materiais empregados (absortância, emissividade, massa aparente, condutividade térmica e calor específico) que serão utilizados da ABNT 15220-2 (2005) e ISO 6946 (2017). As especificações que não constarem na norma serão utilizados do *Database Manager*, subprograma do ENVI-met, que traz consigo um banco de dados passível de modificações, caso necessário para adequar aos materiais da região.

Outro elemento importante que deve ser atentado na construção do modelo computacional é quanto a fidelidade nas dimensões dos espaços (vias, praças, quadras e outros) que podem comprometer a circulação das massas de ar. A planta cadastral da cidade traz consigo todas essas informações georreferenciadas com dados de área construída, limite dos lotes, posteamentos, vegetação arbórea, cota e outros. Em Macapá os dados estão disponíveis e atualizados na Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano e Habitacional (SEMDUH).

A modelagem da vegetação arbórea existente é realizada no subprograma *Albero*, do ENVI-met, para definição de elementos, como: tipo da planta (cornífera ou dulcícolas), diâmetro da copa e raiz, altura da copa, profundidade da raiz, forma da copa e raiz, transmitância e albedo da folhagem, densidade da área foliar (LAD, do inglês *Leaf Area Density*) e outros. São desenvolvidos modelos da mesma espécie para várias alturas e diâmetros de copa, de modo que possa ser alocado no *Monde*, outro subprograma do ENVI-met, a espécie que melhor se aproxime a realidade, respeitando características básicas de cada espécie, como: altura máxima, copa e densidade da área foliar. As características básicas aqui adotadas tiveram como base Lorenzi (1992, 1998, 2009) e o Manual de Orientação Técnica da Arborização Urbana de Belém (PORTO; BRASIL, 2013). Apesar da cidade possuir um Plano de Arborização Urbana do Município de Macapá instituído no Decreto N.º 1678/2016 – PMM, até o momento se encontra pendente o Manual Prático de Arborização Urbana do Município de Macapá que oriente o manejo das espécies por ele sugeridos e com distâncias mínimas de sua implantação em relação aos elementos do ambiente construído, além de facilitar a fiscalização pelos órgãos e entidades públicas. Neste caso, adotou-se o manual da cidade de Belém, capital do Estado do Pará, pela proximidade geográfica (330 km em linha reta), similaridade do perfil climático e espécies.

No subprograma *Monde* é desenvolvida a modelagem dos cenários a serem simulados pelo ENVI-met, esses cenários são compostos por dados reais obtidos *in loco* e modificados, permitindo a avaliação do comportamento microclimático local. O Cenário 1 trata do ambiente real construído buscando a máxima fidelidade das dimensões e dos materiais existentes para

serem validados pelas medições externas, este cenário serve de referência aos demais cenários testados.

No Cenário 2 incorpora um incremento na vegetação arbórea seguindo as orientações do Manual de Orientação Técnica da Arborização Urbana de Belém, alocando as sugestões de espécies e respeitando o espaçamento entre a própria vegetação existente, distância mínima do posteamento e outros elementos observados na planta cadastral e confirmados *in loco*. A implementação da vegetação arbórea busca integrá-la à realidade local, evitando obstruir passagens e garagens. O conhecimento da região é importante dada a necessidade de testar a possibilidade de integração da vegetação a esse espaço, desenvolvendo uma simulação passível de ser executada. Na construção dos cenários é utilizado o *Spaces*, subprograma do ENVI-met, área do programa utilizada para adicionar os jardins verticais às fachadas existentes com diferentes configurações de materiais e afastamento na própria fachada. É possível ainda, simular o crescimento da vegetação crescendo sobre a própria parede ou em estruturas. Pelo *Spaces* são inseridos os dados para os telhados verdes em determinadas coberturas que apresentem as mínimas condições de serem implementados, há diferentes tipos de cobertura com diferentes substratos. Este cenário é o “ideal” em contraposto ao cenário real, permitindo avaliar todos os ganhos em escala local que poderia ser alcançado caso se realizassem todas as modificações, nesse caso, apenas com a introdução de vegetação ao espaço e uma possível estimativa na redução do consumo de energia elétrica.

No Cenário 3 pretende-se avaliar os efeitos da verticalização tendo como base no Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental de Macapá instituído pela Lei Complementar n.º 026/2004 – PMM. As normas utilizadas para projetar a verticalização sofreram modificações ao longo dos tempos, sendo necessário compilar as modificações listadas pelas seguintes leis:

- Lei Complementar n.º 029/2004 – PMM: Institui as normas de uso e ocupação do solo no município de Macapá e dá outras providências;
- Lei Complementar n.º 109/2014 – PMM: Altera a redação de dispositivos e anexos da Lei Complementar n.º 029/2004, 077/2011 e 026/2004; e
- Lei Complementar n.º 115/2017 – PMM: Altera os incisos de artigos, anexos e cria parágrafos a Lei Complementar n.º 030/2004, 077/2011, 109/2014, 029/2004, 101/2012 e 031/2004.

Essas leis permitem identificar as áreas no Centro Comercial que podem ser erguidos edifícios de até 76 metros de altura, o equivalente a 22 pavimentos, e seus devidos recuos.

Diferente do que existia anteriormente, a Lei Complementar n.º 115/2017 – PMM revogou os artigos estabelecidos na Lei Complementar n.º 109/2014 que definiam a distância mínima entre as edificações baixas (23 metros), médias (45 metros) e altas (76 metros), o que garantia ventilação e gerava equilíbrio ao tecido urbano. Desta forma, atualmente o processo de verticalização é permitido em lotes vizinhos. Neste cenário há uma variedade de alturas, uma vez que sua determinação leva em consideração a possibilidade de sua construção em razão da área mínima necessária atrelado a sua disponibilidade. A princípio os modelos são localizados e modelados em lotes que estão em fase de execução, verificando a altura e o número de pavimentos projetados, e em lotes que possuem uma baixa avaliação imobiliária.

O Cenário 4 traz a ideia de um incentivo por parte do Governo Municipal em estabelecer redução no Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) ou liberação de Habite-se para os lotes com vegetação arbórea no entorno ou até mesmo dentro de sua área, seguindo um plano de arborização com vegetação de grande, médio e pequeno porte orientado pelo órgão competente. Na realidade, o Cenário 4 é o Cenário 2 sem os jardins verticais e telhados verdes, tendo em mente a facilidade de execução na prática deste cenário e os ganhos existentes e mensuráveis.

De posse dos cenários construídos se faz necessário montar o arquivo climático, no qual se adotou o padrão do *Energy Plus Weather (EPW)*, o mesmo padrão utilizado no software EnergyPlus™ financiado pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos da América (EUA) que simula a carga elétrica consumida por edifícios conforme as condições climáticas. Esse arquivo traz consigo dados relacionados a temperatura do ar de bulbo seco e úmido, umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento, pressão atmosférica, radiação horizontal global e difusa, radiação normal direta e outros que estão listados no APÊNDICE C. Esses dados são obtidos por meio de medições da EMA e calculados conforme equações obtidas no EnergyPlus (2020) e ASHRAE (2017).

Devido a EMA não realizar medições de irradiação solar horizontal direta e difusa, no qual mede apenas a irradiação solar horizontal global, se faz necessário estimar as demais componentes. No ASHRAE (2017, p. 14.10) são definidas equações que permitem estimar para um determinado dia e horário do ano, com céu claro, a irradiação horizontal direta e difusa por meio das Equações 1 e 2, respectivamente:

$$E_b = E_o * \exp(-\tau_b * m^{ab}) \text{ (W/m}^2\text{)} \quad \text{Equação 1}$$

$$E_d = E_o * \exp(-\tau_d * m^{ad}) \text{ (W/m}^2\text{)} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

E_b : Irradiância Normal Direta (perpendicular ao sol);

E_d : Irradiância Horizontal Difusa (perpendicular ao solo);

E_o : Irradiância Normal Extraterrestre;

m : Massa do ar;

τ_b e τ_d : profundidade óptica; e

ab e ad : Expoente da massa do ar direta e difusa.

Os valores de τ_b e τ_d são específicos do local e variam ao longo do ano, levando em consideração as condições climáticas locais, altitude, precipitação, aerossóis, ozônio e refletância da superfície. A Tabela 5 obtida no ASHRAE (2017) possui os valores mensais que podem ser usados no cálculo da irradiância.

Tabela 5 – Valores mensais de τ_b e τ_d para Macapá – AP (WMO: 82098).

	<i>Jan</i>	<i>Fev</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>Mai</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Set</i>	<i>Out</i>	<i>Nov</i>	<i>Dez</i>
τ_b	0.409	0.434	0.425	0.404	0.415	0.412	0.417	0.446	0.485	0.476	0.466	0.447
τ_d	2.507	2.436	2.469	2.554	2.498	2.505	2.482	2.377	2.228	2.253	2.286	2.373

Fonte: ASHRAE (2017).

Outra variável que devemos obter e varia ao longo do ano devido a distância entre a Terra e o Sol é a Irradiância Normal Extraterrestre (E_o), que atinge seu valor máximo de 1412 W/m² no início de janeiro quando a Terra está mais próxima ao Sol (periélio) e um mínimo de 1322 W/m² no início de julho quando a Terra está mais afastada do Sol (afélio). O E_o obtido em uma superfície normal (perpendicular ao sol) pode ser calculado pela seguinte equação:

$$E_o = E_{SC} \left(1 + 0.033 * \cos \cos \frac{(n-3)}{365} \right) \text{ (W/m}^2\text{)} \quad \text{Equação 3}$$

Onde n é o dia do ano e E_{SC} o valor médio da irradiância adotado para fins de cálculo como $E_{SC} = 1367 \text{ W/m}^2$.

A massa do ar (m) poderá ser obtida pela seguinte equação:

$$m = \frac{1}{(\sin \sin \beta + 0.50572 * (6.07995 + \beta)^{-1.6364})} \quad \text{Equação 4}$$

Onde β é a altitude solar que varia ao longo do dia e ano.

Os expoentes da massa de ar direta e difusa (ab e ad) estão correlacionadas ao τ_b e τ_d disponíveis na Tabela 5 e podem ser calculados pelas equações:

$$ab = 1.454 - 0.406 * \tau_b - 0.268 * \tau_d + 0.021 * \tau_b * \tau_d \quad \text{Equação 5}$$

$$ad = 0.507 + 0.205 * \tau_b - 0.08 * \tau_d - 0.19 * \tau_b * \tau_d \quad \text{Equação 6}$$

No arquivo EPW será inserido a medição realizada pela EMA da irradiação global horizontal medida em kJ/m^2 , havendo a necessidade de convertê-lo para Wh/m^2 , e a irradiância horizontal difusa (E_d) calculada anteriormente pela Equação 2. Em relação a irradiação normal direta (E_b) será introduzido um novo valor a partir da medição (global horizontal) e estimativa (horizontal difusa) que pode ser calculado pela seguinte equação proposto por Perez *et al.* (1990, 1992):

$$Global_{Horizontal} = Direta_{Horizontal} + Difusa_{Horizontal} \quad (\text{Wh/m}^2) \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

$Global_{Horizontal}$: Radiação horizontal global;

$Direta_{Horizontal}$: Radiação horizontal direta; e

$Difusa_{Horizontal}$: Radiação horizontal difusa.

De posse da $Direta_{Horizontal}$ poderá ser calculada a normal direta pela seguinte equação:

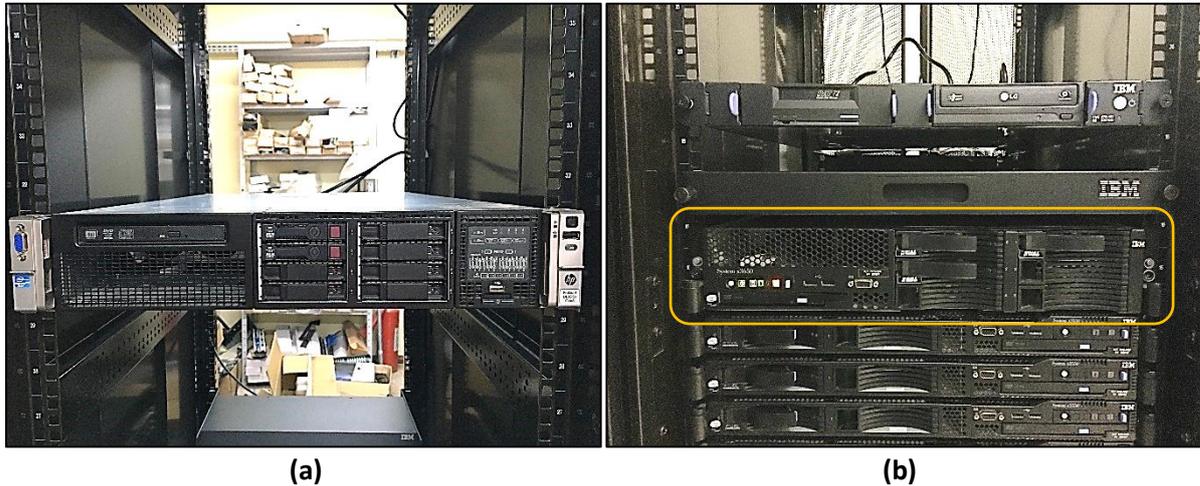
$$Direta_{Normal} = \frac{Direta_{Horizontal}}{\beta} \quad (\text{Wh/m}^2) \quad \text{Equação 8}$$

Desta forma, poderá ser introduzido as irradiâncias global horizontal, direta normal e difusa horizontal, além das condições climáticas horárias obtidas na EMA. As demais variáveis do EPW listadas no APÊNDICE C podem ser calculadas através do programa auxiliar do EnergyPlus, conhecido como *Weather Converter* disponível em EnergyPlus (2020). Para que o programa auxiliar realize sua rotina, as informações da localidade podem ser obtidas no ASHRAE (2017). Algumas dessas informações estão predefinidas no arquivo EPW editável disponível no EnergyPlus (2020) e Climate.OneBuilding (2020) para várias regiões do mundo.

Por se tratar de uma modelagem tridimensional a ser simulado com dimensões de até $628 \times 466 \times 154,5$ metros (21 quadras), tem a necessidade de se utilizar um *workstation* ou equipamento similar que trate o enorme volume de dados em um tempo reduzido, algo que o computador pessoal poderia levar anos para processar. Nesse caso se utilizou os servidores HP

ProLiant DL380p Gen8 e IBM System x3650 M3, este último utilizado como nó principal de um *cluster*. Na Figura 36 constam imagens dos equipamentos em operação e suas principais características na Tabela 6.

Figura 36 – Recurso computacional utilizado na simulação dos cenários no ENVI-met. (a) HP ProLiant DL380p Gen8 e (b) IBM System x3650 M3 em destaque.



Fonte: Acervo pessoal.

Tabela 6 – Especificações técnicas dos servidores empregados na simulação dos cenários no ENVI-met.

	HP ProLiant DL380p Gen8	IBM System x3650 M3
Processador	Intel Xeon E5-2650/ Cache 20 MB/ 2.00GHz - 2.80GHz Turbo / 8 núcleos/ 16 threads (2 processadores)	Intel Xeon E5405/ Cache 12 MB/ 2.00GHz/ 4 núcleos (2 processadores)
Memória Ram	32 GB/ 1866 MHz/ DDR3	14 GB/ 667 MHz/ DDR2
HD	320 GB (2 HDs)	500 GB (1 HD)

Fonte: HPE (2020) e IBM (2014).

Os servidores possuem como vantagem o processamento paralelo, no qual cada servidor utiliza 2 (dois) processadores Xeon e vários núcleos, tipo de processamento que ENVI-met é capaz de realizar para diminuir o tempo de simulação. O equipamento passou por limpeza e configuração antes de entrar em operação, permanecendo instalado no *datacenter* do Núcleo de Tecnologia da Informação (NTI) da Universidade Federal do Amapá (UNIFAP) por ser um ambiente climatizado 24 horas, possui nobreak e gerador de backup de energia elétrica. No APÊNDICE A-2 constam imagens dos serviços de manutenção nos servidores

3.3 SENSAÇÃO TÉRMICA

Em paralelo as medições de campo ocorrem a avaliação do conforto térmico por meio da aplicação de questionários e medições à altura do pedestre no perímetro que apresenta as maiores temperaturas do ar, conseqüentemente, maior desconforto. Em análise preliminar das Figura 31 e Figura 32, que exibem o perfil da temperatura de superfície e vegetação, se constatou que o perímetro no entorno do P3 – Caixa Econômica Federal (Figura 30) apresenta as temperaturas de superfície mais elevadas e baixo índice de vegetação, portanto, maiores temperaturas do ar na altura do pedestre. Krüger et. al. (2012) explica que o planejamento urbano embasado nas preferências térmicas da população local é um agente facilitador do uso de espaços abertos, incentivando as atividades ao ar livre e aumentando sua atratividade.

As entrevistas foram realizadas em P3 - Caixa Econômica Federal (00° 01' 56.6" N e 51° 03' 8.4" W) de forma simultânea as medições externas e internas, a fim de proporcionar uma comparação com os índices PET e UTCI calculados no BIO-met, subprograma do ENVI-met. O questionário aplicado é apresentado no APÊNDICE D e segue as recomendações da ISO 10.551 (1995), destacando a faixa etária, gênero, tempo de estadia na região, utilização de ar-condicionado em casa ou no trabalho e outros. Krüger e Drach (2016) retratam que a exposição ao ar-condicionado no ambiente residencial diferencia a percepção de conforto térmico em espaços abertos, em relação ao grupo de entrevistados que utilizam a climatização somente no trabalho.

O ponto P3 se localiza na Av. Coaracy Nunes (Figura 37), orientação Leste-Oeste, em frente a Caixa Econômica Federal. O fluxo de pessoas é intenso durante o dia devido ao banco e o comércio em sua volta, diminuindo no período da noite. Na Figura 37 se verifica que as menores temperaturas irradiam do pedestre próximo ao local de entrevista, sendo 37,2°C. As demais temperaturas irradiadas das superfícies expostas a radiação solar, ficam acima dos 46°C.

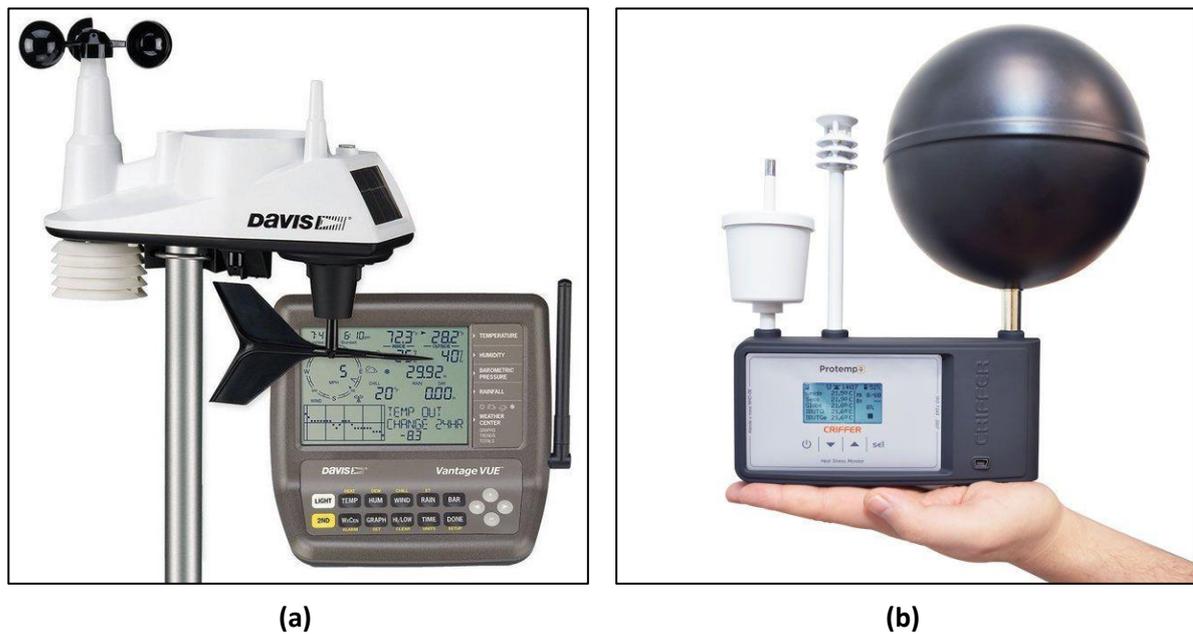
O local da entrevista contará com uma estação meteorológica Davis Vantage Vue (Figura 38-a) que atende as recomendações da ISO 7726 (2001), exceto no quesito velocidade do vento, estando instalada a um tripé em uma altura de 1,5 metros. Na medição da temperatura e umidade do ar a estação envia ao console no intervalo de 10 segundos, informações de vento em 2,5 segundos, pressão atmosférica a cada 1 minuto e outras medições. A integralização dos dados pode ser ajustada para 1 min, 5 min, 10 min, 15 min, 30 min, 1h e 2hs, no qual, permanecerá selecionado a opção de 1 minuto.

Figura 37 – Perímetro de entrevistas do P3 em frente a Caixa Econômica Federal com orientação ao Oeste e registrada no dia 29/11/2018 às 12:20 horas. (a) Imagem colorida e (b) imagem térmica.



Fonte: Acervo pessoal.

Figura 38 – Instrumentos utilizados durante as entrevistas de percepção térmica. (a) Estação meteorológica modelo Davis Vantage Vue e (b) Medidor de stress térmico modelo PROTEMP 4.



Fonte: DAVIS (2018) e CRIFFER (2020).

Outra informação relevante do ambiente que poderá ser usado no cálculo do índice PET e UTCI como variável de entrada, será a temperatura radiante média. É obtida por um globo negro de 6” (15,24 cm) de diâmetro, conforme recomendado pela ISO 7726 (2001), que possui um sensor de temperatura interna, desta forma, a temperatura do ar interna sofre influência do vento e radiação solar direta e indireta. O instrumento a ser utilizado será o PROTEMP 4 produzido pela CRIFFER, conforme Figura 38-b, e tem a função de *datalogger* com os sensores

para temperatura do ar de bulbo seco, bulbo úmido e globo negro. No APÊNDICE E consta o certificado de calibração do equipamento.

Outros instrumentos a serem utilizados na avaliação subjetiva no período de aplicação do questionário, serão instrumentos que registrem a temperatura das superfícies pela radiação infravermelha. Ao entrevistar os transeuntes é importante identificar as condições climáticas e condições do espaço em que estão inseridos, nesse caso, em uma área descampada envolta do concreto e asfalto que recebe radiação solar direta ao longo do dia. A radiação infravermelha permite mensurar a temperatura de superfícies a uma determinada distância sem o contato físico. Os instrumentos a serem utilizados são a câmera térmica FLIR ONE PRO (Figura 39-a) e o termômetro infravermelho FLUKE 62 MAX+ (Figura 39-b). A câmera térmica possui precisão de $\pm 3^{\circ}\text{C}$, escala de -20 a 400°C , resolução térmica de 19.200 pixels e sensibilidade térmica de 150 mK (FLIR, 2020). Permite criar um perfil do ambiente expondo as superfícies que irradiam as maiores temperaturas. O termômetro infravermelho possui precisão de $\pm 1^{\circ}\text{C}$, escala de -30 a 650°C e resolução de $0,1^{\circ}\text{C}$ (FLUKE, 2020). Após identificar os pontos mais quentes com a câmera térmica, o termômetro permite registrar a temperatura da superfície com uma precisão superior.

Figura 39 – Instrumentos infravermelhos utilizados na medição da temperatura de superfícies. (a) Câmera Térmica FLIR ONE PRO e (b) Termômetro Infravermelho FLUKE 62 MAX+.



(a)



(b)

Fonte: FLIR (2020) e FLUKE (2020).

O período das entrevistas deveria ocorrer na estação chuvosa e quente. O período chuvoso ou Inverno Amazônico inicia no mês de dezembro e se estende até o mês de agosto, apresentando seu ápice no fim de março. O período quente ou Verão Amazônico tem início no mês de setembro e perdura até o mês de novembro, com seu ápice normalmente em outubro

(VILHENA, SILVA & FREITAS 2018). O propósito é coletar informações ou sensações térmicas em dias que permitam proporcionar as percepções térmicas extremas de frio e calor. Uma ferramenta que auxilia na identificação do melhor dia para as entrevistas é por meio das cartas sinóticas e imagens de satélite fornecidos pelo INMET, com previsões de tempo diárias e semanais. Houve a aplicação de questionários no mês de maio de 2019 (inverno amazônico), entretanto, com equipamentos distintos e que não atendiam às recomendações da ISO 7726 (2001).

Na avaliação para uma melhor compreensão da interação clima-cidade, ao longo das décadas houve o desenvolvimento de modelos que permitem relacionar fatores climáticos com as estruturas urbanas. Nesse aspecto haverá a análise da geometria urbana que pode ser determinada tanto pela relação entre altura e largura da via (relação H/W) quanto pelo Fator de Visão de Céu (FVC). O método empregado será o FVC, que é tratado por Oke (1981) como a mais apropriada por representar a fração do céu disponível, ou seja, sua área visível a partir de um ponto de observação na malha urbana. Para Oke (1982) a geometria urbana é uma das principais causas das ilhas de calor urbanas. Na utilização do método as imagens capturadas devem seguir a padronização de Krüger e Drach (2016) com a câmera nivelada a uma altura de 1,10 metros, identificação do norte verdadeiro e utilização de lente *fisheye* que possuem uma abertura angular de 180°. A câmera deve possuir um sensor *full frame* que permite capturar toda a porção da lente, o que gera uma imagem circular. A técnica faz parte da caracterização do ambiente onde ocorrem as entrevistas.

De posse das entrevistas e medições, serão utilizados os índices PET e UTCI que possuem método adaptativo. Segundo Zare *et al.* (2018), os índices possuem alta correlação e são bastante utilizados para determinar o estresse térmico em ambientes abertos.

O PET é derivado das equações de balanço de energia humana e resposta fisiológica abordados por Höpfe (1984) e Gagge, Stolwijk e Nishi (1971), posteriormente introduzido por Höpfe (1999). Permite modelar as condições térmicas do corpo humano de forma fisiológica e equivalente para qualquer local, seja ele em espaços abertos ou fechados, além de apresentar os resultados na escala de temperatura, diferente do PMV que é representado na escala de sensação térmica. Walther e Goestchel (2018) realizaram uma descrição minuciosa do modelo de modo a evitar introdução de erros na implementação dos cálculos, introduzindo melhorias no modelo de transferência do vapor, maior sensibilidade à umidade e diminuição dos erros produzidos no ambiente aberto. Essas melhorias estão aplicadas no BIO-met V2.0 (ENVI-met) que será utilizado para o cálculo do PET.

A criação UTCI teve por objetivo integrar novos conhecimentos e preocupações relacionados à avaliação do ambiente térmico ao ar livre. No seu desenvolvimento houve a participação de pesquisadores ligados à comissão do *International Society of Biometeorology (ISB)* e do *COST Action 730* sob o guarda-chuva da *World Meteorological Organization Commission for Climatology (WMO-CCI)*. O objetivo seria avaliar as condições térmicas externas no campo da *biometeorologia humana*¹⁹, com a interação da temperatura ambiente, velocidade do vento, umidade do ar e o calor radiante pelo fluxo de ondas longas e curtas. Em resumo, a avaliação está baseada na resposta fisiológica do corpo humano com a simulação de um modelo termo fisiológico (UTCI, 2012; BAAGHIDEH *et al.*, 2016). Como limitação o modelo utiliza uma faixa de velocidade do vento de 0,5 a 17 m/s a uma altura de 10 metros. As medições de velocidade do vento vinculadas a avaliação do conforto térmico geralmente ocorrem a uma altura de 1,5 a 2,0 metros de altura, necessitando extrapolar para 10 metros de altura para fins de cálculo. O BIO-met V2.0 será utilizado na criação de mapas com o UTCI.

Na execução deste projeto houve a necessidade de adquirir determinados equipamentos para serem aplicados em Macapá, conforme apresentados ao longo da metodologia, pois o que havia disponível localmente não atendiam às recomendações internacionais. Nesse caso, houve a cotação e aquisição dos itens listados na Tabela 7.

Com esses equipamentos foi possível realizar uma pesquisa dentro dos padrões internacionais e passíveis de comparações com outras localidades, avaliando o comportamento térmico e simulações de grandes áreas.

O objetivo em apresentar os valores em dólar na Tabela 7 é auxiliar futuras pesquisas na elaboração financeira de estudos semelhantes, podendo haver até uma redução nos custos se houver a utilização do programa Ciência Importa Fácil do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), que visa isentar impostos na importação de equipamentos utilizados em pesquisas. Nos valores apresentados na Tabela 7 estão inseridos impostos e frete.

Tabela 7 – Custo financeiro dos equipamentos e software aplicados.

DESCRIÇÃO	VALOR UNITÁRIO (R\$)	UN	VALOR (R\$)	DÓLAR (R\$)	VALOR (US\$)
Câmera térmica FLIR PRO ONE	2.596,30	1	2.596,30	3,80	683,24
Câmera Canon T6	1.699,00	1	1.699,00	3,94	431,22

¹⁹ Estudo da influência do clima e tempo sobre o ser humano em aspectos fisiológicos e medicinais, classificados em: fisiológico, sociológico, patológico, urbana e náutica (TROMP, 1963).

Lente FishEye - Opteka 6.5mm f/3.0 Professional Ultra Wide Angle	752,51	1	752,51	4,20	178,99
Notebook Dell i7/16 Gb de RAM	4.757,99	1	4.757,99	4,12	1.154,85
Hobo Datalogger UX100-003	587,40	3	1.762,20	4,12	427,72
Hobo Datalogger MX2301	1.260,00	4	5.040,00	4,12	1.223,30
Software ENVI-Met Science V4.4.5	6.172,43	1	6.172,43	4,32	1.428,80
Estação Davis Vantage Vue	2.446,19	1	2.446,19	4,20	581,84
Link de comunicação Davis Vantage Vue	843,26	1	843,26	4,20	200,58
Termômetro Infravermelho Fluke 62 MAX+	696,90	1	696,90	4,16	167,52
Medidor de Stress Térmico PROTEMP 4	3.082,48	1	3.082,48	4,14	744,56
TOTAL			R\$ 29.849,27		US\$ 7.222,63

Fonte: Levantamento no mercado local.

Por fim, munido dos resultados provenientes da percepção térmica dos usuários locais, campanhas de medições térmicas intraurbana, medições de consumo de energia elétrica e simulações, pode ser possível indicar os fatores que contribuem para a elevação das temperaturas e, conseqüentemente, o desconforto térmico, tendo em vista o crescimento vertical da cidade com base na legislação vigente até o momento. A análise das trocas de calor com a metodologia adotada poderá auxiliar a estabelecer relações entre o meio urbano, o conforto térmico e a energia elétrica. Estudando os diferentes cenários através dos modelos tridimensionais propostos, haverá a possibilidade de indicar estratégias capazes de lidar com as altas temperaturas observadas na cidade de Macapá. A simulação computacional parece ser uma importante aliada uma vez que traz a possibilidade de testar previamente as ações propostas, comparando cenários e, portanto, minimizando erros e custos financeiros e ambientais.

CAPÍTULO 4 – ESTUDO DE CASO: CENTRO COMERCIAL DE MACAPÁ

Neste capítulo serão apresentados os resultados referentes às medições de temperatura, umidade, consumo de energia elétrica, simulações e entrevistas relacionadas ao Centro Comercial de Macapá. A pesquisa de campo iniciou seguindo as recomendações de Oke (1982) de atuar e utilizar nas simulações as condições climáticas que favoreçam as temperaturas elevadas e secas, no caso de Macapá, de agosto a novembro com picos em setembro e outubro. Entretanto, inicialmente havia um planejamento preliminar de trabalhar com o período úmido e frio, dezembro a julho com picos de precipitação e mínimos de temperatura do ar em março. Esses meses de maior e menor temperatura do ar foram registrados na série histórica da estação meteorológica convencional (EMC) do INMET, código WMO n.º 82098.

As primeiras medições ocorreram em janeiro e fevereiro de 2019 (inverno amazônico) e permitiram determinar o perfil da temperatura do ar nos pontos definidos anteriormente, tendo em conjunto a resposta de 279 entrevistas realizadas em maio de 2019. Decidiu-se apresentar nesta tese as medições e entrevistas realizadas em outubro e novembro de 2019 (verão amazônico) com os equipamentos listados no Capítulo 3. Para substituir as medições e entrevistas realizadas no início de 2019 havia uma previsão de realizá-las novamente no início de 2020, no qual, devido a COVID-19 houve a possibilidade de registrar apenas as temperaturas do ar e umidade nos pontos ao ar livre e no interior dos empreendimentos comerciais, sem a realização de entrevistas e medições do consumo de energia elétrica.

4.1 VALIDAÇÃO DO ABRIGO METEOROLÓGICO

Os sensores termo-higrômetros digitais estão disponíveis no mercado com uma grande variedade de modelos, permitindo ao pesquisador definir por um equipamento discreto que possa ser instalado sem alterar o design do ambiente ou robusto que precise de uma estrutura para ser abrigado da radiação solar ou intempéries. Essa variedade de formas e tamanhos dificulta utilizar abrigos meteorológicos universais e compactos sem alterar a medição da umidade e principalmente da temperatura do ar que sofre significativas interferências pela radiação solar refletida. É comum os fabricantes de sensores termo-higrômetros disponibilizarem no mercado abrigos específicos para cada modelo, a fim de atenuar o acúmulo de calor no seu interior devido a deficiência na ventilação passiva ou atrelado a materiais que

armazenem calor, além da preocupação com a propriedade óptica dos materiais. Esses abrigos específicos para cada modelo de sensor tem um custo elevado.

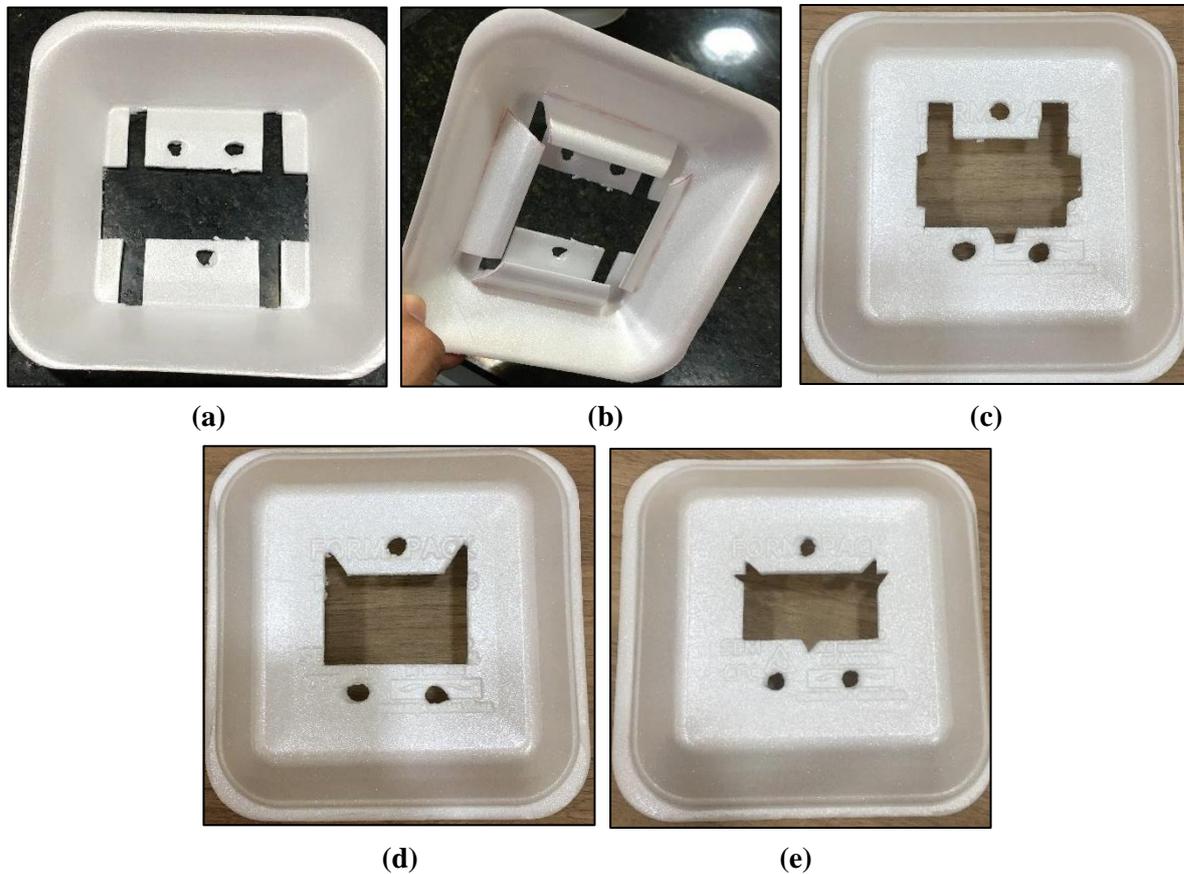
Tarara e Hoheisel (2007), Holden *et al.* (2013) e Reisser Jr (2017) avaliaram abrigos de baixo custo que pudessem ser confeccionados para diferentes modelos de sensores sem comprometer a medição. A principal cautela seria quanto a propriedade dos materiais e a ventilação interna. Como característica primordial o material deverá possuir um alto albedo e baixa emissividade, desta forma não armazena energia térmica que possa elevar a temperatura interna do ar. Outro ponto relevante é quanto o espaço entre os pratos do modelo Gill que deve proporcionar uma ventilação passiva impedindo que a radiação solar refletida atinja o sensor no interior do abrigo. Os autores citados anteriormente desenvolveram abrigos alternativos de baixo custo atendendo as exigências citadas.

Nesta tese se desenvolveu abrigos meteorológicos com pratos de EPS havendo a avaliação do distanciamento entre as camadas, quantidades de pratos por camada, anteparo interno e diferentes cortes para inserir o sensor. Sua utilização ocorreu no período noturno e diurno de modo que pudesse ser avaliada a possibilidade do acúmulo de calor no seu interior devido a uma deficiência na ventilação passiva. Houve também a avaliação do seu tempo de resposta às variações de temperatura, tendo como referência a estação meteorológica Davis Vantage Vue (Figura 38-a). Na Figura 40 são apresentados os modelos colocados em teste.

Os modelos que apresentaram os melhores resultados foram com prato duplo por camada, sem anteparo, espaçamento de 1 cm e corte dos modelos C, D e E da Figura 40. Essa configuração permitiu uma circulação passiva do ar sem o acúmulo de temperaturas elevadas no interior do abrigo, tendo em vista que o EPS apresenta uma baixa emissividade, ou seja, irradia uma baixa quantidade de energia térmica quando exposta ao sol, refletindo grande parte da radiação de onda curta. Uma estratégia adotada também foi a realização de pequenas perfurações no topo do abrigo que permite a saída do ar quente.

Em Reisser Jr (2017) houve a utilização de material plástico aditivado anti radiação ultravioleta (UV) na cor branca, assim como a estação Davis Vantage Vue que utiliza plástico ABS resistente a UV (DAVIS, 2018). O EPS não possuía proteção UV e nem se utilizou tinta que pudesse proteger o abrigo, entretanto, se avaliou por meio da termografia o comportamento do material exposto à radiação solar em comparação a estação Davis Vantage Vue.

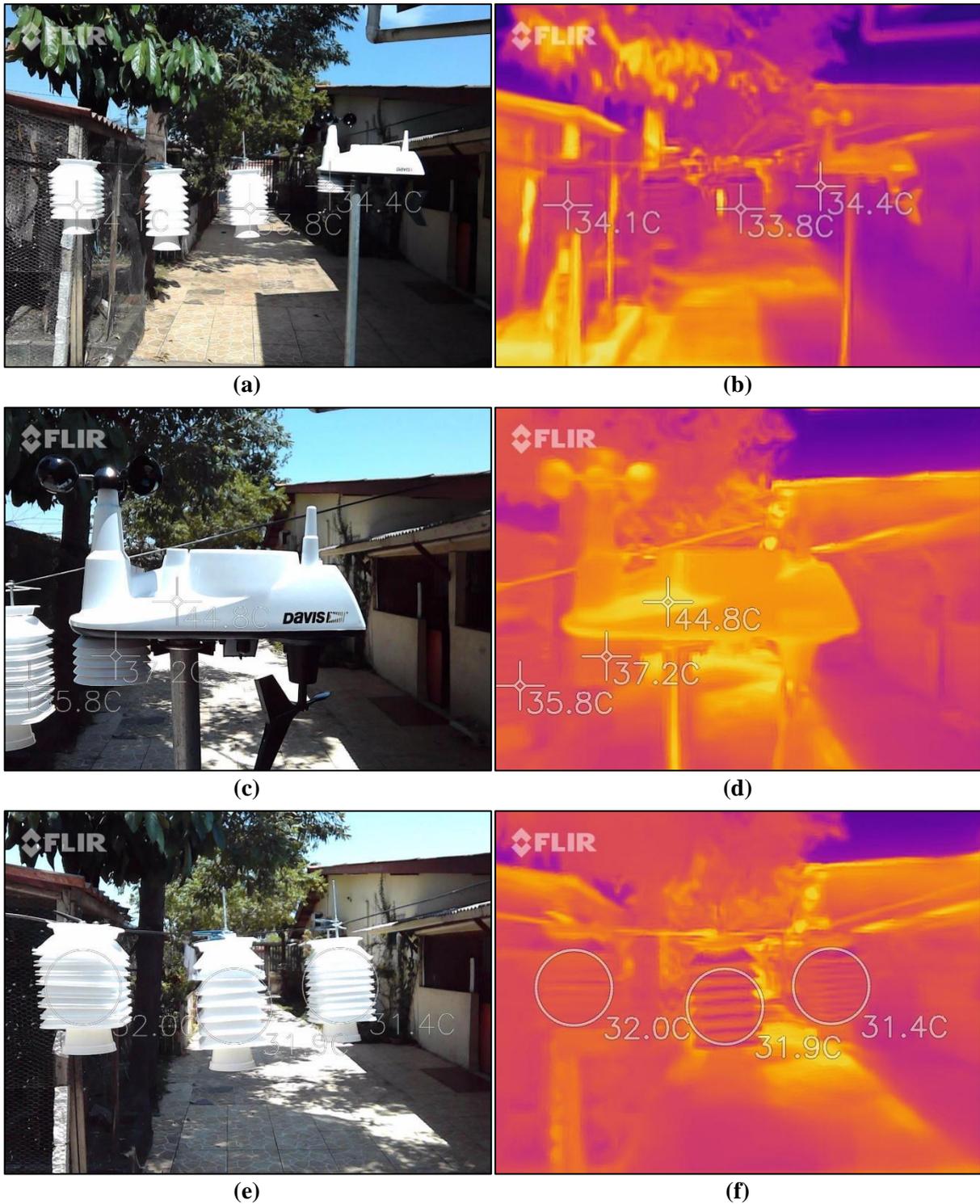
Figura 40 – Principais modelos de pratos de EPS que compõem os abrigos meteorológicos avaliados. (a) modelo com corte acentuado; (b) modelo corte acentuado e anteparo; (c) modelo com corte médio; d) modelo com corte reduzido; e) modelo com corte reduzido e ranhuras ao tamanho do sensor.



Fonte: Acervo pessoal.

Na Figura 41 foram registradas imagens térmicas que pudessem identificar o perfil de irradiação de ondas longas dos equipamentos. Nesse ensaio os dados de temperatura do ar e umidade foram registrados das 12:00 às 16:10h do dia 12/10/2019, dando atenção a temperatura e avaliando os modelos 1 (corte médio - Figura 40-c), modelo 2 (corte reduzido - Figura 40-d) e modelo 3 (corte reduzido com ranhuras - Figura 40-d). Na Figura 41-d percebe-se que a temperatura de superfície mais elevada é registrada na estrutura externa da estação Davis, no qual, o abrigo Gill da Davis apresenta uma temperatura de superfície de 37,2°C, superior aos abrigos meteorológicos de EPS que tem uma temperatura de superfície média de 34,2°C (Figura 42).

Figura 41 – Medição da temperatura de superfície dos abrigos meteorológicos experimentais com a câmera térmica FLIR ONE PRO no dia 12/10/2019 às 12:30h.

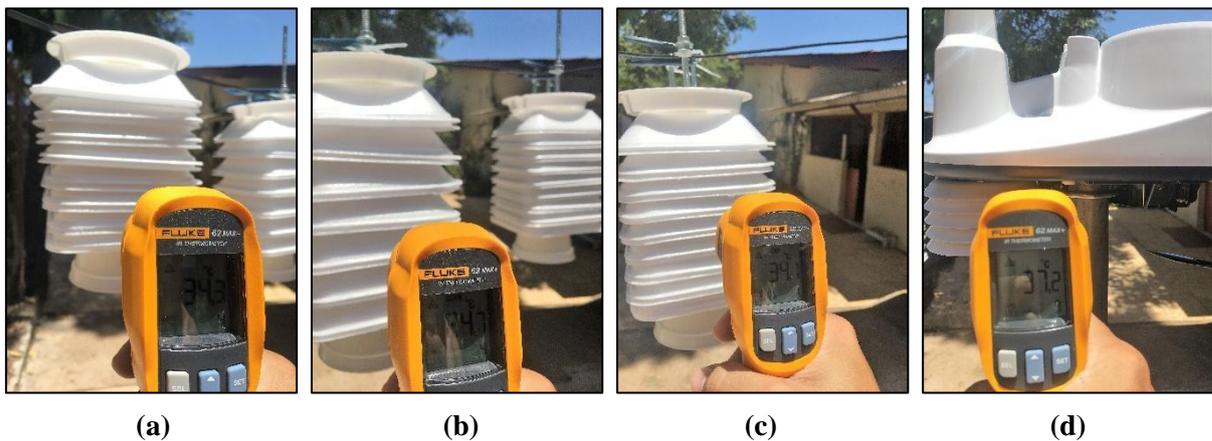


Fonte: Acervo pessoal.

A câmera térmica FLIR ONE PRO tem uma precisão de $\pm 3^{\circ}\text{C}$ (FLIR, 2020), permitindo analisar apenas o perfil térmico destacando os pontos com a temperatura mais elevada, nesse caso, para obtermos uma precisão superior com a termografia teve a utilização do termômetro infravermelho FLUKE 62 MAX+ que tem uma precisão de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ (FLUKE, 2020). Na Figura

42 é apresentada a realização das medições da face do abrigo voltado ao oeste que estava recebendo a radiação direta, as medições ocorreram por volta das 12:30h do dia 12/10/2019 a uma distância de em torno de 5 a 7 cm. Nela podemos confirmar que a temperatura de superfície do abrigo do sensor da Davis, mesmo estando na penumbra do equipamento, possui uma temperatura superior aos demais abrigos.

Figura 42 – Medição da temperatura de superfície dos abrigos meteorológicos experimentais com o termômetro infravermelho FLUKE 62 MAX+ no dia 12/10/2019 às 12:35h. (a) modelo 1 / 34,3°C; (b) modelo 2 / 34,3°C; c) modelo 3 / 34,1°C; e d) estação Davis Vantage Vue / 37,2°C.



Fonte: Acervo pessoal.

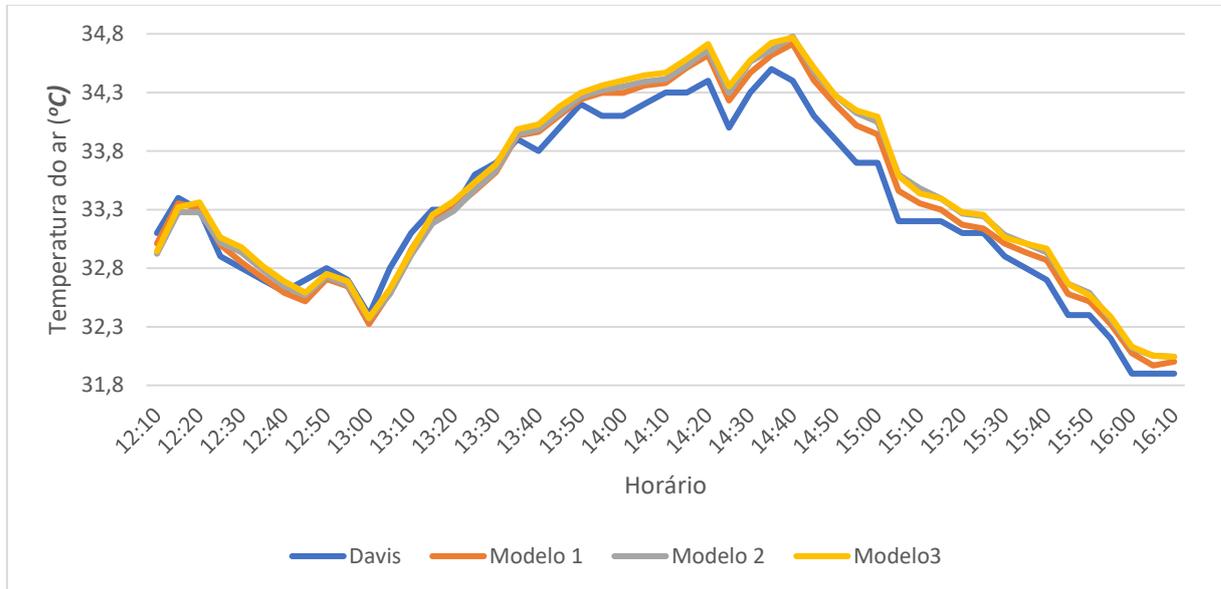
No quesito absorção de energia térmica o abrigo obteve resultados satisfatórios que permitiram continuar a análise da melhor configuração que garanta uma circulação do ar passiva e de modo a impedir a radiação solar refletida.

Simultaneamente a análise da temperatura de superfície do equipamento, os *datalogger* (Hobo e Davis) registraram a temperatura do ar e umidade com a integralização no intervalo de 5 minutos. Na Figura 43 são expostos os dados de temperatura do ar frente a sua variação no período da tarde com o comportamento dos sensores de diferentes fabricantes, essa variação permite avaliar o tempo de resposta e evitar que sejam retiradas conclusões sem o devido fundamento por medições equivocadas. Na figura é possível notar entre às 14:00 e 14:50h que os abrigos com o *datalogger* Hobo MX2301 seguem um perfil similar, se distanciando ou com um tempo de resposta superior ao sensor da estação Davis.

Aparentemente a resposta da Figura 43 pode transparecer que os abrigos estejam interferindo na medição e sejam inviáveis para utilizá-los em campo, nesse caso se fez necessário avaliar o desvio padrão do conjunto (abrigo, hobo e Davis). Na Figura 44 é avaliado o desvio padrão da Davis e os 3 modelos de abrigos, revelando que na realidade o seu valor máximo esteve em 0,18°C com uma média de 0,08°C, sendo apropriado para trabalhar em

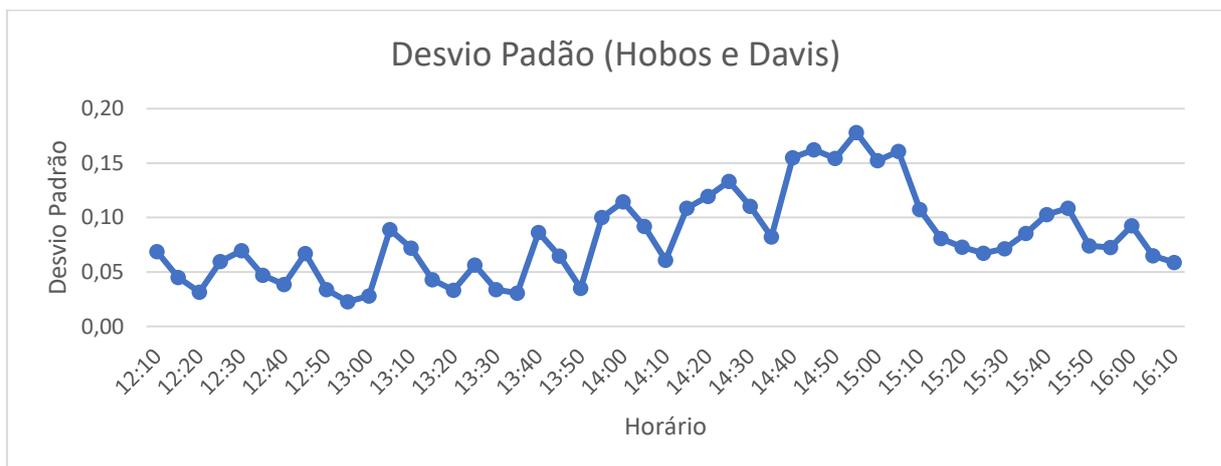
medições de campo e realizar análises com os equipamentos dispostos em ambientes com caracterização distinta.

Figura 43 – Comparação do registro da temperatura do ar entre a estação Davis e os Abrigos com os Hobos no dia 12/10/2019 entre às 12:00 e 16:10h com um intervalo de integralização de 5 minutos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 44 – Desvio padrão da temperatura do ar entre a estação Davis e os Abrigos com os Hobos no dia 12/10/2019 entre às 12:00 e 16:10h. Desvio padrão máximo de 0,18°C e desvio padrão médio de 0,08°C.

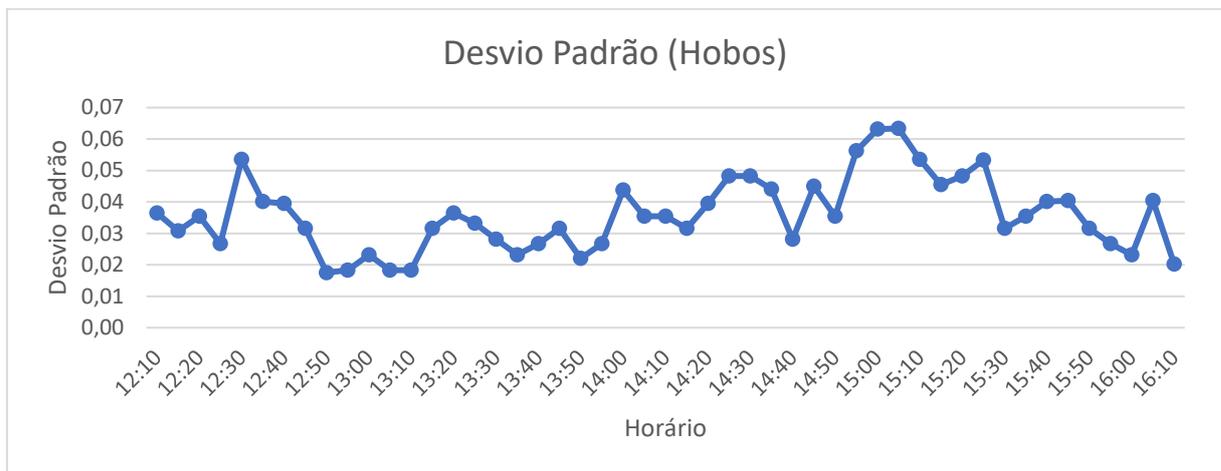


Fonte: Elaborado pelo autor.

É possível notar que o desvio padrão máximo (0,18°C) ocorreu por volta das 15:00h (Figura 44), momento em que a temperatura do ar sofria variação e necessitava de tempo para os demais equipamentos se acomodarem ao nosso patamar. Também fica evidente que o desvio padrão se manteve abaixo do 0,10°C e só ultrapassou os 0,15°C no intervalo da variação acentuada.

Na Figura 43 percebe-se que os sensores dispostos nos abrigos de diferentes modelos estavam apresentando comportamento muito aproximado, nesse caso, decidiu-se avaliar o desvio padrão somente dos abrigos com os 3 modelos. Na Figura 45 tem-se o desvio padrão somente dos abrigos com os Hobos e se encontrou um valor máximo de 0,06°C e uma média de 0,04°C, ressaltando que o Hobo MX2301 detém de uma precisão de $\pm 0,20^\circ\text{C}$.

Figura 45 – Desvio padrão da temperatura do ar entre os Abrigos com os Hobos no dia 12/10/2019 entre às 12:00 e 16:10h. Desvio padrão máximo de 0,06°C e desvio padrão médio de 0,04°C.

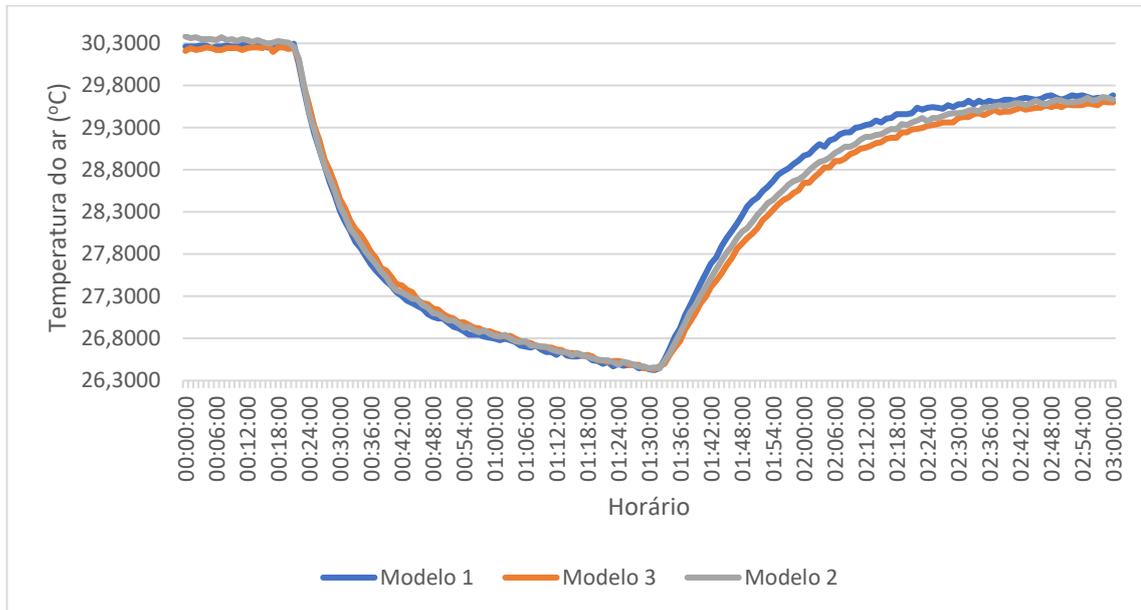


Fonte: Elaborado pelo autor.

De posse dos resultados dos abrigos, estando estes satisfatórios, com um baixo desvio padrão, tendo em vista que em campo para efeito de comparação da temperatura do ar intraurbana será utilizado equipamento de um mesmo fabricante, verificou-se o tempo de resposta dos sensores a variação de temperatura. A Figura 46 revela o resultado do comportamento dos sensores a variação da temperatura em um período de 3 horas com um intervalo de integralização de 1 minuto. Houve a diminuição do intervalo de integralização com o objetivo de avaliar em minutos o tempo que levaria para os sensores se atingirem um novo patamar de temperatura dentro de um determinado nível de desvio padrão.

O teste consistiu em introduzir os equipamentos a dois ambientes distintos, um com uma temperatura do ar próximo do 30°C e outro próximo dos 26°C, de maneira que pudesse apresentar uma variação brusca de 4°C. Ambos os ambientes contavam com uma baixa incidência de vento. O resultado apresentado na Figura 46 revela um comportamento satisfatório da queda da temperatura, mostrando que não houve acúmulo de ar quente no seu interior, o que poderia mascarar a real temperatura do ar. No retorno a uma temperatura superior houve uma discrepância no período de transição, podendo ter sido influenciado pela baixa incidência de vento atrelado ao corte interno dos modelos avaliados.

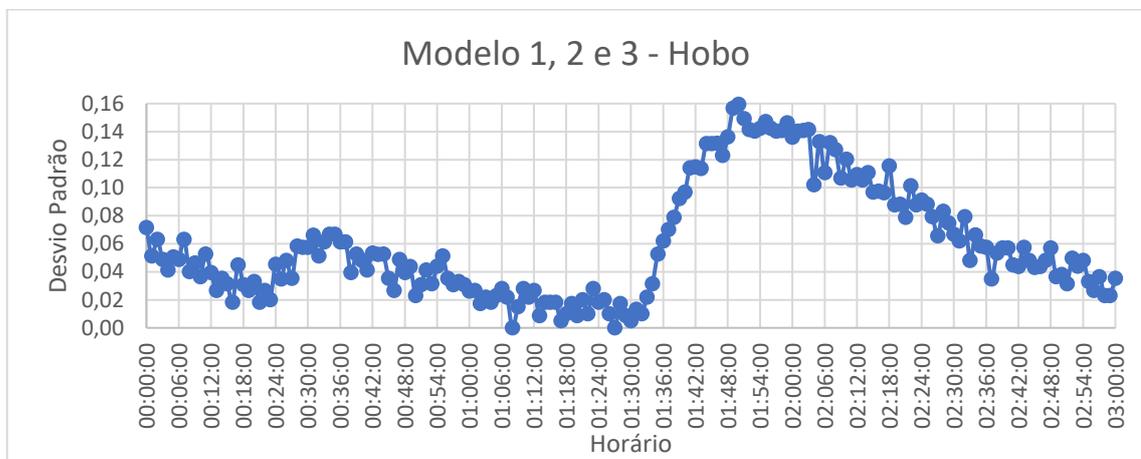
Figura 46 – Tempo de resposta dos abrigos (modelo 1, 2 e 3) a uma variação de temperatura do ar. Intervalo de integralização de 1 minuto.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na análise do desvio padrão (Figura 47) houve um valor máximo de $0,16^{\circ}\text{C}$ e média de $0,06^{\circ}\text{C}$. Nos primeiros 90 minutos do teste o desvio padrão permaneceu abaixo dos $0,07^{\circ}\text{C}$ e ultrapassou os $0,10^{\circ}\text{C}$ quando os equipamentos retornaram ao ambiente fechado que estava com uma temperatura elevada e deficiente de ventilação. Os equipamentos levaram 37 minutos para retornarem ao desvio padrão de no máximo $0,10^{\circ}\text{C}$. O modelo 1 por contar com um corte superior aos demais permite uma circulação do ar no entorno do sensor e se mostrou eficiente em ambientes que possuam uma ventilação deficiente.

Figura 47 – Desvio padrão da temperatura do ar entre os abrigos (modelo 1, 2 e 3). Desvio padrão máximo de $0,16^{\circ}\text{C}$ e desvio padrão médio de $0,06^{\circ}\text{C}$.



Fonte: Elaborado pelo autor.

É importante salientar que o desvio padrão máximo ($0,16^{\circ}\text{C}$) permaneceu abaixo da especificação de precisão do equipamento e que esse valor só atingiu essa margem por ter sido avaliado em um ambiente fechado, dificultando a ventilação passiva do abrigo meteorológico proposto.

Havendo a escolha do Modelo 1 (Figura 40-c) para atuar nas medições em campo, houve a construção dos demais abrigos e sua validação. Na Figura 48 pode-se observar montados e expostos a radiação solar direta, ocorrendo sua validação no dia 18/10/2019 entre às 9:40 e 12:15h, estando a estação Davis próximo e na mesma altura para ser utilizada como referência.

Figura 48 – Validação dos abrigos antes de instalar no Centro Comercial tendo como referência a estação Davis. Utilização do modelo 1 e intervalo de integralização de 1 minuto.

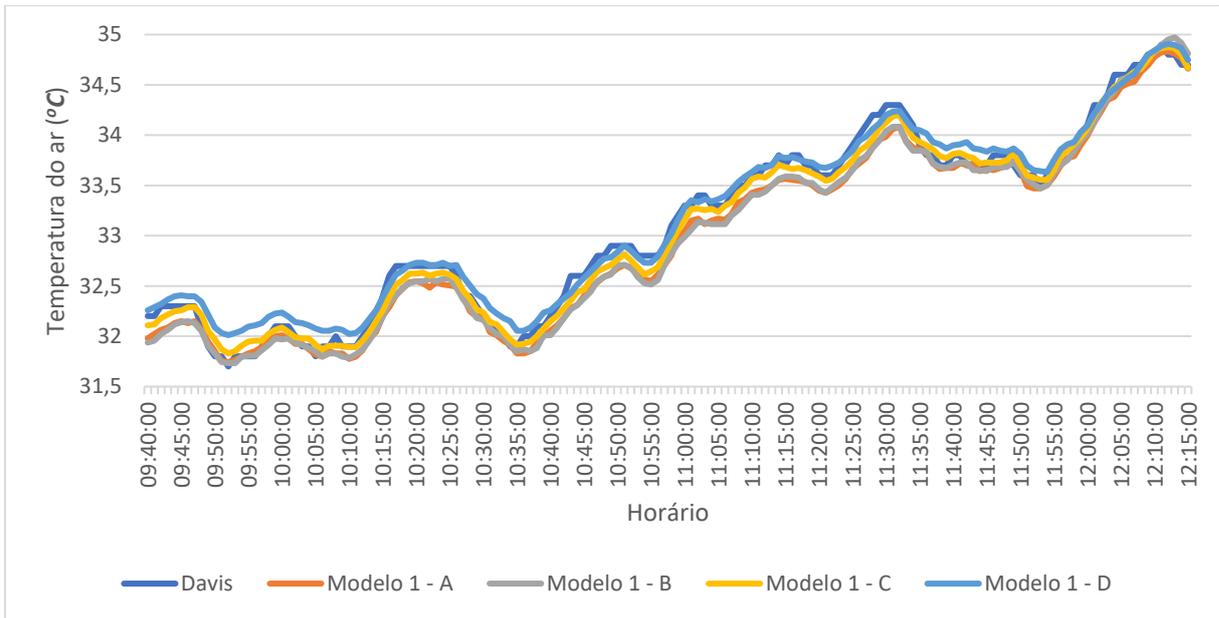


Fonte: Acervo pessoal.

Nessa avaliação o tempo de integralização esteve no intervalo de 1 minuto e os resultados podem ser observados na Figura 49. Por estar em um ambiente aberto com pequenas velocidades de ventos e algumas rajadas, não houve déficit de ventilação passiva e os resultados se mostraram satisfatórios. Tanto no incremento quanto no decremento da temperatura do ar, os sensores nos abrigos seguiram a temperatura registrada pela estação Davis.

No desempenho dos abrigos com a análise do desvio padrão (Figura 50) houve um valor máximo de $0,12^{\circ}\text{C}$ e média de $0,09^{\circ}\text{C}$, sem enormes variações.

Figura 49 – Validação dos quatro abrigos meteorológicos antes da instalação no Centro Comercial em comparação a estação Davis. Utilização do modelo 1 e intervalo de integralização de 1 minuto.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 50 – Desvio padrão da temperatura do ar entre os quatro abrigos (modelo 1) e a estação Davis. Desvio padrão máximo de 0,12°C e desvio padrão médio de 0,09°C.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os abrigos meteorológicos de baixo custo construídos com materiais disponíveis localmente são uma vantagem a serem utilizados em pesquisas científicas, pois permitem utilizar o mesmo abrigo ou material com sensores distintos modificando apenas seu design interno. Entretanto, sua real vantagem se encontra no custo financeiro, onde no abrigo criado para esta tese ficou orçado em R\$ 12,85, conforme valores descritos na Tabela 8 por material empregado, e apresentam resultados superiores ao esperado.

Caso fosse utilizado o abrigo RS4 fornecido pela ONSET específico para o Hobo MX2301, em cotação realizada em setembro de 2019, o valor unitário se encontrava em R\$ 500,00 (SIGMA, 2019), em contrapartida aos R\$ 12,85 utilizado para construir abrigo similar. Convertendo ao dólar que esteve cotado na média de R\$ 4,12 para o mesmo mês, o abrigo meteorológico RS4 estaria custando US\$ 121,36 e o abrigo desenvolvido custaria US\$ 3,12. A pesquisa de campo contou com 4 hobos que foram instalados em ambiente aberto e seria necessário o financiamento de US\$ 485,44 em abrigos específicos, no qual, houve o financiamento de apenas US\$ 12,48 para a aquisição do material.

Tabela 8 – Custo financeiro local e materiais empregados no abrigo meteorológico.

MATERIAL	QUANTIDADE	VALOR	VALOR
	E	UNITÁRIO	FINAL
Pratos de EPS	20	R\$ 0,14	R\$ 2,75
Barra rosca de aço (5mm x 1m)	1	R\$ 3,51	R\$ 3,51
Arruela	9	R\$ 0,20	R\$ 1,80
Porca	6	R\$ 0,20	R\$ 1,20
Cano Flexível (m)	0,5	R\$ 4,00	R\$ 2,00
Prato de vaso de jardim	1	R\$ 0,59	R\$ 0,59
Vaso de jardim	1	R\$ 1,00	R\$ 1,00
		TOTAL (R\$)	R\$ 12,85
Cotação do Dólar (Set. 2019): R\$ 4,12		TOTAL (US\$)	US\$ 3,12

Fonte: Levantamento no mercado local.

Pode-se comprovar que o abrigo meteorológico de baixo custo apresenta desempenho necessário para ser implementado nesta pesquisa sem perder a confiabilidade dos dados, abrindo caminho para o desenvolvimento com outros materiais e passivo de avaliação com modelos de sensores distintos.

4.2 MEDIÇÕES EXTERNAS E INTERNAS

Na etapa de medição de temperatura e umidade do ar em ambientes externos e internos contou com uma análise preliminar do recorte espacial, no qual, se pretendia selecionar os pontos que pudessem evidenciar o contraste da temperatura provocado pelos materiais empregados no seu entorno. Buscou-se por locais que contivessem no seu entorno uma baixa densidade de vegetação e uma alta impermeabilização do solo, desta forma, se teria um local com temperaturas elevadas durante o dia e noite em decorrência da retenção de energia térmica.

Em contraste ao local com temperaturas elevadas, buscou-se um ponto com uma densidade de vegetação alta e baixa impermeabilidade do solo.

O primeiro ponto a ser selecionado foi no entorno da Praça Floriano Peixoto por ser um espaço que possui um lago, gramíneas e árvores de médio e grande porte, proporcionando uma densidade de vegetação alta. Sabendo que a predominância do vento na região é Leste/Nordeste, definiu-se que o sensor ficaria instalado no poste da rede elétrica que se encontra na via a oeste da praça, de modo que o vento atravessasse primeiro a praça antes de chegar ao sensor. Esse ponto é definido como P1 ($0^{\circ} 1' 50.05''\text{N}$ e $51^{\circ} 3' 19.96''\text{W}$) e pode ser observado na Figura 51 obtido no Google Earth do dia 23/11/2019, período posterior à realização das medições. Nessa imagem é importante observar que no verão amazônico as gramíneas desaparecem e deixam o solo exposto, tanto no entorno da Fortaleza de São José quanto na Praça Floriano Peixoto. A medição da temperatura de superfície do solo não esteve em foco no momento.

Figura 51 – Recorte espacial do Centro Comercial de Macapá com os pontos de medição externo e interno. Imagem do dia 23/11/2019.



Fonte: Adaptado do Google Earth Pro (2020).

O segundo ponto deveria ser oposto ao primeiro, nesse caso, buscou-se selecionar um local em que pudesse ser instalado o equipamento em uma via com orientação Leste-Oeste, podendo receber a radiação solar ao longo do dia sem sombreamento. Houve a definição pelo ponto em frente ao prédio da Caixa Econômica Federal na Avenida Coaraci Nunes, ficando definido como P3 ($0^{\circ} 1' 56.49''\text{N}$ e $51^{\circ} 3' 8.26''\text{W}$) e destacado na Figura 51.

Os demais pontos externos deveriam ser intermediários, nesse caso, definiu-se o P2 ($0^{\circ} 1' 57.55''\text{N}$ e $51^{\circ} 3' 19.57''\text{W}$) próximo a uma área com vegetação arbórea, instalando o sensor a oeste dessa vegetação (Figura 51). E o quarto ponto em uma via com sentido Norte-Sul com baixa densidade vegetal, nesse caso, definindo o P4 ($0^{\circ} 1' 47.45''\text{N}$ e $51^{\circ} 3' 13.28''\text{W}$) próximo a um supermercado (Figura 51).

Em conjunto as medições externas houve a seleção de empreendimentos comerciais que pudessem ser instalados os sensores de temperatura e umidade a fim de analisar a variação da temperatura interna e externa atrelado ao consumo de energia elétrica. Os empreendimentos selecionados foram a filial da Loja Monte e Cia ($0^{\circ} 1' 57.45''\text{N}$ e $51^{\circ} 3' 13.12''\text{W}$), localizada na esquina da Rua Tiradentes com Avenida Coaracy Nunes, e a Loja Estação Beleza ($0^{\circ} 1' 54.95''\text{N}$ e $51^{\circ} 3' 13.14''\text{W}$), localizada na Rua Tiradentes. Houve a autorização por parte dos proprietários para se trabalhar nos empreendimentos realizando a coleta de dados e o acompanhamento pela equipe técnica das respectivas lojas, além do envolvimento da equipe técnica da CEA na instalação dos equipamentos de análise de energia elétrica. As lojas se encontram em destaque na Figura 52.

Figura 52 – Empreendimentos comerciais avaliados quanto ao seu comportamento relacionando temperatura do ar interna, umidade interna e consumo de energia elétrica. (a) Loja Monte & Cia e (b) Loja Estação Beleza.



Fonte: Acervo pessoal.

A escolha se deu pelo projeto arquitetônico de ambas e o interesse em conhecer o comportamento térmico no seu interior, tendo em vista que possuem fachadas de vidro. A loja Monte (Figura 52-a) possui 3 pisos com um pé-direito duplo, sua fachada frontal possui uma secção de vidro reflexivo que limita a parcela de radiação solar que entra no ambiente, a fachada lateral não possui aberturas e se encontra na tonalidade branca. A loja Estação Beleza (Figura

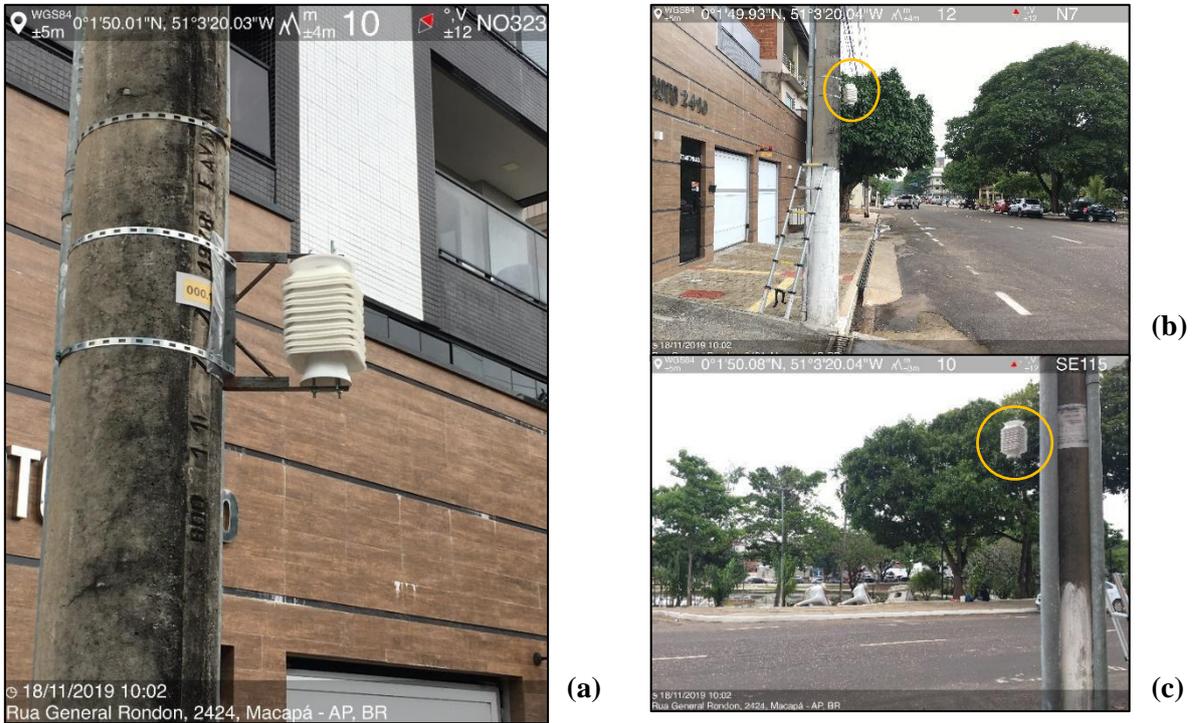
52-b) possui 4 pisos, pé-direito duplo e uma secção significativa de vidro laminado na tonalidade verde, tanto na fachada frontal voltada para o Leste quanto a fachada lateral voltada para o Sul, com o objetivo de aproveitar ao máximo a luz natural.

Com a escolhas de todos os pontos de medição, passou-se para a etapa de instalação dos equipamentos nos postes circulares da CEA, estando a uma altura média de 2,8m e orientação em 70° em relação ao Norte, predominantemente para o Leste, de forma que no período da tarde os abrigos ficassem na sombra do poste. Nas Figuras 53 a 56 se encontram os abrigos meteorológicos de baixo custo com o datalogger Hobo MX2301 instalados.

Com a medição externa será possível avaliar o comportamento da temperatura do ar em diferentes pontos, com interesse em registrar as condições meteorológicas em que o indivíduo estaria imerso naquele momento e poderia experimentar se estivesse em outro ponto, procurando buscar correlação ao que havia sido registrado na EMA e EMC.

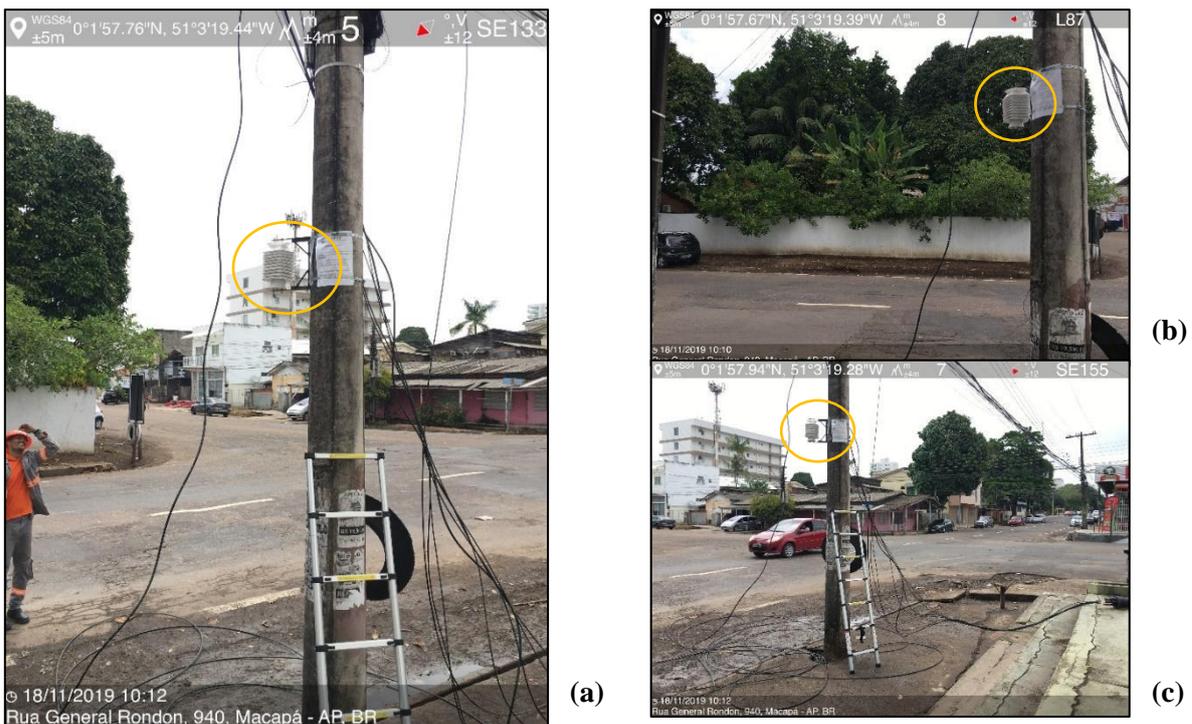
Nos empreendimentos comerciais houve a preocupação em instalar os Hobos UX100-003 em locais discretos que não chamassem a atenção de clientes e evitassem que fossem manipulados. Outra cautela esteve em evitar sua instalação próximo ou na orientação dos ar-condicionados. Na loja Monte sua instalação ocorreu no vão do pé-direito no centro da loja, sobre o corredor e de frente para a entrada, conforme Figura 57. Na loja Estação Beleza ocorreu sua instalação na segunda coluna que fica no centro da loja, ficando os sensores no primeiro e segundo piso orientados para a entrada, conforme Figura 58.

Figura 53 – Equipamento instalado no ponto P1 em frente a Praça Floriano Peixoto. (a) Abrigo meteorológico de baixo custo com o *datalogger* Hobo MX2301; (b) Imagem do abrigo (destaque) orientado para o Norte; e c) Imagem do abrigo (destaque) orientado para o Sudeste.



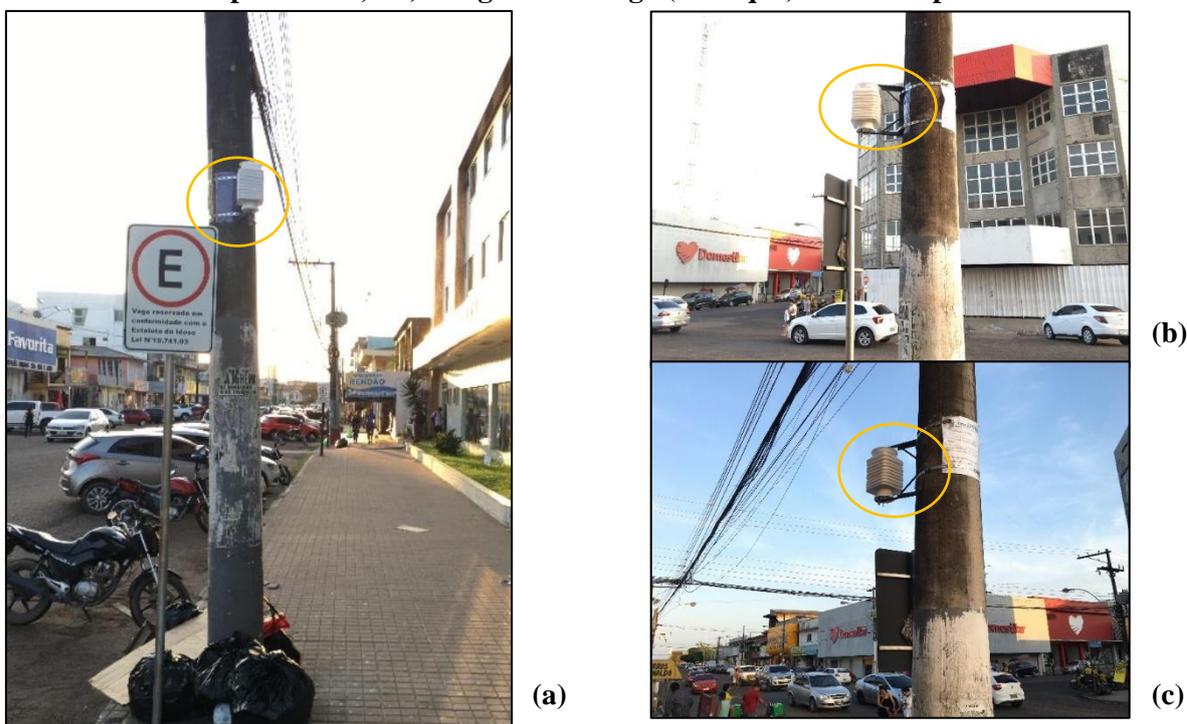
Fonte: Acervo pessoal.

Figura 54 – Equipamento instalado no ponto P2 em frente a Sede Administrativa da Assembleia de Deus. (a) Abrigo (destaque) instalado; (b) Imagem do abrigo (destaque) orientado para o Leste; e c) Imagem do abrigo (destaque) orientado para o Sudeste.



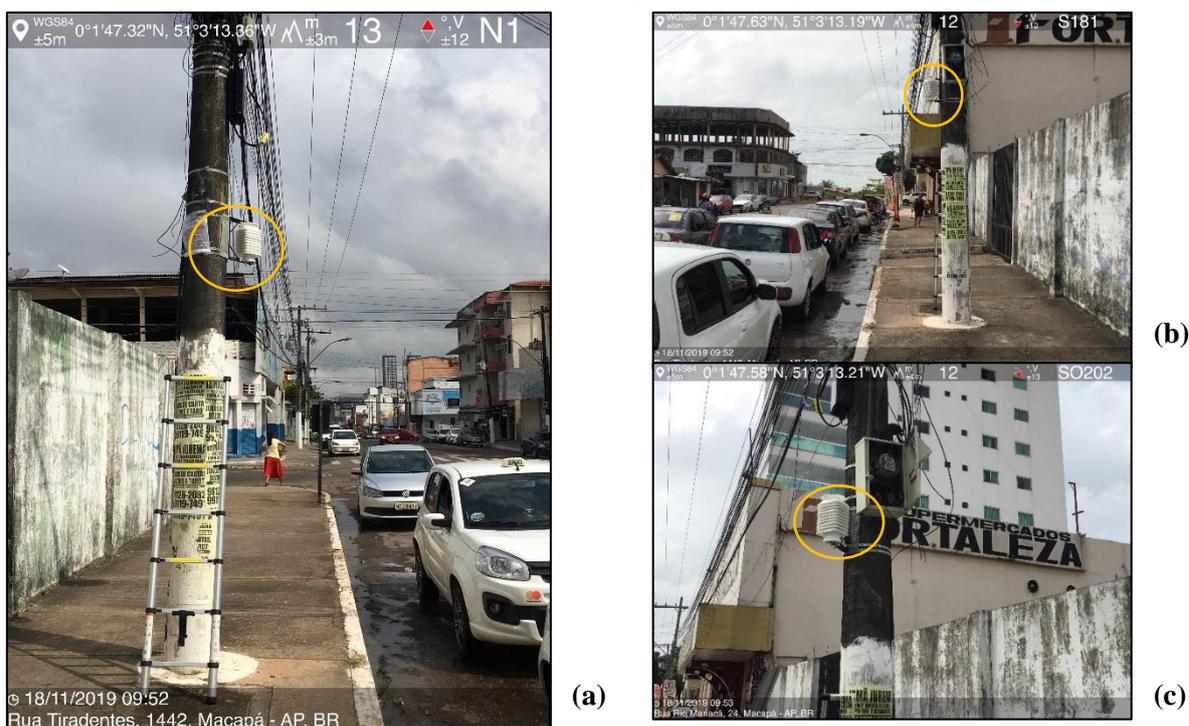
Fonte: Acervo pessoal.

Figura 55 – Equipamento instalado no ponto P3 em frente a Caixa Econômica Federal. (a) Imagem do abrigo (destaque) orientado para o Oeste; (b) Imagem do abrigo (destaque) orientado para o Sul; e c) Imagem do abrigo (destaque) orientado para o Sudeste.



Fonte: Acervo pessoal.

Figura 56 – Equipamento instalado no ponto P4 próximo ao Supermercado Fortaleza. (a) Imagem do abrigo (destaque) orientado para o Norte; (b) Imagem do abrigo (destaque) orientado para o Sul; e c) Abrigo meteorológico (destaque).



Fonte: Acervo pessoal.

Figura 57 – Equipamento *datalogger* Hobo UX100-003 instalado no vão do pé-direito duplo da Loja Monte & Cia de frente para a entrada. (a) Vista do corredor com o *datalogger* acima e (b) *Datalogger* em destaque instalado no eletroduto aparente.



Fonte: Acervo pessoal.

Figura 58 – Equipamento *datalogger* Hobo UX100-003 instalado no centro da Loja Estação Beleza de frente para a entrada. (a) Instalado na caixa de som do primeiro piso e (b) Instalado no segundo piso.



Fonte: Acervo pessoal.

Os equipamentos instalados nos ambientes externos estiveram em operação das 17:00h do dia 18/10/2019 às 10:00h do dia 18/11/2019, com a possibilidade de permanecerem atuando por período indeterminado devido a facilidade em realizar *download* dos dados via *bluetooth*. No entanto, decidiu-se por retirar e avaliar as condições estruturais dos abrigos e *datalogger*. As imagens dos abrigos após sua retirada estão disponíveis no APÊNDICE A-3.

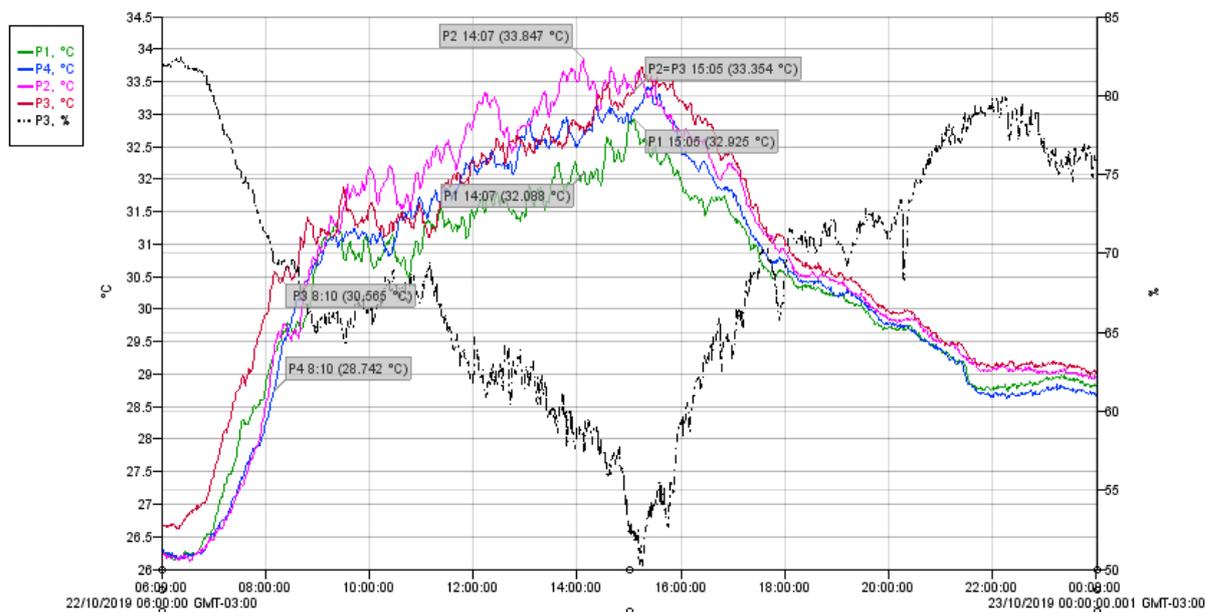
O período de registro dos equipamentos instalados nos ambientes internos foi das 14:00h do dia 18/10/2019 às 16:30h do dia 05/11/2019, estando limitado a aproximadamente 21 dias de espaço disponível na memória por ter sido ajustado para integralizar os dados no intervalo de 1 minuto. Haveria a possibilidade de realizar o download via USB, entretanto, optou-se por encerrar as medições internas.

Os gráficos com os dados da medição foram organizados no software HOBOWare utilizado para configurar e realizar o *download* dos Hobos UX100-003. O Hobo MX2301 é acessado via App HOBOMobile, permitindo configurar, realizar download, gerar gráficos e compartilhar os arquivos. No HOBOWare foram tratados todos os dados e separados por medições externas e internas.

O primeiro registro analisado será do dia 22/10/2019 (Figura 59) com o perfil característico da temperatura do ar no ambiente estudado, comparando no mesmo gráfico as quatro temperaturas externas. Na imagem é possível notar que o P3 (CEF) é onde ocorre primeiro o ganho de energia térmica, conseqüentemente, elevação da temperatura do ar em relação aos demais pontos, seguindo sempre essa tendência diária. Pode ser observado que o P3 às 8:10h registrou 30,565°C em contrapartida ao P4 no mesmo horário que registrou 28,742°C (diferença de 1,82°C). Seguindo a curva ao longo do dia a temperatura mais alta foi às 14:07h no ponto P2 estando em 33,847°C com a mais baixa para o mesmo horário no P1 (praça) em 32,088°C (diferença de 1,76°C). Às 14:00h local a EMA havia registrado 32,7°C com umidade em 49%, ou seja, a temperatura no Centro Comercial e até mesmo na praça estavam em valores superiores com uma umidade relativamente baixa para a região, provocando desconforto térmico.

Ainda acompanhando a Figura 59 percebe-se que às 15:05h a temperatura no P1 atingiu seu pico com 32,925°C em comparação ao P2 e P3 que se encontravam com o mesmo registro em 33,354°C (diferença de 0,43°C). As condições meteorológicas apresentadas pela EMA mostravam uma temperatura de 34°C às 15:00h e vinha com uma queda na umidade chegando a 36% entre às 15:00 e 16:00h, um dos menores valores registrados no ano. Com a umidade baixa e temperatura elevada na EMA, todos os pontos tendem a sofrer uma elevação apresentando diferenças mínimas de um ponto a outro. Esse comportamento se mantém no Centro Comercial, assim como o ponto com as menores temperaturas do ar em P1 (praça) e as maiores em P2 (sede) e P3 (CEF).

Figura 59 – Comparação das medições externas no dia 22/10/2019.



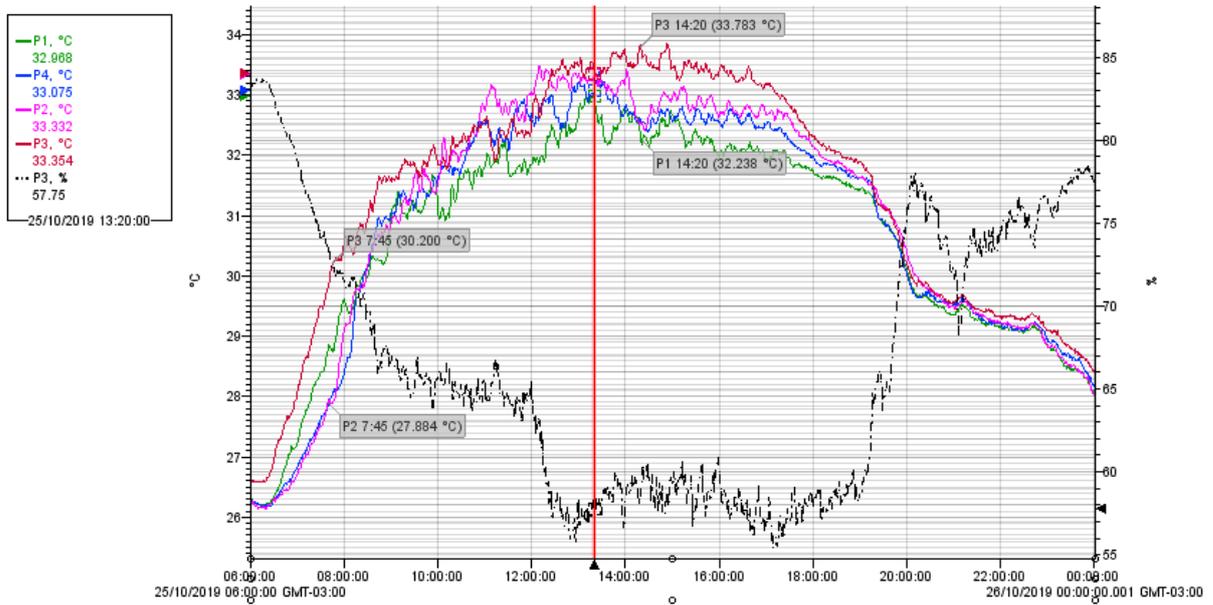
Fonte: Elaborado pelo autor.

A próxima análise é para o dia 25/10/2019 (Figura 60) por se tratar do maior registro de temperatura do ar medido pela EMA em 2019, sendo de 34,8°C entre às 13:00 e 14:00h local. Avaliando o comportamento dos sensores externos para o dia mais quente do ano, o dia começou com 30,2°C às 7:45h no P3, contrapondo ao P2 que registrava 27,884°C (diferença de 2,34°C). No período que a EMA registrava a maior temperatura do ano com umidade baixa chegando a 41%, os sensores convergem para valores bem próximos com P3 em 33,354°C e P1 em 32,968°C (diferença de 0,39°C) às 13:20h. O P1 havia atingido seu valor máximo um minuto antes de 33,03°C, o maior valor para o tempo em que ficou instalado ao lado da praça.

Ainda em relação a Figura 60, o maior registro ocorreu às 14:20 no P3 com 33,783°C e P1 registrava 32,238°C (diferença de 1,55°C). Essa tendência permanece com a vegetação da praça, atenuando a temperatura do ar.

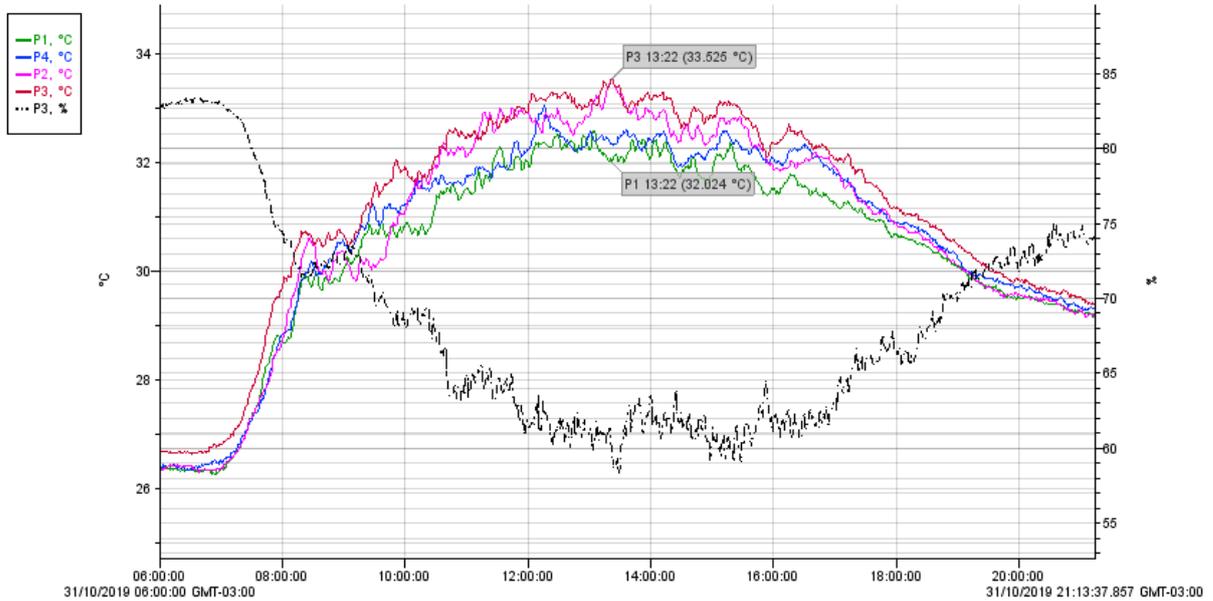
A próxima análise é para o dia 31/10/2019 que será usado como referência a simulação. Os dados de entrada são oriundos da EMA e os resultados serão comparados com o que havia sido registrado pelos sensores, buscando na simulação o perfil de resposta da temperatura do ar apresentando na Figura 61. Nesse dia não ocorreram grandes variações e se manteve o comportamento esperado, com as maiores temperaturas em P3 e a menor em P1, apresentando seu pico às 13:22h com 33,525°C em P3 e 32,024°C em P1 (diferença de 1,5°C). A maior temperatura registrada pela EMA foi de 34,3°C entre às 13:00 e 14:00h local.

Figura 60 – Comparação das medições externas no dia 25/10/2019.



Fonte: Elaborado pelo autor.

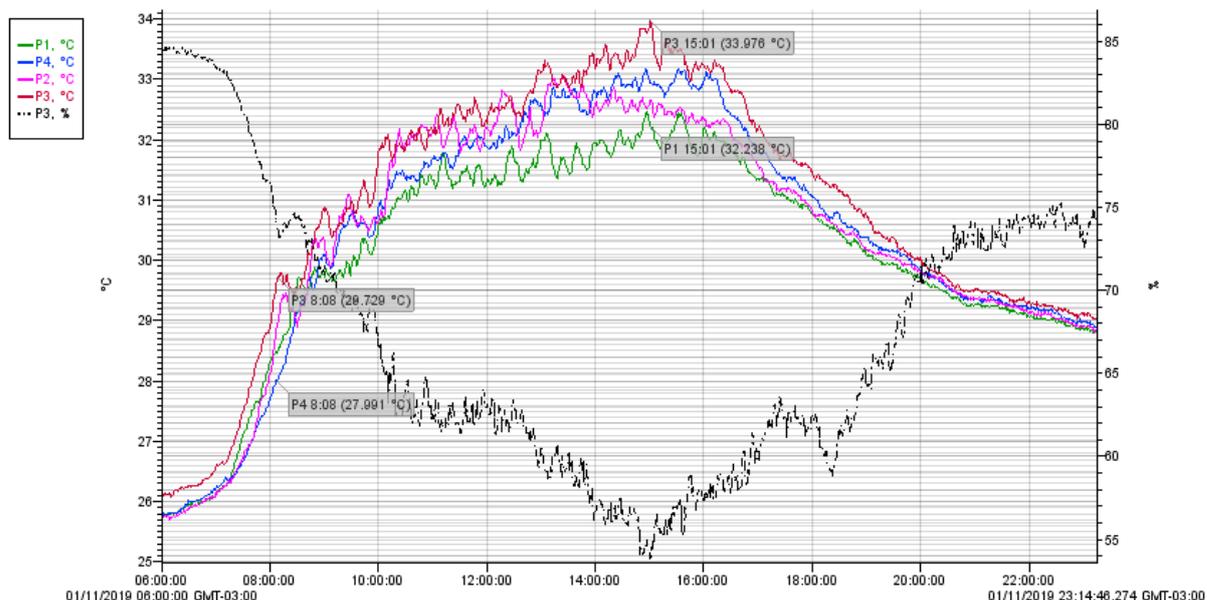
Figura 61 – Comparação das medições externas no dia 31/10/2019.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A medição do dia 01/11/2019 (Figura 62) também será usado na comparação do resultado simulado pelo ENVI-met, mantendo o perfil da maior e menor temperatura e havendo o registro da maior temperatura do dia às 15:01h de 33,976°C em P3 e a menor para o mesmo horário de 32,238°C em P1 (diferença de 1,74°C). Às 15:00h local a EMA havia registrado 33,1°C com 47% de umidade.

Figura 62 – Comparação das medições externas no dia 01/11/2019.

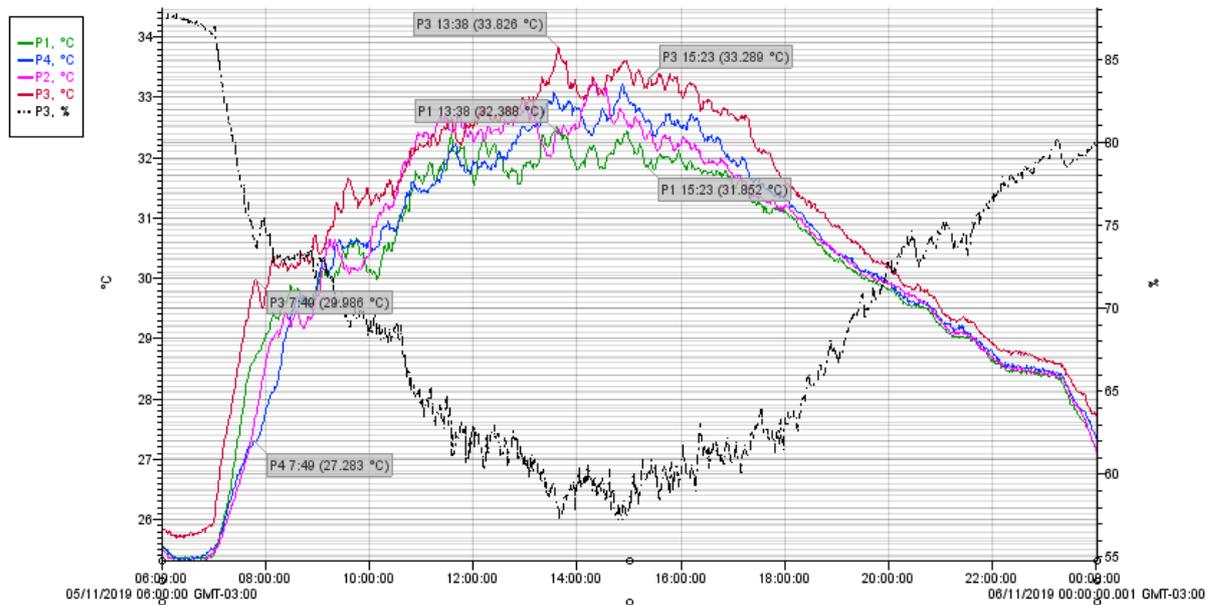


Fonte: Elaborado pelo autor.

O tempo no dia 05/11/2019 (Figura 63) foi o que apresentou a maior diferença de temperatura do ar, ocorrendo pela manhã às 7:49h com o P3 registrando 29,986°C e P4 com 27,283°C (diferença de 2,7°C). Essa diferença acentuada no início da manhã se deu pela precipitação que ocorreu por volta da meia-noite e manteve durante parte da madrugada a umidade relativa acima dos 90%, mantendo as superfícies úmidas e a temperatura do ar baixa. Ao amanhecer o P3 foi o primeiro ponto a receber a radiação solar direta, elevando a temperatura do ar em sua volta. Os demais pontos, devido a vegetação e alguns empreendimentos comerciais, levam um tempo maior para receber a radiação solar. Durante o dia o perfil térmico se mantém.

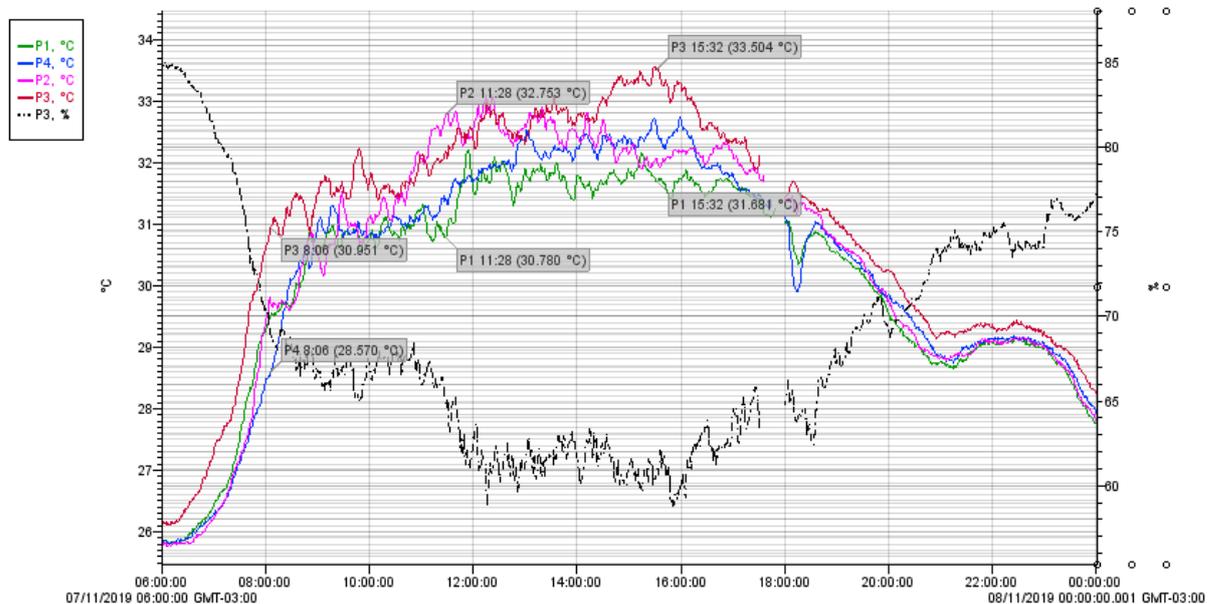
A última medição externa a ser avaliada foi do dia 07/11/2019 (Figura 64) por apresentar as maiores diferenças de temperaturas entre os pontos analisados. Às 8:06h o ponto P3 registrava 30,951°C contrapondo ao P4 com 28,57°C (diferença de 2,38°C). Durante o dia permaneceu elevado a diferença com 32,753°C no P2 e 30,78°C em P1 (diferença de 1,97°C) registrado às 11:28h, no qual, no período em que estiveram instaladas essa foi a maior variação para o intervalo das 11:00 às 16:00h. Às 15:32 houve outra amplitude com 33,504 em P3 e 31,684 em P1 (1,82°C). Em relação a EMA, a temperatura máxima do ar foi de 34,4°C e umidade mínima de 43% entre às 13:00 e 14:00h. Seria necessário uma análise aprofundada comparando os dados da EMA e EMC para identificar os fatores meteorológicos que levaram esse dia a apresentar as maiores diferenças de um ponto a outro.

Figura 63 – Comparação das medições externas no dia 05/11/2019.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 64 – Comparação das medições externas no dia 07/11/2019.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Outro dado relevante que permite caracterizar o perfil térmico dos pontos avaliados é a série estatística dos equipamentos. Na Tabela 9 são apresentados os valores máximo, mínimo e média. Na praça (P1) a maior temperatura do ar foi registrada no dia mais quente do ano com 33,032°C, entretanto, ficando abaixo dos demais pontos avaliados. Na Sede Administrativa (P2) foi o ponto que registrou a maior temperatura com 34,147°C. Entretanto, no dia de sua máxima o perfil térmico estava bem superior aos demais, acredita-se que havia alguma fonte de calor

externa ou material reflexivo que estivesse interferindo na medição. Nesse caso, é confiável admitir que o P3 tenha sido o local que tenha atingido a maior temperatura do ar, com 34,019°C.

Tabela 9 – Série estatística dos Hobos MX2301.

EQUIPAMENTO	MÁXIMO (°C)	MÍNIMO (°C)	MÉDIA (°C)
P1 – Praça	33,032 (25/10)	24,495 (18/11)	29,294
P2 – Sede Adm.	34,147 (02/11)	24,495 (18/11)	29,515
P3 – Banco	34,019 (28/10)	24,497 (18/11)	29,917
P4 – Supermercado	33,439 (20/10)	24,473 (18/11)	29,446

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ainda na Tabela 9 verifica-se que a mínima ocorreu no dia 18/11/2019 por volta das 4:00h, as condições climáticas registradas pela EMA mostravam precipitação de 7,2mm no dia e no anterior de 13,7mm, ocasionando a queda de temperatura uniforme em todos os pontos com uma velocidade de vento baixa. Essa precipitação foi a maior do verão amazônico. Em relação a temperatura do ar média, era esperado que a praça (P1) registrasse o menor valor com 29,294°C e a maior média no P3 (CEF) com 29,917°C.

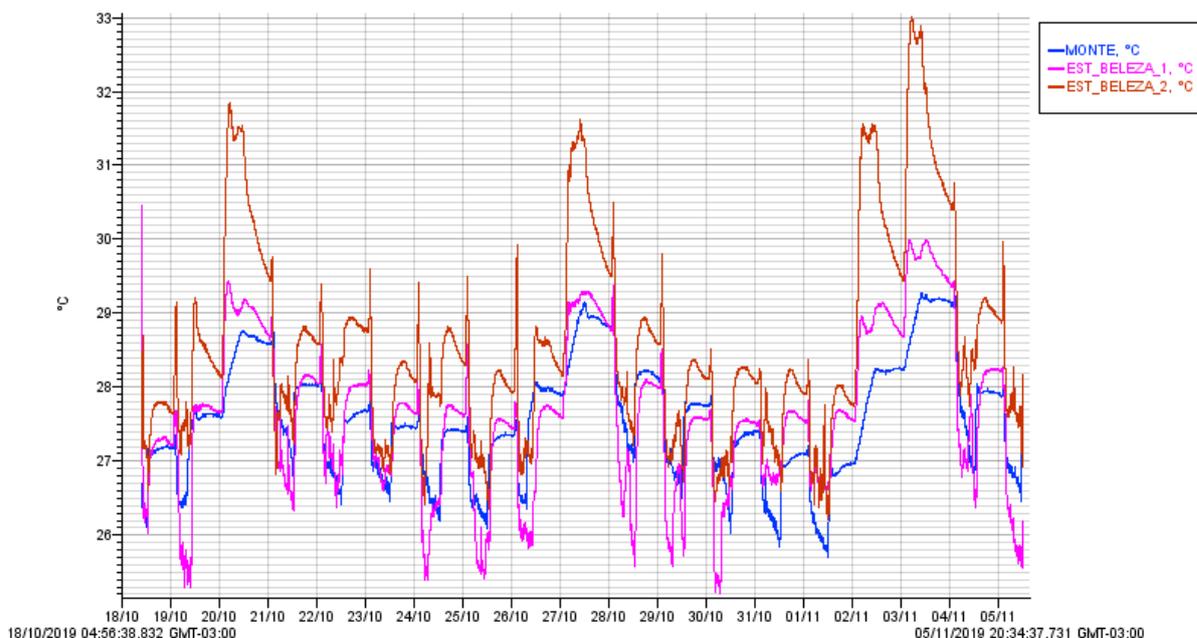
De posse do perfil meteorológico intraurbano a uma altura média de 2,8m obtidos com uma precisão de 0,2°C, se dedica a análise do comportamento térmico dos empreendimentos comerciais que possuem projetos arquitetônicos com certa similaridade (Figura 52), no entanto, utilizam materiais distintos no aproveitamento da luz natural.

Na Figura 65 são apresentados as medições de temperatura do ar entre os dias 18/10 a 05/11/2019 nas Lojas Monte & Cia e Estação Beleza. Na Monte houve a instalação de apenas um Hobo UX100-003 entre o primeiro e segundo piso. Na Estação Beleza houve a instalação de dois Hobos UX100-003, no primeiro e segundo piso estando na mesma distância em relação à fachada frontal. Os resultados mostram picos de temperaturas do ar absorvidas e acumuladas nos fins de semana, período em que as lojas se encontram fechadas, pois funcionam até às 13:00h do sábado.

Na Figura 65 é possível notar que os maiores registros se encontram no segundo piso da Estação Beleza por apresentar uma secção significativa de vidro laminado na tonalidade verde sem o tratamento para atenuar a quantidade de radiação solar que adentraria a loja. Nesta comparação, percebe-se que a Loja Monte apresenta os menores ganhos de energia térmica, consequentemente, menor temperatura do ar e menor consumo de energia elétrica para manter uma temperatura do ar agradável. Ainda é possível perceber que os maiores ganhos

aconteceram no início de novembro devido o Dia de Finados (02/11) ter sido no sábado. Desta forma, o ganho térmico do sábado permitiu que no domingo houvesse ganhos superiores na temperatura do ar interna em ambas as lojas, sendo acentuado no segundo piso da Estação Beleza.

Figura 65 – Comparação das medições internas entre o dia 18/10 a 05/11/2019.



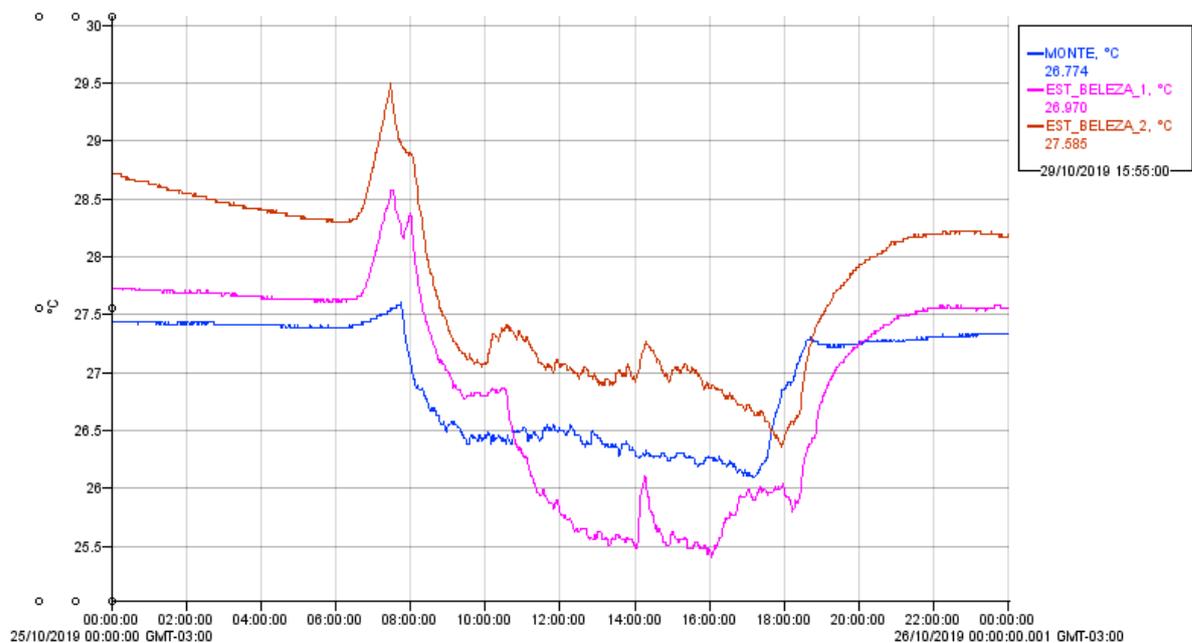
Fonte: Elaborado pelo autor.

Verificando o comportamento da temperatura do ar interna no dia mais quente do ano (25/10/2019), percebe-se na Figura 66 que a variação térmica inicia por volta das 6:20h e tem um ganho acentuado até às 7:30h, momento que as lojas iniciam seu processo de abertura para iniciar o atendimento aos clientes às 8:00h. A temperatura permanece em torno dos 26,5°C ao longo do dia com pequenas variações devido a saída ou entrada do equipamento de climatização.

A loja Monte inicia o desligamento das centrais de ar-condicionado por volta das 17:00h até o desligamento total após às 18:00h, podendo ser acompanhado a variação da temperatura do ar na Figura 66. A loja Estação Beleza permanece com todas as centrais de ar-condicionado ligadas até às 18:00h, iniciando seu desligamento logo após. É possível perceber que devido aos materiais empregados no estabelecimento, logo após o desligamento dos equipamentos de climatização, a temperatura do ar sofre um ganho superior quando comparado a loja Monte. Esse ganho superior no segundo piso é devido a secção de vidro da fachada Sul que recebe a radiação solar direta nesse período do ano, no qual, o Sol se encontra a uma altura angular máxima no dia 25 de outubro de 76,81° ao Sul, ou seja, a fachada Sul da loja recebe radiação

solar direta ao longo do dia (Figura 52-b). Esse perfil permanece nesse período do ano após o Equinócio de setembro com o Sol seguindo sua trajetória diária ao Sul, havendo a necessidade de averiguar o comportamento após o Equinócio de março com o Sol seguindo sua trajetória diária ao Norte, tendo em vista que Macapá se encontra sobre a linha do Equador.

Figura 66 – Comparação das medições internas do dia 25/10/2019.

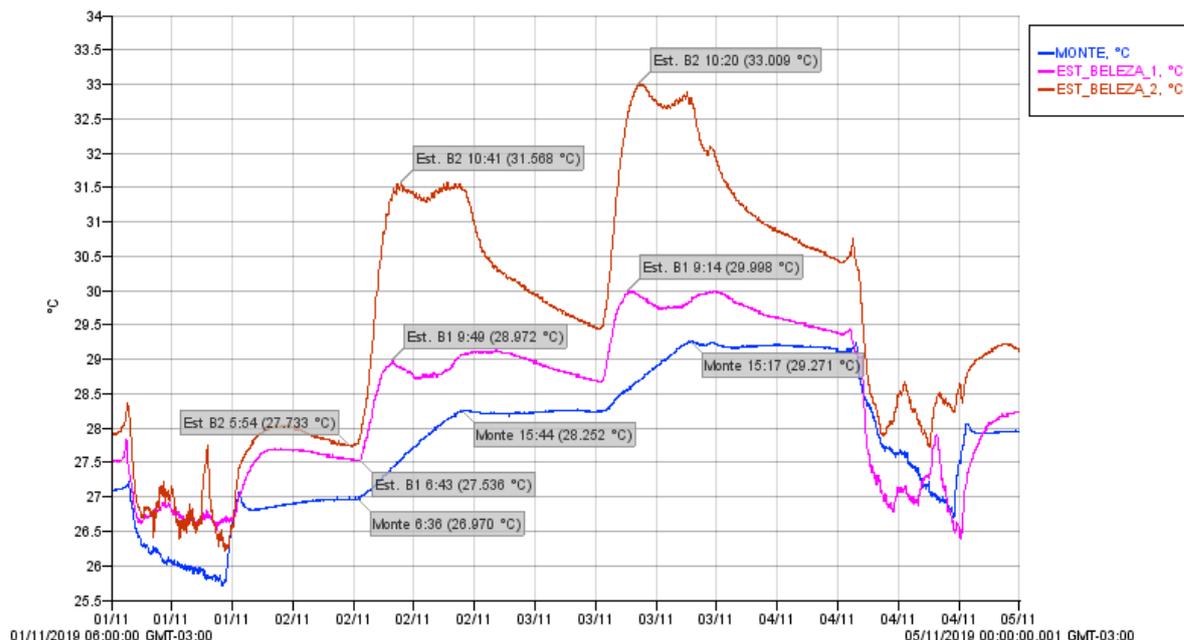


Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação ao primeiro fim de semana de novembro que houve um acúmulo de energia térmica no interior dos empreendimentos comerciais, a Figura 67 destaca o período de 01 a 04/11/2019. É possível perceber que nos dias 2 (sábado), 3 (domingo) e 4/11 (segunda-feira) as temperaturas mínimas estavam sofrendo um incremento, sendo significativo no segundo piso da Estação Beleza por receber primeiro a radiação solar direta diária. Apesar da Loja Monte possuir 3 pisos, sua fachada voltada para o Leste não possuía qualquer abertura e seu revestimento era na tonalidade branca. Ressaltando que no fim de semana as lojas no centro comercial funcionam no sábado até às 13:00 e no domingo não abrem, entretanto, no dia 02/11 o comércio permaneceu fechado em decorrência do feriado do Dia de Finados.

Diariamente os picos de temperatura ocorrem pelo período da manhã após às 10:00h na loja Estação Beleza, diferente da loja Monte & Cia que atinge seu valor máximo no período da tarde após às 15:00h, similar ao que ocorre no ambiente externo com as medições no mesmo dia.

Figura 67 – Comparação das medições internas entre os dias 01 a 04/11/2019.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na série estatística dos equipamentos empregados (Tabela 10) se nota que a temperatura do ar máxima registrada foi no dia 03/11/2019 (domingo), com o mínimo em dias distintos, podendo variar com a quantidade de equipamentos em funcionamento e o fluxo de clientes nas lojas. A média se manteve baixa.

Tabela 10 – Série estatística dos Hobos UX100-003.

EQUIPAMENTO	MÁXIMO (°C)	MÍNIMO (°C)	MÉDIA (°C)
Monte & Cia	29,271 (03/11)	25,701 (01/11)	27,486
Estação Beleza – Piso 1	29,998 (03/11)	25,215 (30/10)	27,634
Estação Beleza – Piso 2	33,009 (03/11)	26,212 (01/11)	28,252

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a análise de todas as medições e funcionamento dos Hobos, houve a escolha de um dia em que pudesse ser representado as temperaturas características em seus pontos, contrapondo a EMA e EMC para o mesmo horário. Na Figura 68 são apresentadas as temperaturas do ar registradas em todos os equipamentos de medição, comparando com o que havia sido registrado pela EMA a 3,8km a Oeste da área de estudo e na EMC a 10,4km a Sudoeste.

Figura 68 – Temperatura do ar externa e interna às 15:00h local do dia 05/11/2019.



Fonte: Adaptado do Google Earth Pro (2020).

Percebe-se na Figura 68 que a temperatura do ar na EMA em 33,0°C pode ser usado com limiar, abaixo dela se encontram os pontos amenos, sendo uma delas a praça (P1) com 32,32°C, e acima dela o ponto mais quente, sendo próximo a Caixa Econômica Federal (P3) com 33,48°C. Válido ressaltar que a EMA se encontra em um campo aberto e com vegetação próxima à área do Exército. A velocidade do vento nesse instante havia sido registrada em 4,1m/s vindo do Leste (66°). Na EMC a temperatura se encontrava um pouco mais elevada em 33,7°C com incidência de vento em 2,1m/s. Diferente da EMA, a EMC se encontra próximo a residências com baixa densidade vegetal.

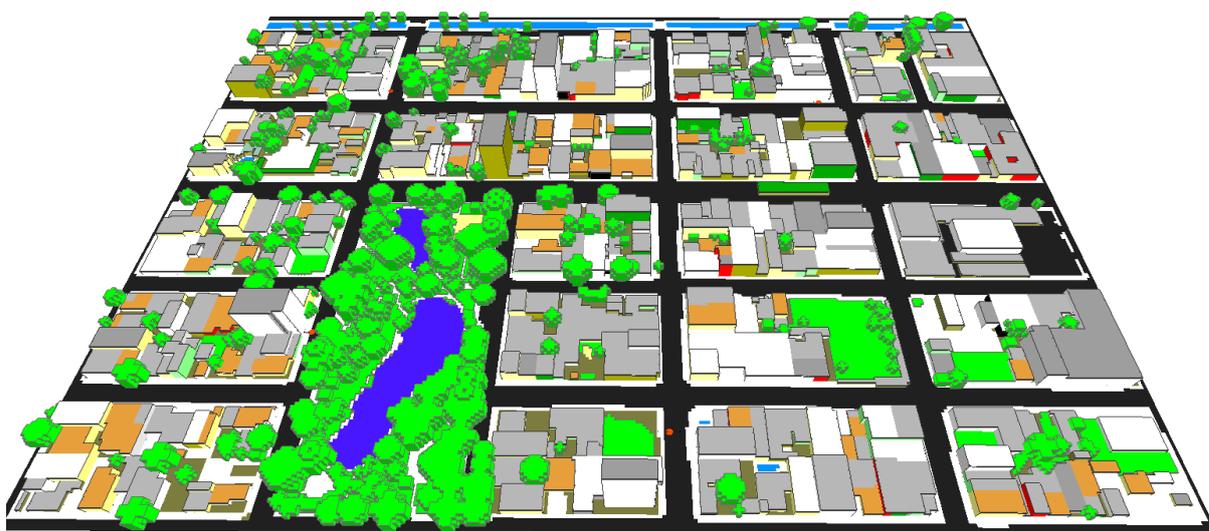
Com as medições intraurbanas haverá a possibilidade de validar a modelagem tridimensional simulada no ENVI-met. Sem as medições não haveria a possibilidade de identificar erros que acabam sendo introduzidos na pavimentação, tipo de solo, vegetação ou materiais das edificações que não deveria existir no modelo, algo que só pode ser corrigido quando se compara com as medições pontualmente ao longo do dia, além de tentar compreender o que levou a determinado comportamento térmico do ambiente com base nas medições realizadas pelo INMET.

4.3 RESULTADOS DO ENVI-MET

A simulação computacional contou com a modelagem tridimensional no *Monde* pela facilidade em desenhar os elementos em 2D, definindo apenas a composição da forma geométrica (quadrado, retângulo, círculo e outros) com o tipo de parede, telhado, piso e vegetação.

O primeiro cenário modelado, Cenário 1 (Figura 69), buscou a fidelidade na construção dos elementos existentes na cidade para que houvesse a validação com a temperatura do ar. Esse cenário contou com visitas *in loco* para identificar os materiais existentes empregados e a vegetação, com a estimativa de altura, diâmetro da copa e densidade foliar, além da identificação das espécies.

Figura 69 – Modelo tridimensional do Cenário 1(ambiente real) no *Spaces*.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A construção do Cenário 1 contou com a utilização de imagens de satélite do Google Earth e fotografia aérea de 2014 da cidade produzida pelo Exército Brasileiro, desta forma foi possível identificar os elementos no interior dos lotes em alta resolução com as imagens do Exército e comparar o que havia sido modificado com o Google Earth. Assim foi possível manter uma fidelidade à cobertura existente, em que vários pontos havia alteração que não seriam possíveis identificar ao nível do pedestre. A métrica das vias, calçadas, lotes, construções e até mesmo posicionamento da vegetação arbórea, foram com base na planta cadastral georreferenciada e atualizada até 2019, sendo carregada no *Monde* para a realização do desenho sobre as imagens, tanto sobre a planta cadastral quanto da fotografia aérea do Exército.

Ao finalizar sua construção no *Monde*, houve a exportação para o *Spaces* que permite visualizar o modelo em 3D das edificações, vegetação, lagos e pavimentação, conforme apresentado o Cenário 1 na Figura 69.

A elaboração do Cenário 2 (Figura 70) tomou como base o Cenário 1, buscando atenuar a temperatura das superfícies e do ar, conseqüentemente melhorando o conforto térmico, apenas com a implementação de vegetação arbórea, telhados verdes e jardins verticais. A vegetação arbórea seguiu as orientações contidas no manual de arborização da cidade de Belém-PA (PORTO, 2013), estipulando espaçamentos e orientando quanto ao posicionamento das espécies nas vias, conforme sua orientação em relação ao Leste-Oeste e sua exposição ao Sol. O manual também sugere espécies que podem ser utilizadas no controle climático, informando o porte e altura máxima.

Figura 70 – Modelo tridimensional do Cenário 2, sendo o ambiente real com a introdução de vegetação arbórea, telhados verdes e jardins verticais.

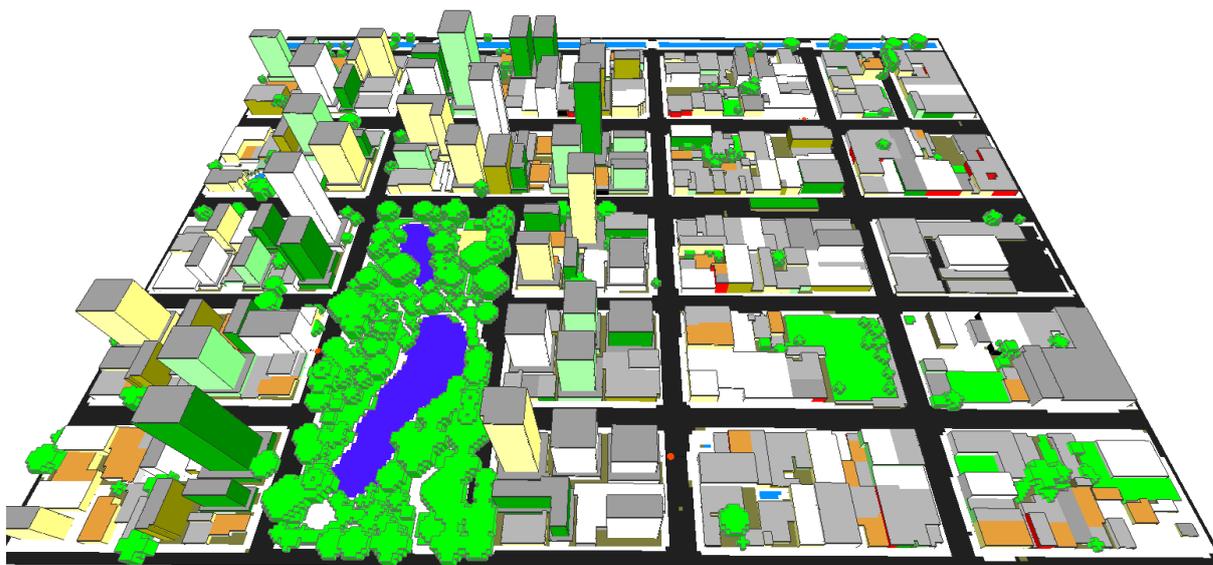


Fonte: Elaborado pelo autor.

O incremento dos telhados verdes e jardins verticais no Cenário 2 ocorreu por meio do *Spaces* que permite modificar os espaços e facilita sua introdução, pois se tem a visualização do ambiente em 3D com a imagem podendo ser manipulada. Na sua introdução contou com um levantamento preliminar identificando os espaços que suportassem seu peso extra ou tivessem condições de receber reforços. Nesse cenário houve a prioridade em inserir jardins verticais nas fachadas Sul e Oeste em decorrência da trajetória solar, pois no mês de novembro o Sol tem sua trajetória ao Sul e as temperaturas do ar atingem seus picos entre setembro e novembro.

O Cenário 3 (Figura 71) foi construído com base numa previsão de verticalização respeitando a legislação municipal vigente para altura máxima, recuo, área mínima e espaçamento. O Cenário 1 serviu de base para sua construção e houve identificação de lotes vagos ou com baixa valorização imobiliária que permitissem sua implementação. A definição dos diferentes tipos de verticalização (baixa, média e alta) nos espaços foi pela área disponível e testada mínima exigida pela Lei Complementar n.º 115/2017 – PMM. A verticalização baixa é permitida em uma área mínima de 450m² e testada de 15m, verticalização média com área mínima de 600m² e testada de 15m e a verticalização alta com área mínima de 900m² e testada de 20m. Outro item levado em consideração foi quanto ao setor que permitisse a verticalização, no qual, a Lei Complementar n.º 115/2017 – PMM enquadra o entorno da Praça Floriano Peixoto como Setor Comercial e permite sua verticalização, estando limitado pela Rua Tiradentes, e mantém a área próxima a Fortaleza de São José de Macapá como um Setor Especial com altura limitada.

Figura 71 – Modelo tridimensional do Cenário 3 com a presença da verticalização.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 71 é possível notar que a verticalização proposta, seguindo a legislação, não criou um grande obstáculo a circulação do vento, diferente do que é observado no bairro de Copacabana no Rio de Janeiro – RJ, onde a edificação existente obstrui completamente sua entrada e eleva seu perfil com velocidades superiores para altitudes maiores.

No Cenário 4 (Figura 72) criou-se um cenário pensando na introdução somente da vegetação arbórea em espaços públicos que futuramente poderia ser executada pela prefeitura de Macapá com incentivos ou programas de plantios. Por ser de simples implementação e sem

custo financeiro excessivo ao cofre público, decidiu-se simular e avaliar seus efeitos no clima local.

Figura 72 – Modelo tridimensional do Cenário 4 com a introdução de apenas espécies arbóreas no ambiente real modelado no Cenário 1.



Fonte: Elaborado pelo autor.

As vegetações introduzidas, além de seguir o manual de arborização de Belém – PA, houve o levantamento *in loco* dos locais que permitissem ser inseridas espécies respeitando o acesso às garagens, iluminação pública e sistema da rede elétrica e telefônica. A priori as espécies foram alocadas entre a divisa dos lotes, de forma a não obstruir seu acesso, e espaçadas conforme orientação do manual pelo porte da vegetação.

A simulação se deteve a quatro cenários por limitação dos recursos computacionais disponíveis. Houve a construção com a previsão de simulação de outros cenários envolvendo alta reflectância do material, nesse caso, seriam utilizadas telhas cerâmicas em substituição às coberturas de fibrocimento e avaliado seu impacto no microclima local. Houve a construção de um cenário com asfalto e concreto permeáveis, e seus efeitos mesclando aos cenários anteriores simulados foram verificados. Houve a construção de arquivos climáticos prevendo um incremento na temperatura do ar em 0,5, 1,0 e 1,5°C, conforme alertado pelo IPCC (2018), sobre a previsão de mudanças climáticas.

Na simulação dos quatro cenários foi utilizado a computação paralela permitida pelo ENVI-met Science, com os processos divididos entre os núcleos de 2 processadores. Mesmo com o recurso ativo, as simulações levaram de 1196 horas (49,8 dias) a 2088 horas (87 dias) utilizando de memória RAM, na média, 7Gb por cenário. A introdução de outros cenários

depende da disponibilidade de memória RAM, sendo necessário utilizar 2 servidores exclusivos para a simulação.

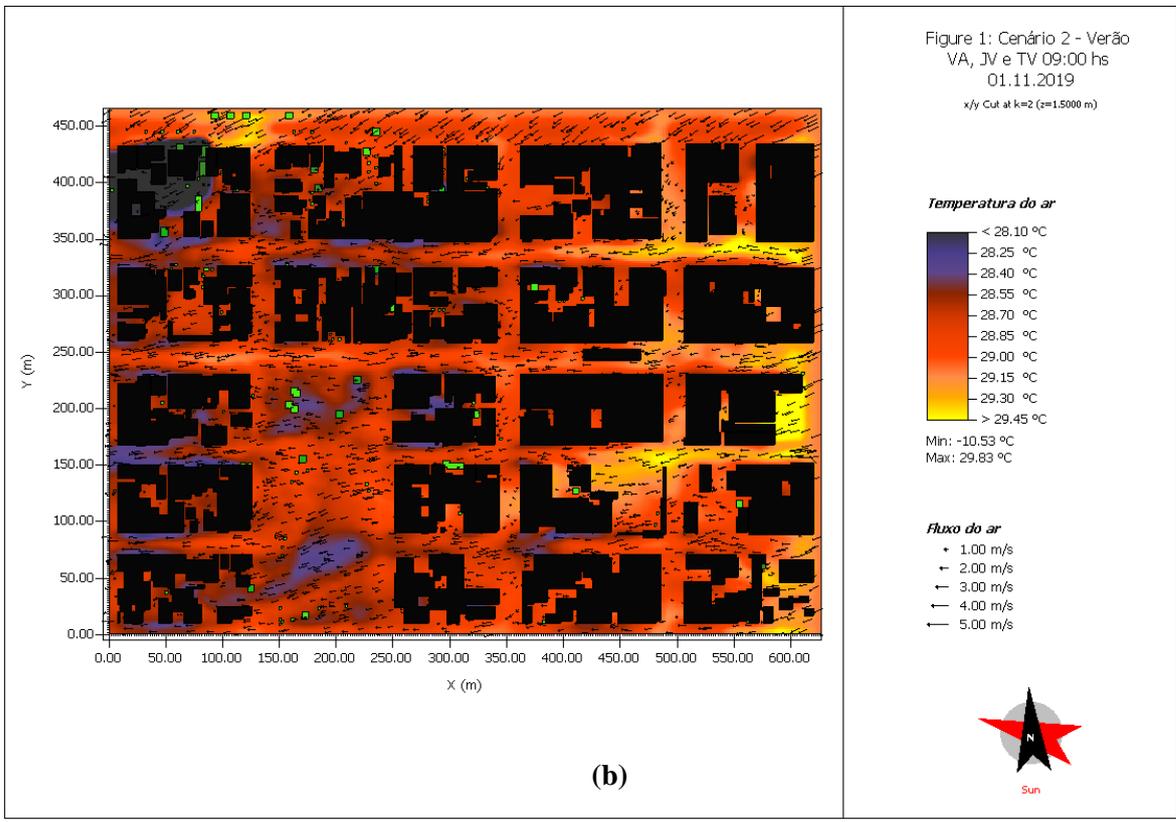
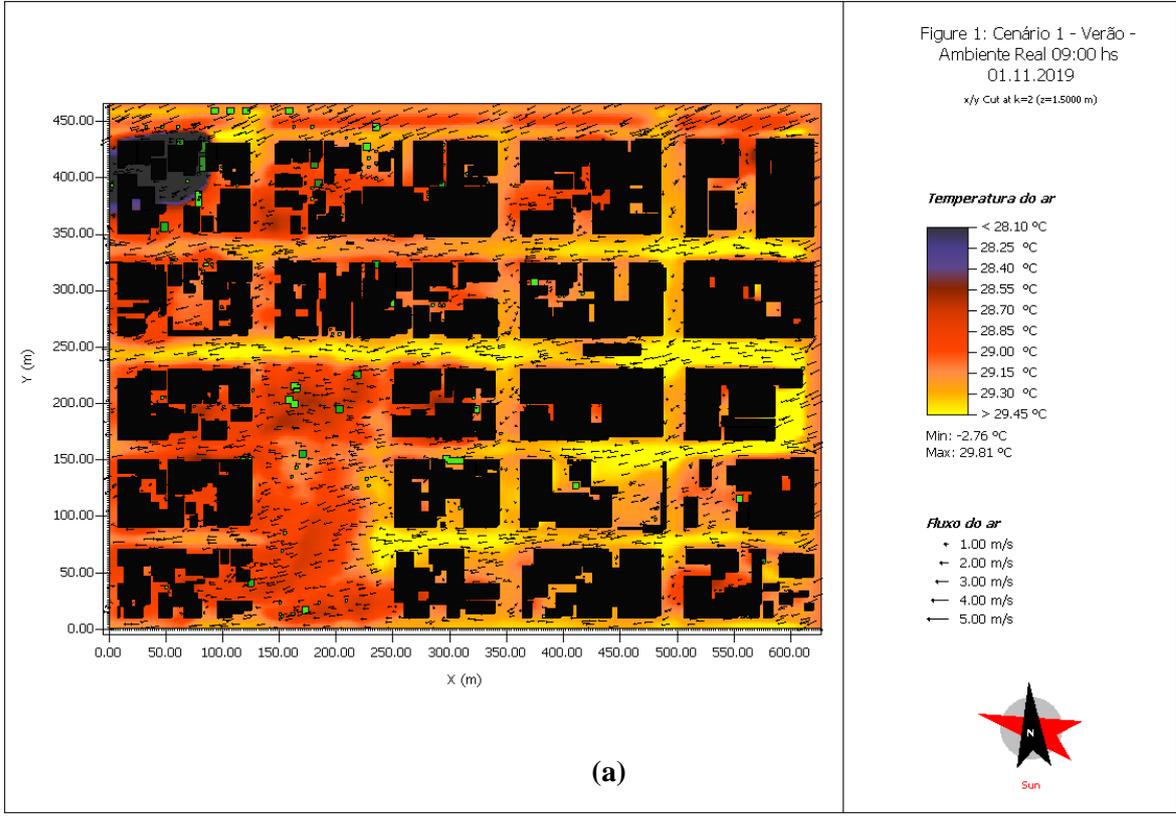
O intervalo simulado foi das 4:00h do dia 30/10/2019 às 18:00h do dia 01/11/2019, resultando em 62 horas de informações, com a utilização dos dados climáticos de entrada oriundos da EMA e devidamente tratados. Bruse (2020) recomenda que as respostas analisadas sejam a partir do segundo dia de simulação devido aos ganhos térmicos dos materiais e solo, podendo interagir e modificar a dinâmica do balanço energético. Nesse caso, foram utilizadas as respostas do dia 31/10 e 01/11.

Nessa tese decidiu-se apresentar as respostas do dia 01/11 devido a quantidade de informações existentes que têm o mesmo comportamento do dia anterior. Desta forma, serão expostos os resultados comparativos entre os quatro cenários da temperatura e fluxo do ar nos eixos XY e XZ (corte transversal), temperatura média radiante, temperatura de superfície, fator de visão de céu (FVC) e índices de conforto térmico (PET e UTCI).

A primeira análise se dá na temperatura e fluxo do ar a 1,5m de altura às 9:00, 12:00 e 15:00h para os quatro cenários. Embora a resposta seja a uma altura menor que a medida, essa altura é a que o pedestre estará sentindo ao caminhar pelas vias e praças da cidade, tendo a possibilidade de gerar imagens no *Leonardo*, subprograma do ENVI-met, a uma altura de 3,0m, conforme medido com os abrigos. Destacando que não foi possível deixar os equipamentos a uma altura menor devido a possibilidade de furtos e depredação do material.

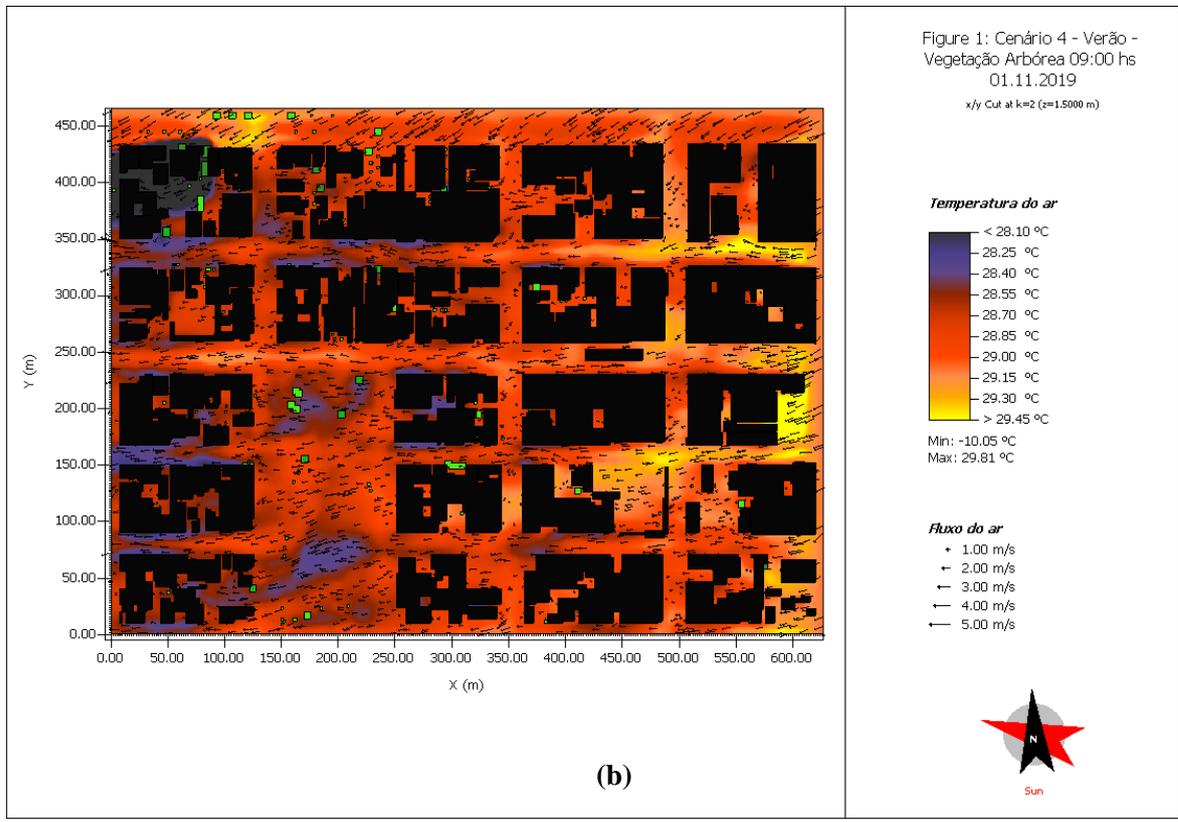
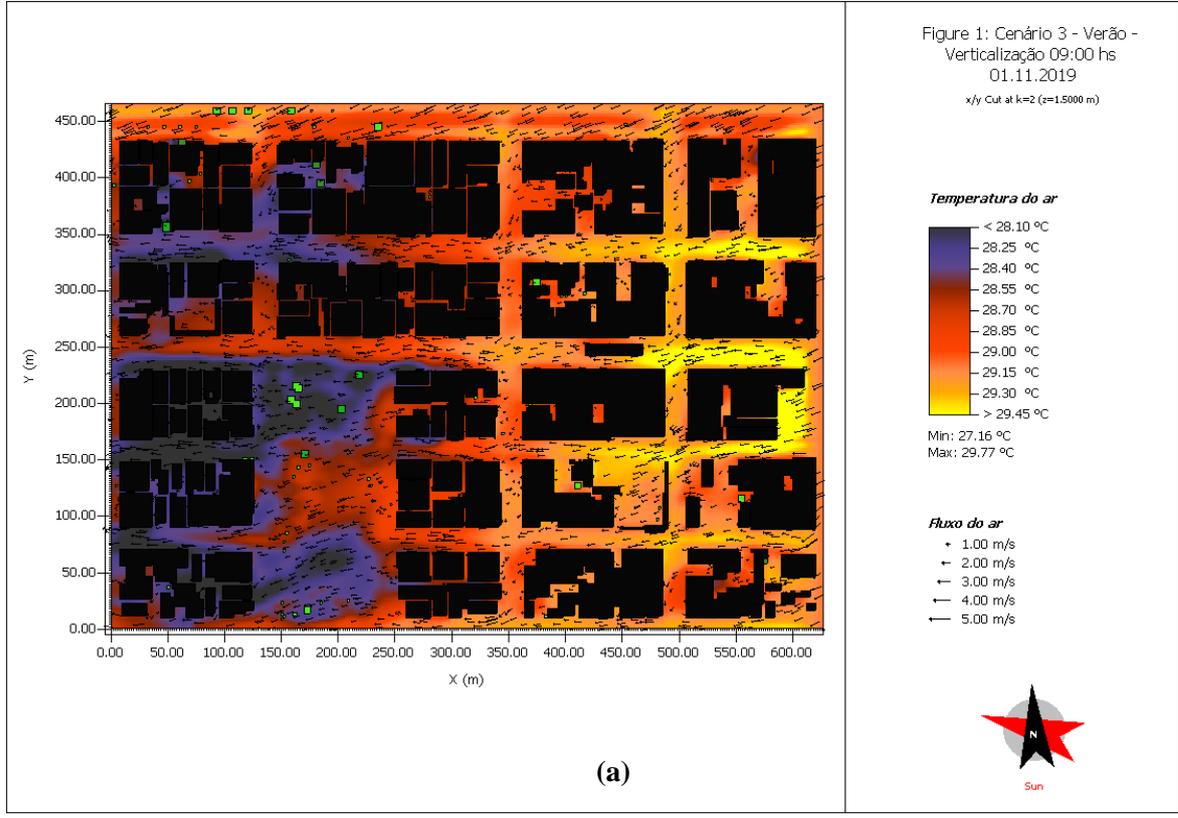
Nas Figura 73 e Figura 74 tem-se a resposta da temperatura e fluxo do ar às 9:00h para os quatro cenários. A simulação apresenta um erro na primeira quadra superior à esquerda nas imagens, esse erro é proveniente de uma vegetação arbórea existente no banco de dados do ENVI-met que foi utilizado por ter similaridade com a espécie existente no lote. Entretanto, em determinados períodos do dia acaba emitindo muito calor ou reduzindo drasticamente a temperatura do ar no seu entorno. Houve o reporte a equipe do ENVI-met que alegaram conhecer o problema e estariam trabalhando para solucionar nas próximas versões.

Figura 73 – Temperatura e fluxo do ar a 1,5m de altura às 9:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 1 (ambiente real) e (b) Cenário 2 (vegetação arbórea, telhado verde e jardins verticais).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 74 – Temperatura e fluxo do ar a 1,5m de altura às 9:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 3 (verticalização) e (b) Cenário 4 (vegetação arbórea).



Fonte: Elaborado pelo autor.

No Cenário 1 (Figura 73-a) com o ambiente real é possível notar que as maiores temperaturas do ar acontecem nas vias com orientação Leste-Oeste com picos de 29,81°C e um vento oriundo do Nordeste e seguindo o sentido Leste ao entrar na malha urbana, permanecendo com uma intensidade de 2 a 3m/s. No Cenário 2 (Figura 73-b) com a implementação de modificações percebe-se uma redução da temperatura do ar, apesar de permanecer o pico de 29,83°C próximo ao Mercado Central. O fluxo e intensidade do ar permanecem. No Cenário 3 (Figura 74-a) com a previsão de verticalização do espaço observa-se uma redução na temperatura do ar no seu entorno com uma temperatura mínima de 27,16°C e uma máxima próxima dos demais cenários em 29,77°C. Apesar da redução na temperatura do ar, houve também uma pequena redução na intensidade do vento no interior da praça, caindo para 1m/s. A mancha de calor nas vias Leste-Oeste sem a verticalização permanecem. No Cenário 4 (Figura 74-b) é possível notar uma redução na temperatura do ar similar ao Cenário 2, com temperatura máxima de 29,81°C.

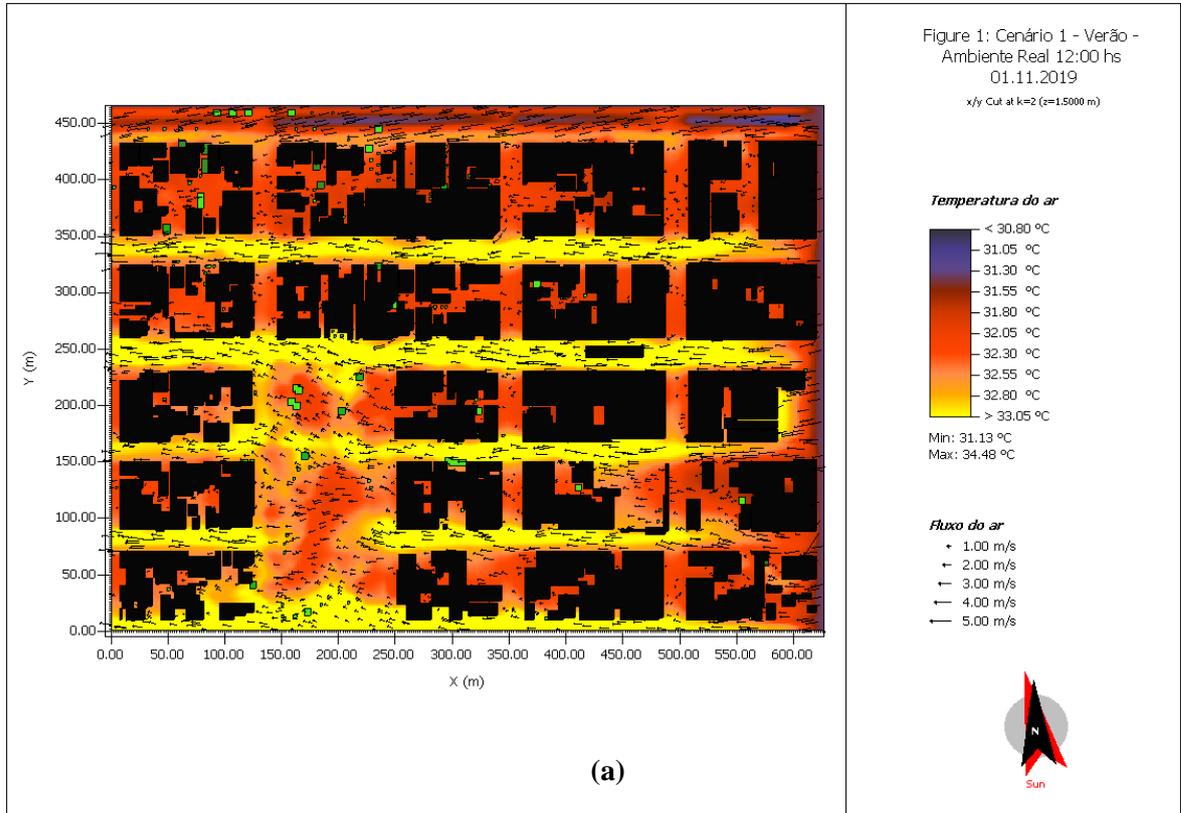
Nessa primeira comparação às 9:00h pode-se afirmar que o ambiente real (Cenário 1) apresenta o pior caso e passivo de intervenção que promova um conforto térmico, como exposto no Cenário 4 (vegetação arbórea) que apresenta resposta similar ao Cenário 2 (vegetação arbórea, telhado verde e jardins verticais). O Cenário 3 irá sempre apresentar uma perda na intensidade do vento em relação aos demais cenários ao nível do pedestre.

No resultado das 12:00h expostos nas Figura 75 e Figura 76 é possível notar que a temperatura do ar permanece acentuada no Cenário 1 (Figura 75-a), permanecendo nas vias Leste-Oeste mais elevado. Os Cenários 2 e 4 (Figura 75-b e Figura 76-b) com as menores temperaturas nas vias e o Cenário 3 (Figura 76-a), com a verticalização, permanecendo com a característica de reduzir a velocidade do vento na praça e atenuar a temperatura do ar somente no seu entorno devido ao sombreamento.

No resultado das 15:00h exposto nas Figura 77 e Figura 78 as temperaturas do ar nos quatro cenários atingiram seus picos, mantendo o comportamento característico retratado nos demais instantes para o dia 31/10/2019.

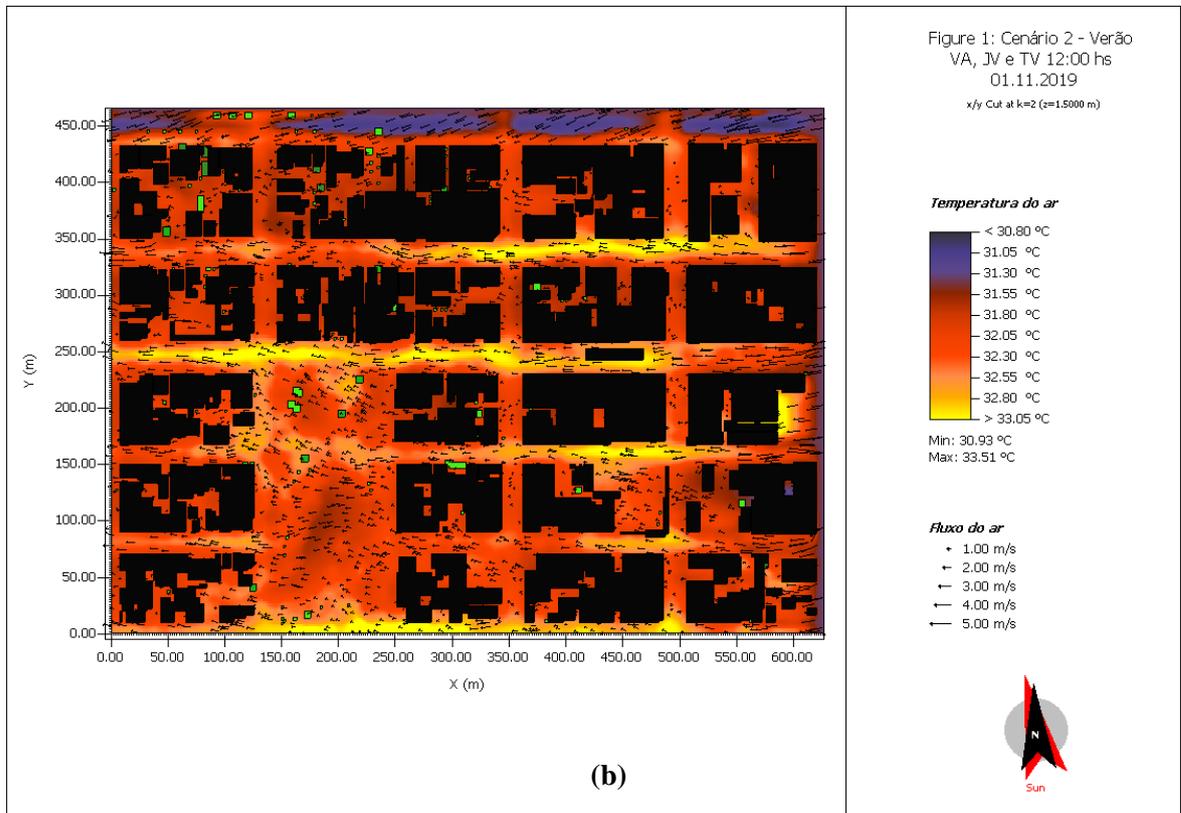
O comportamento característico pode ser validado com as medições pontuais, no qual, apresentam perfil semelhante para os mesmos instantes, entretanto, com amplitudes distintas. Na Figura 77-a nota-se que o local do P3 (terceira quadra na linha superior) fica totalmente imerso na mancha amarela que indica temperaturas superiores a 33,95°C. Os demais pontos divergem entre a tonalidade laranja e vermelho, indicando temperaturas amenas.

Figura 75 – Temperatura e fluxo do ar a 1,5m de altura às 12:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 1 (ambiente real) e (b) Cenário 2 (vegetação arbórea, telhado verde e jardins verticais).



ENVI_met V4.4.5

<Right foot>

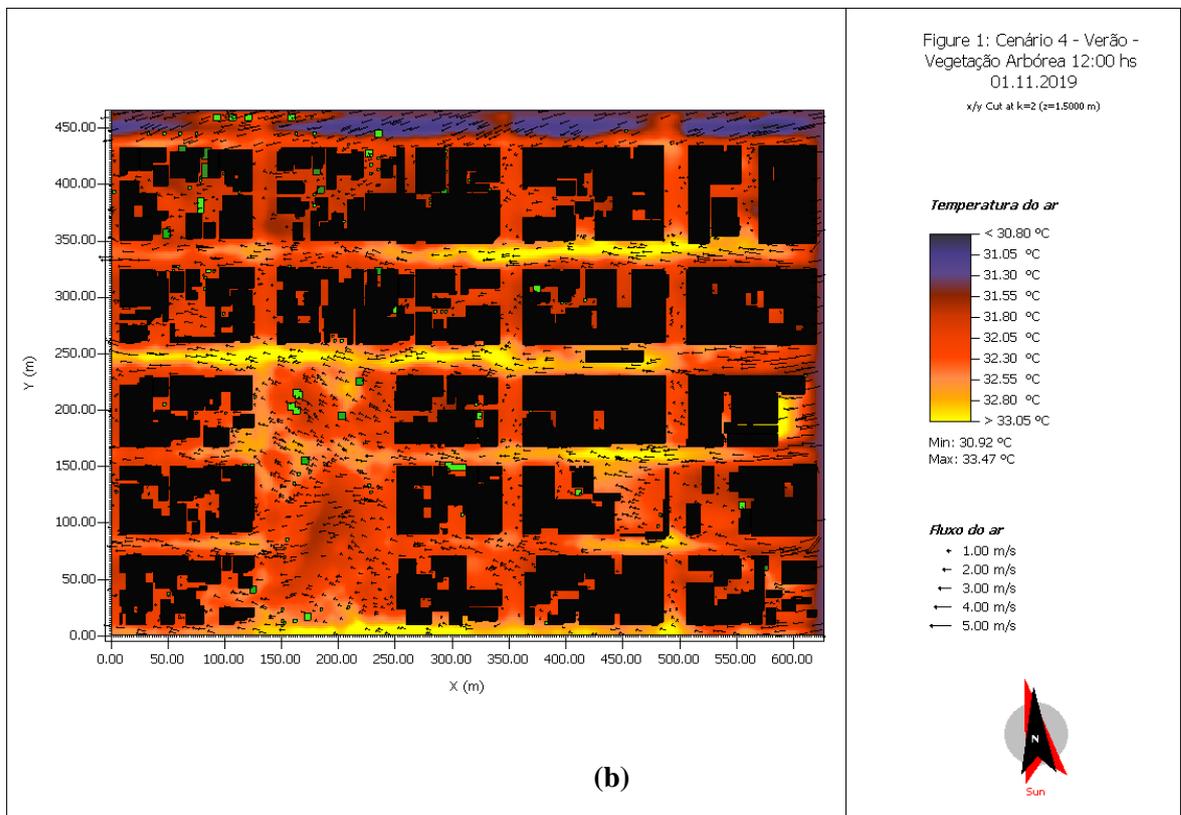
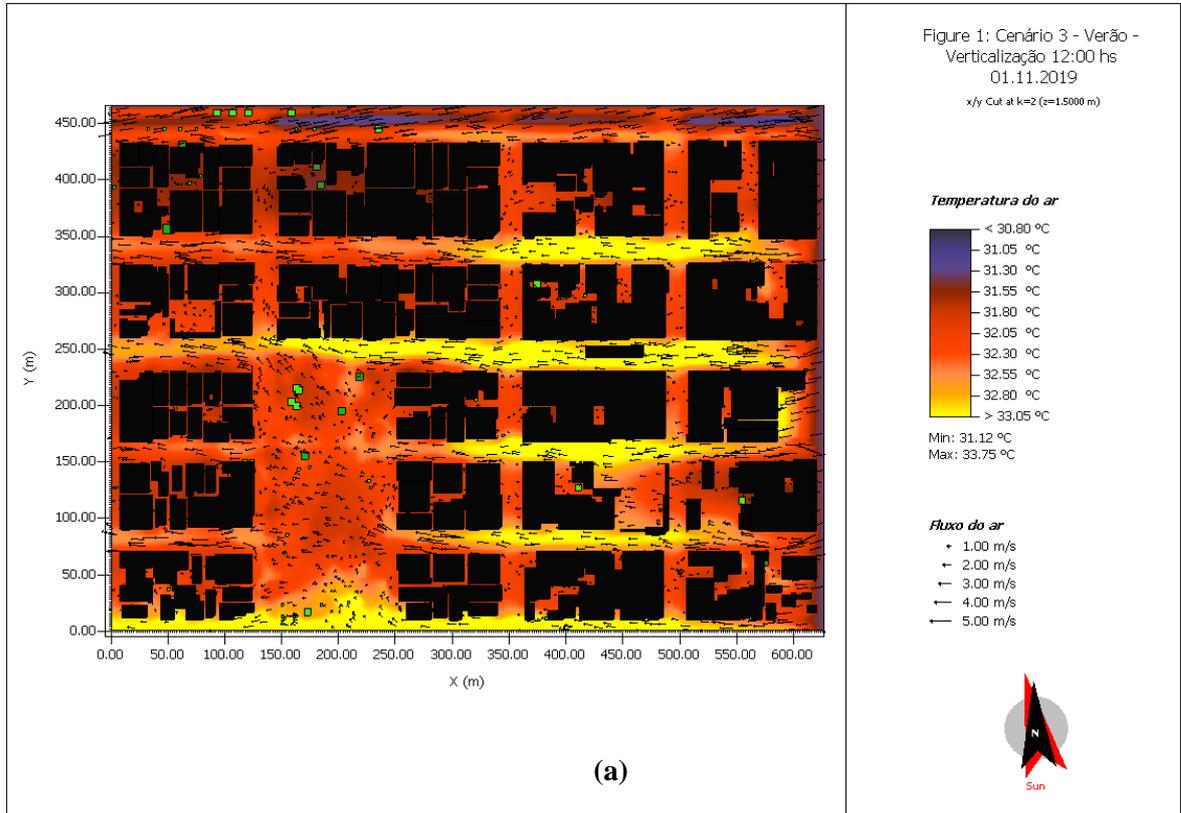


ENVI_met V4.4.5

<Right foot>

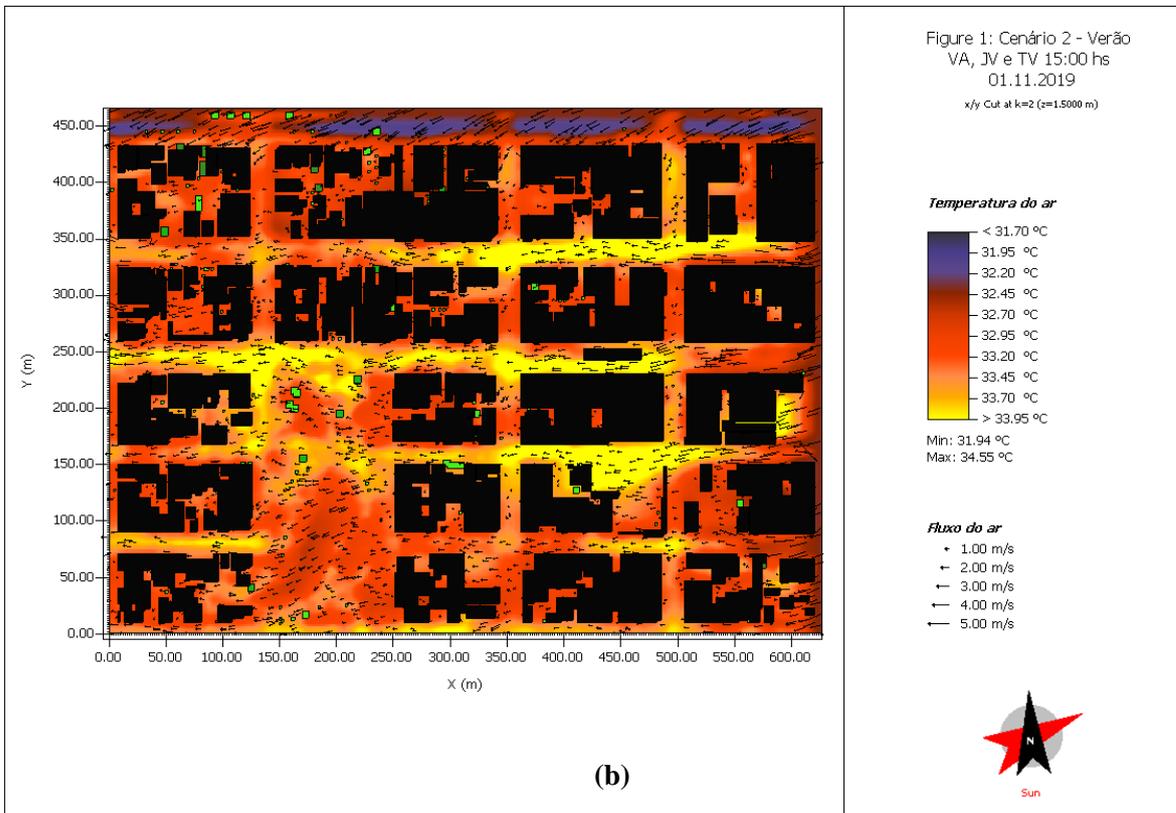
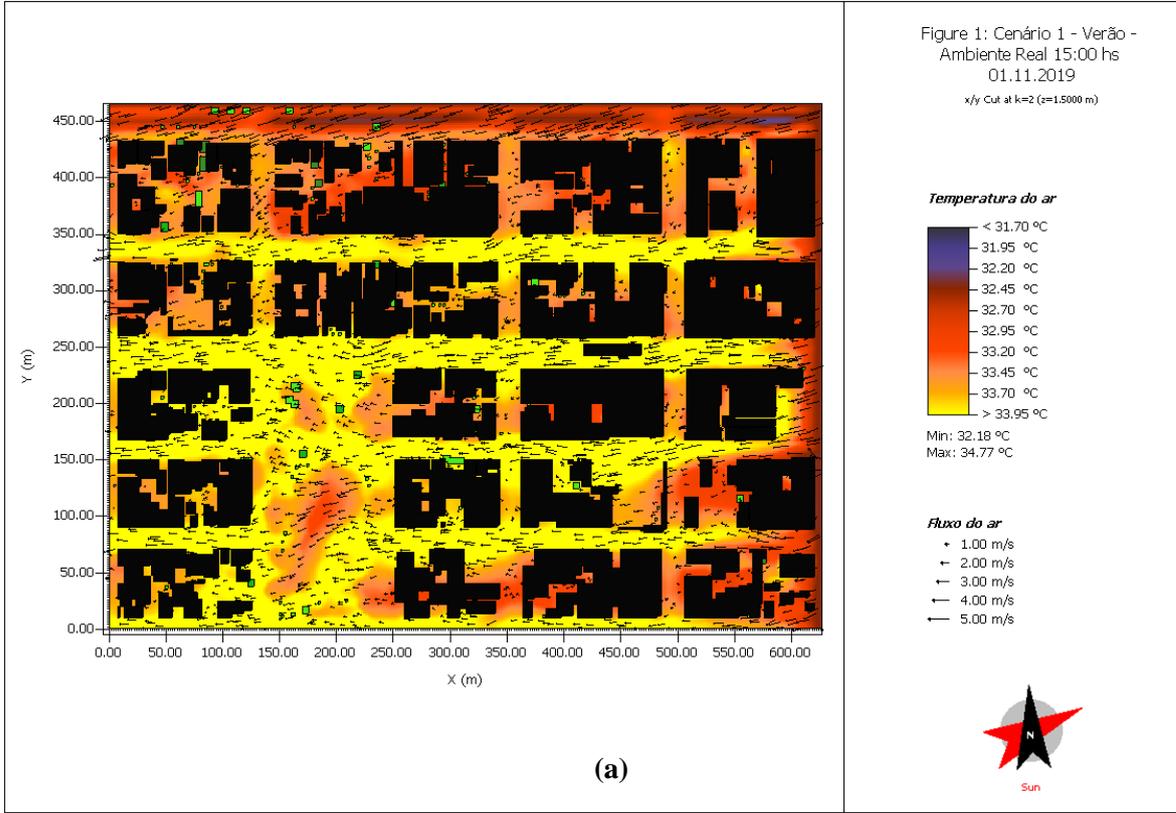
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 76 – Temperatura e fluxo do ar a 1,5m de altura às 12:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 3 (verticalização) e (b) Cenário 4 (vegetação arbórea).



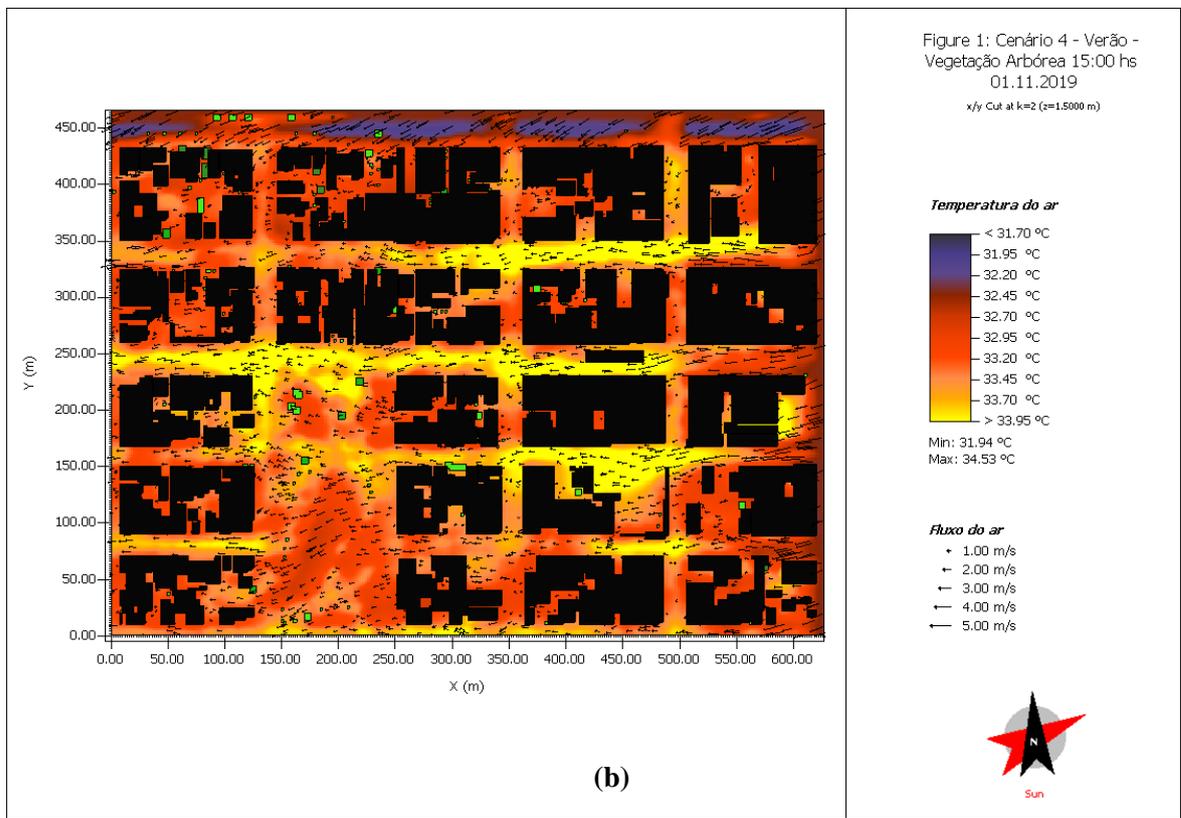
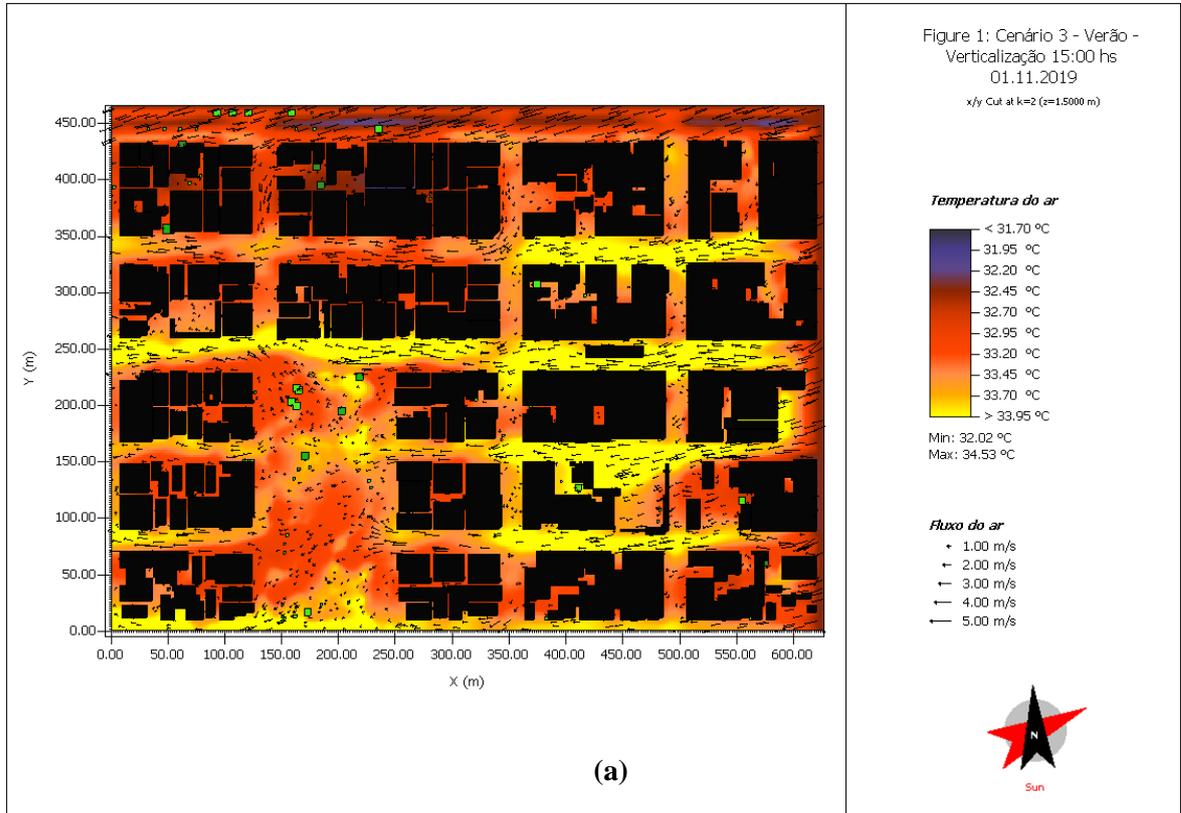
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 77 – Temperatura e fluxo do ar a 1,5m de altura às 15:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 1 (ambiente real) e (b) Cenário 2 (vegetação arbórea, telhado verde e jardins verticais).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 78 – Temperatura e fluxo do ar a 1,5m de altura às 15:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 3 (verticalização) e (b) Cenário 4 (vegetação arbórea).



Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise efetuada anteriormente ocorreu no plano XY indicando o comportamento do ar ao nível do pedestre em todo plano, podendo identificar um corredor de ar quente ao longo do dia. Contudo, se tratando da tendência de verticalização nos bairros nobres, principalmente no entorno da Praça Floriano Peixoto, se faz necessário entender o perfil térmico no plano XZ e identificar a dinâmica das plumas urbanas citadas por Oke *et al.* (2017). Na Figura 79 consta o gabarito do Cenário 3 verticalizado, com os cortes transversais passando por algumas verticalizações baixas, médias e altas, havendo a comparação com os demais cenários.

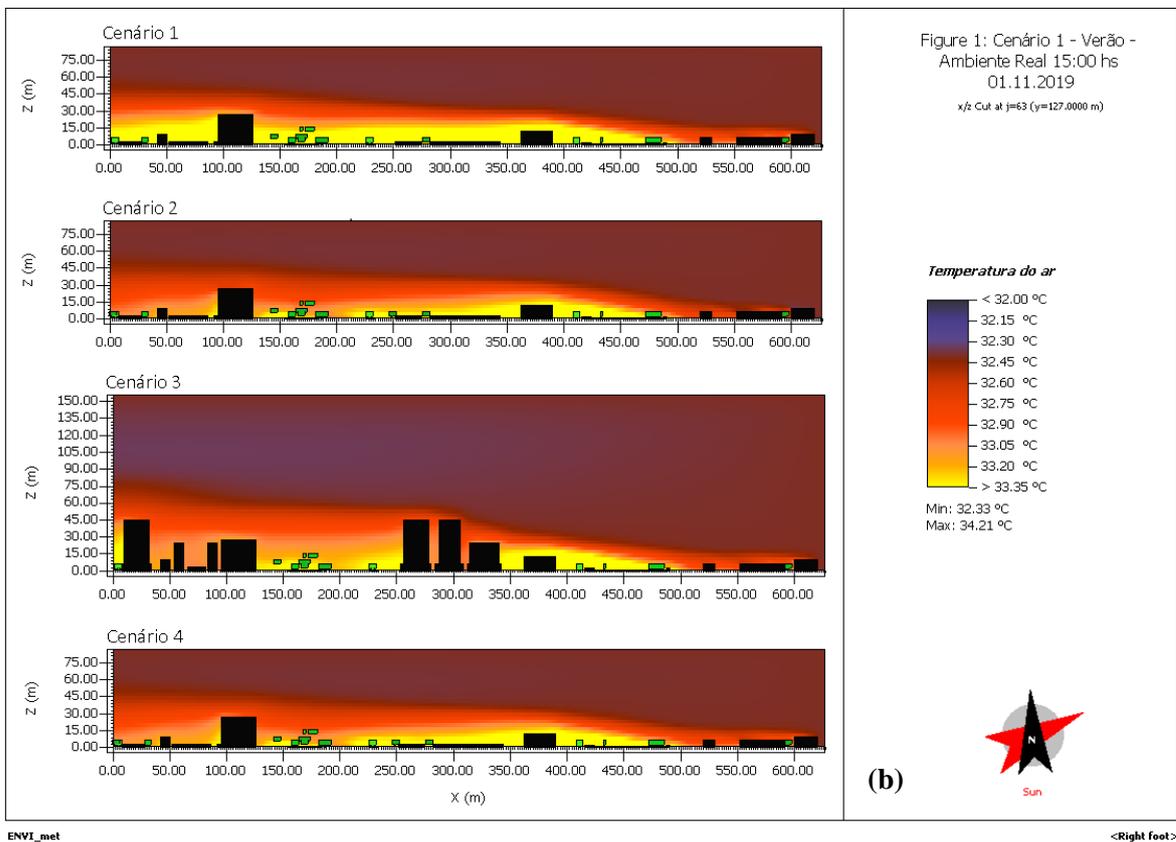
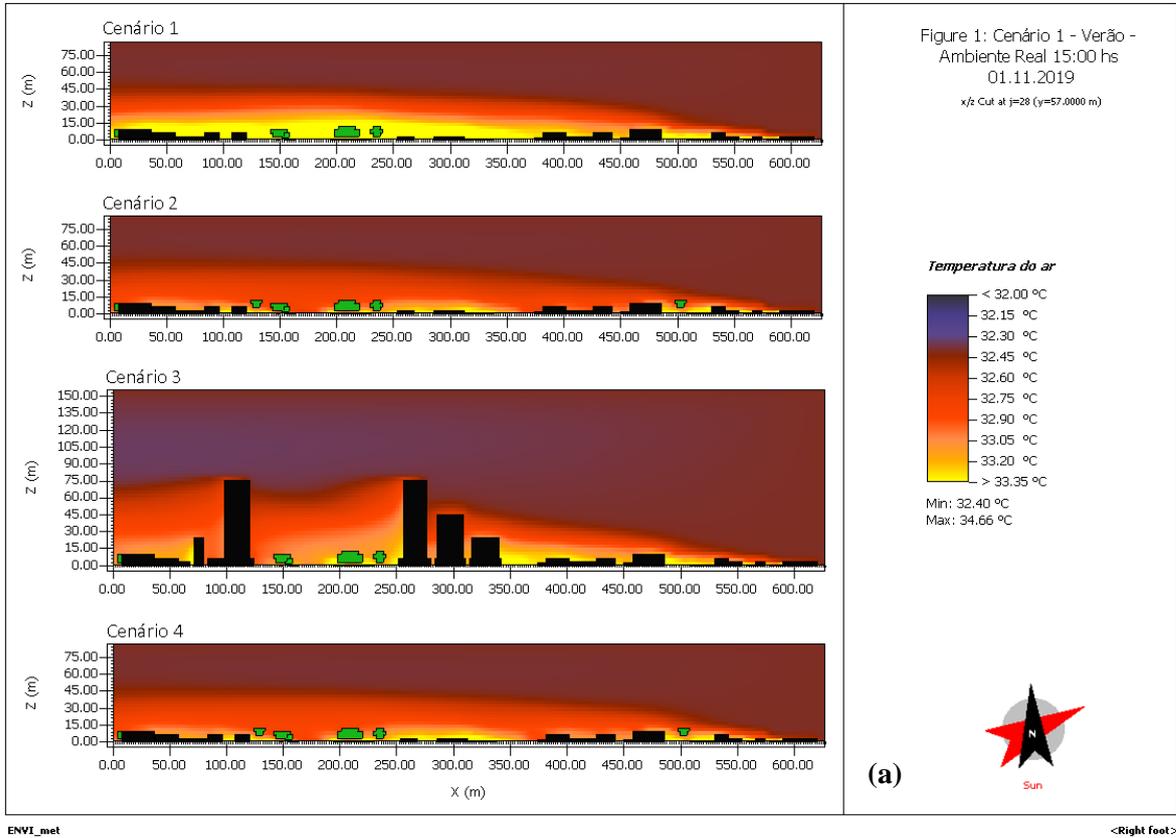
Figura 79 – Gabarito do Cenário 3 (verticalização) com os cortes transversais (XZ).



Fonte: Elaborado pelo autor.

O horário escolhido para o corte transversal foi às 15:00h por se tratar do instante com as maiores temperaturas e desconforto térmico. As Figura 80 a Figura 82 exibem os Cenários 1 a 4 agrupados por corte a fim de facilitar o entendimento e comparação para as variações térmicas. Na Figura 80-a nota-se que o Cenário 1 apresenta um perfil térmico com temperaturas elevadas próximo dos 15m de altura, estando atenuadas nos Cenários 2 e 3 com a vegetação arbórea e demais elementos. O Cenário 3 apresenta uma elevação do perfil térmico para próximo dos 75m de altura, introduzindo essa temperatura cidade adentro com percepção imediata nos prédios a jusante, recebendo radiação solar refletida no turno da tarde acompanhada do ar quente em velocidades reduzidas vindas do Leste.

Figura 80 – Corte transversal XZ para os cenários 1, 2, 3 e 4 às 15:00 do dia 01/11/2019. (a) Secção XZ57 e (b) Secção XZ127.

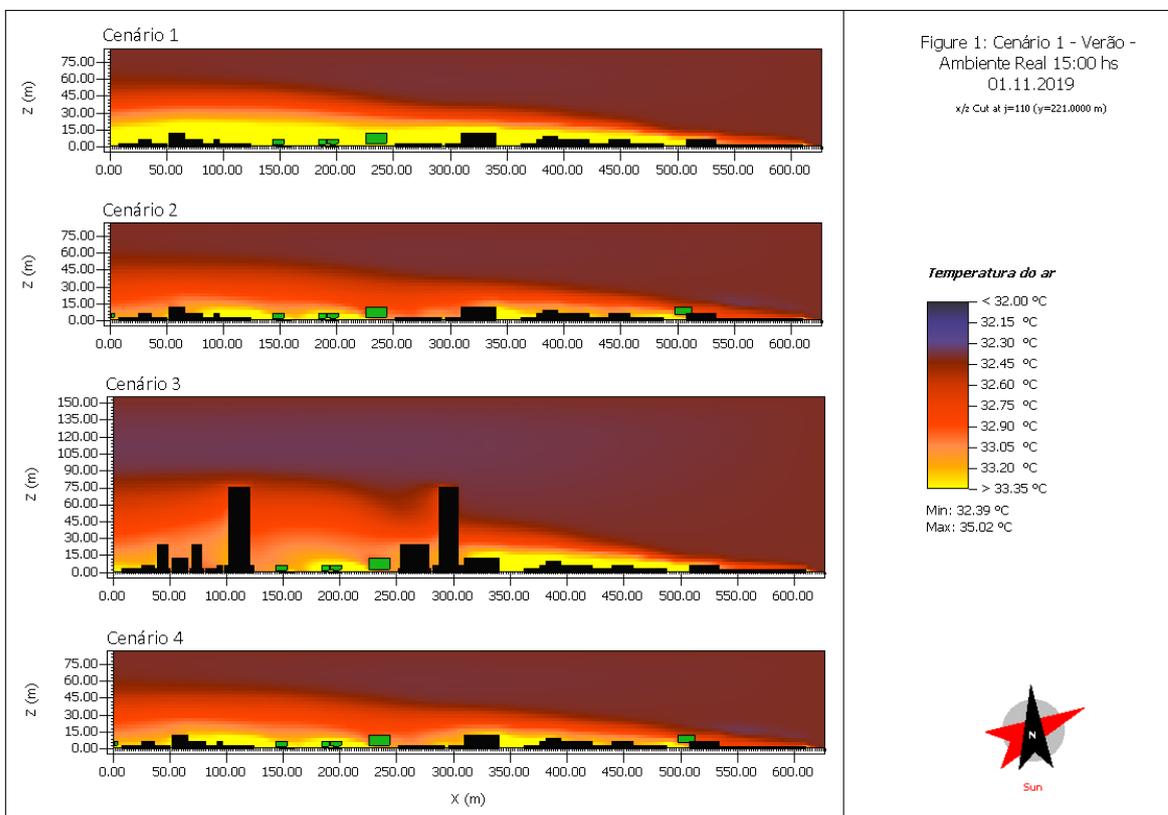


Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 80-b o Cenário 3 permanece com a dinâmica de elevar a temperatura do ar próximo dos 75m, contudo, nota-se uma leve redução da temperatura na praça, principalmente do ar sobre o lago (x=200).

Os demais cortes permanecem com o mesmo comportamento, ficando evidente na Figura 82-a, com o corte sem a praça, os efeitos da verticalização no Cenário 3, que apesar de provocar um sombreamento no seu entorno, há uma elevação do perfil térmico que irá provocar um desconforto no interior da cidade.

Figura 81 – Corte transversal secção XZ221 para os cenários 1, 2, 3 e 4 às 15:00 do dia 01/11/2019.

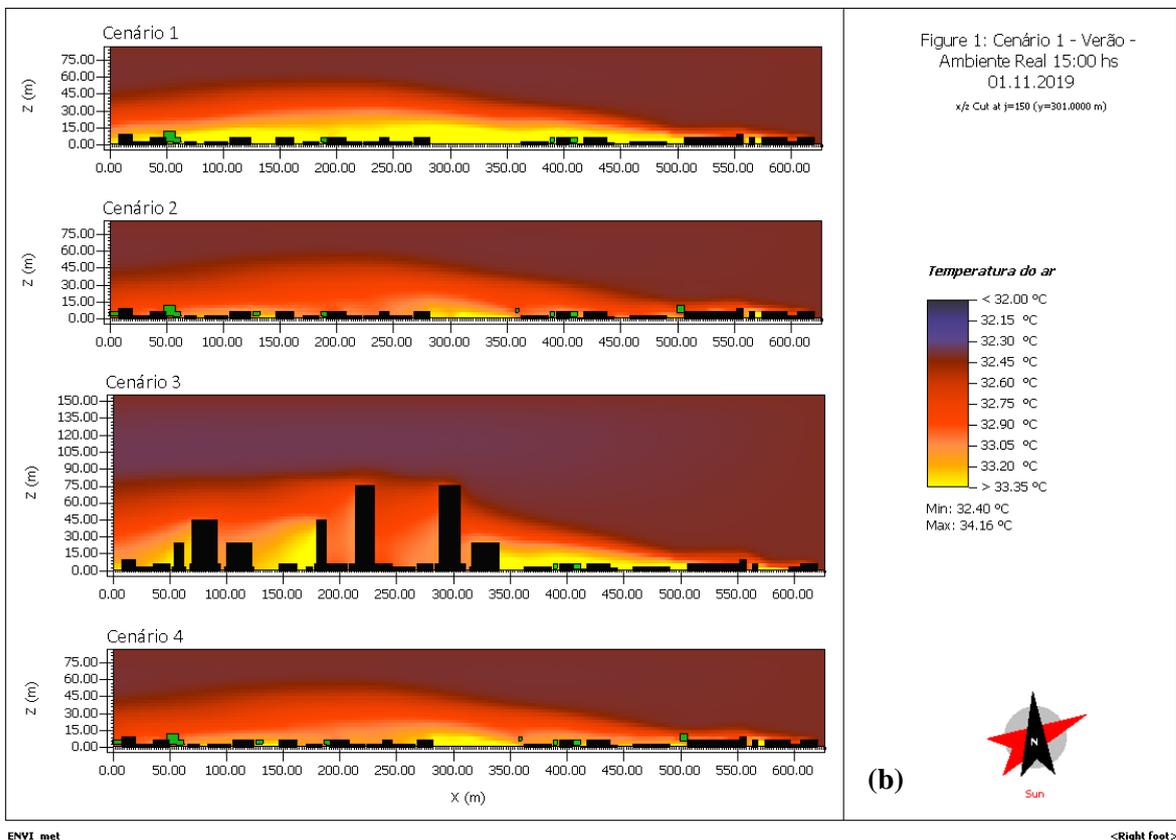
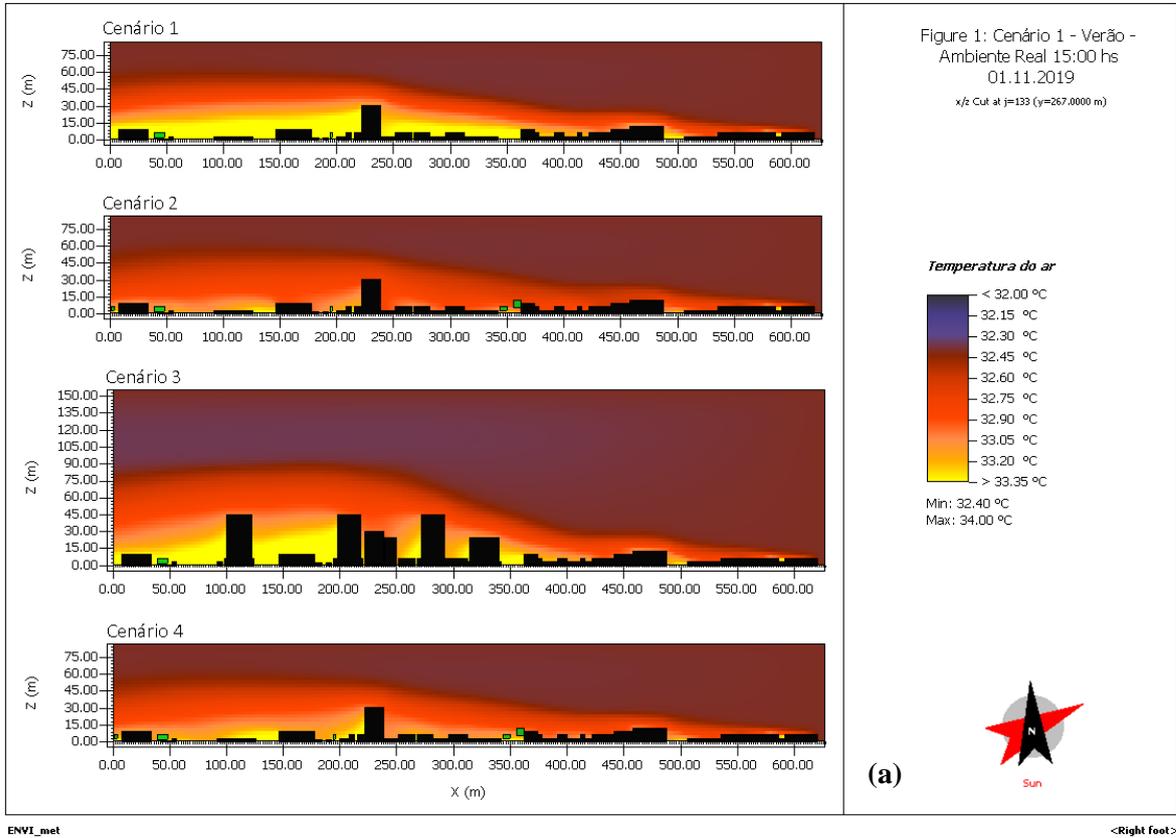


ENVI_met

<Right foot>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 82 – Corte transversal XZ para os cenários 1, 2, 3 e 4 às 15:00 do dia 01/11/2019. (a) Secção XZ267 e (b) Secção XZ301.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Outro resultado relevante se trata da temperatura média radiante que interage com a velocidade do vento, umidade relativa e a radiação solar de ondas curtas, longas, direta, refletida ou difusa. É uma variável importante no cálculo de stress térmico e índices de conforto térmico em espaços abertos, como PET e UTCI.

O ENVI-met possui um modelo que leva em consideração a interação com as paredes e solo, sendo que na dinâmica do solo entram nas interações com a evaporação, troca de água dentro do solo e a captação por raízes de plantas, para posteriormente calcular a temperatura média radiante para diferentes pontos dentro do plano de simulação XYZ.

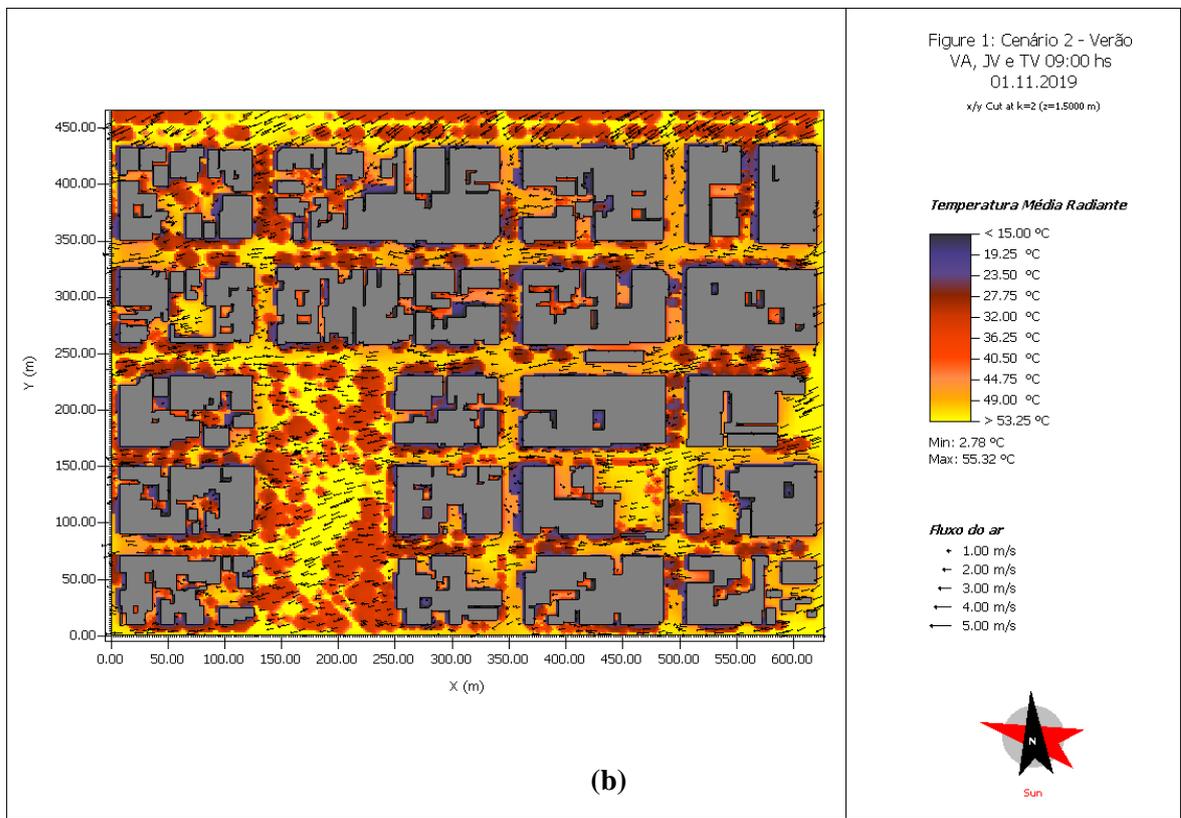
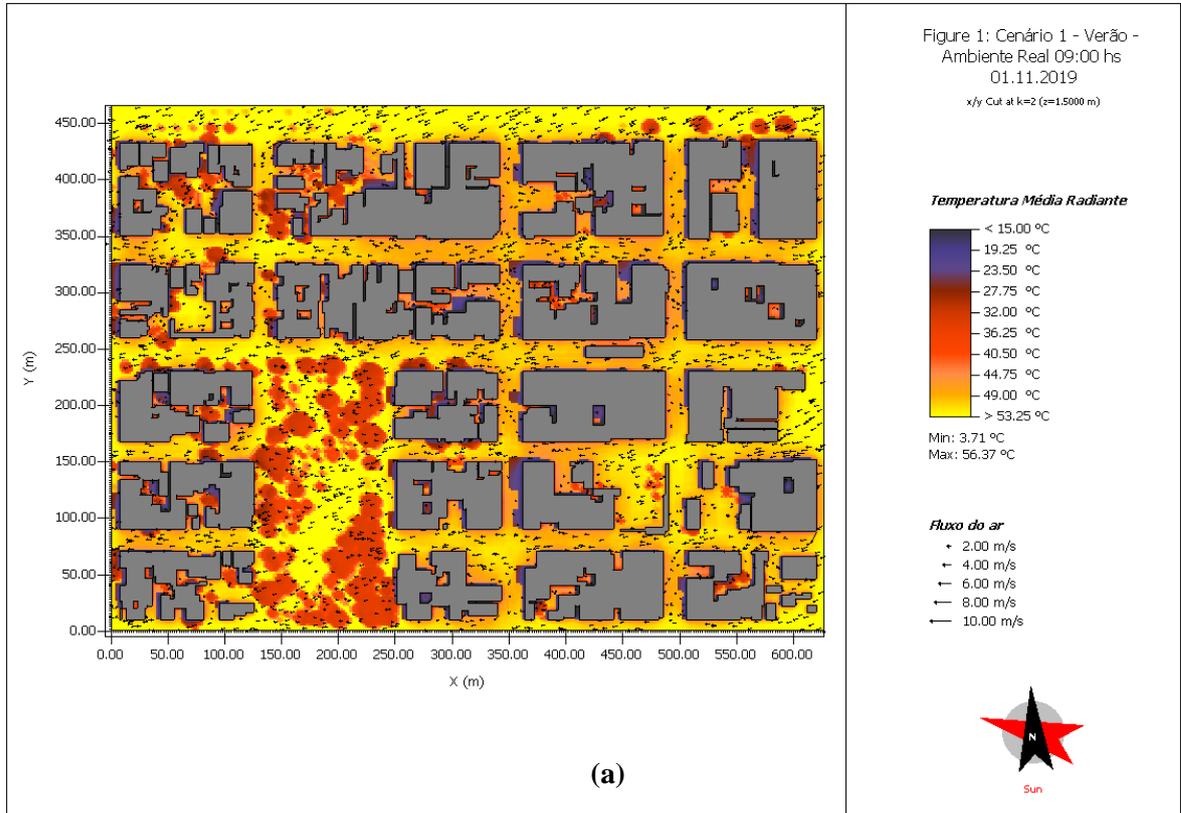
Desta forma, será analisada a temperatura média radiante no plano XY a 1,5m de altura e avaliada a percepção do pedestre, tendo posteriormente o levantamento do índice de conforto térmico. Nas Figura 83 à Figura 88 são apresentados os resultados para os quatro cenários às 9:00, 12:00 e 15:00h.

Na Figura 83-a se tem o registro do pior caso no Cenário 1 no turno da manhã (9:00h), seguido pelos melhores casos com os cenários com vegetação. No Cenário 3 (Figura 84-a) nota-se que o sombreamento da edificação leva a temperatura média radiante para abaixo dos 23,5°C, com pontos próximos da praça que vem recebendo a radiação solar direta registrando próximo ou acima dos 49°C. Dependendo da velocidade do vento, esse sombreamento pode proporcionar um desconforto térmico através do frio.

Nos Cenários 2 e 4 (Figura 83-b e Figura 84-b) é possível gerar um corredor em várias vias no sentido Leste-Oeste, trazendo a temperatura média radiante para próximo dos 32°C no horário das 9:00h.

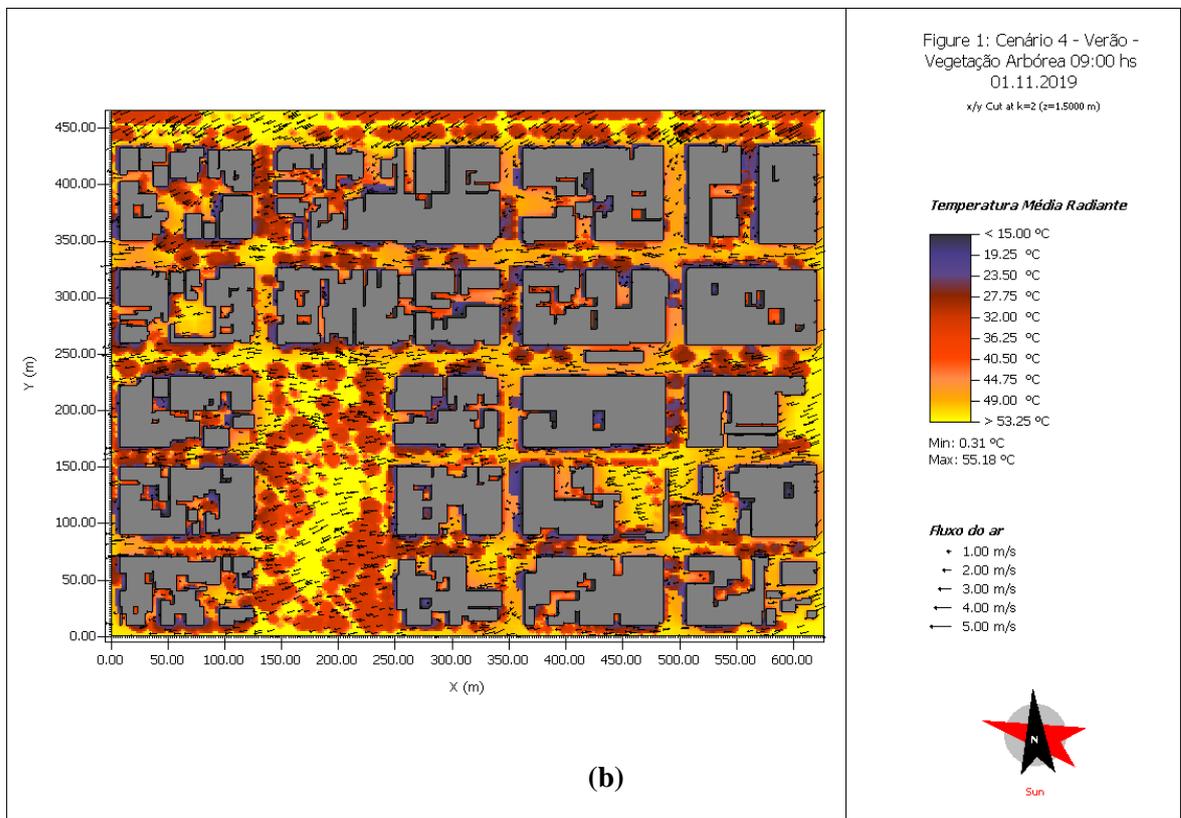
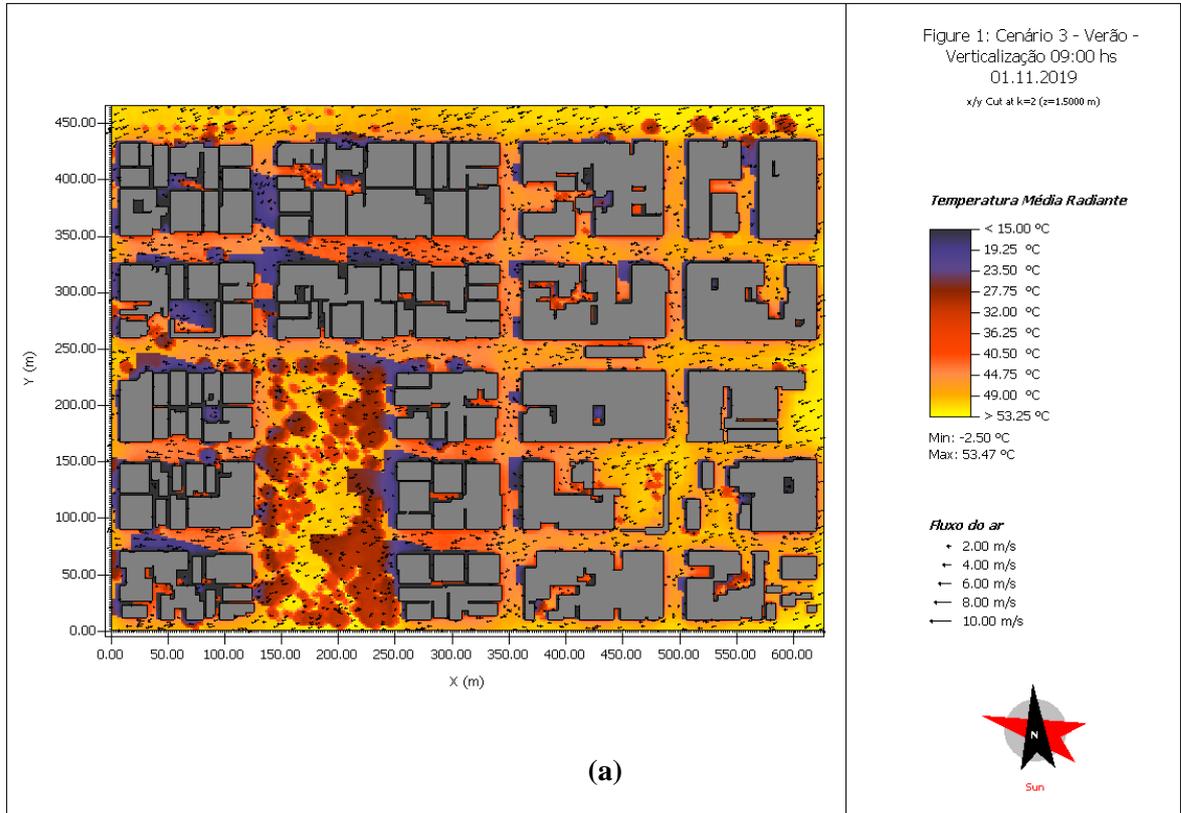
Nos demais horários os cenários seguem o comportamento da manhã e chega a uma temperatura média radiante às 15:00h de 73,34°C no Cenário 1 (Figura 87-a), proporcionando poucos espaços de conforto. No Cenário 3 (Figura 88-a) às 15:00h o sombreamento dos prédios se torna uma vantagem apenas no seu entorno com temperaturas na faixa dos 36,5°C, ressaltando que a velocidade do vento permanece reduzida ao nível do pedestre quando comparado com o Cenário 2 e 4 (Figura 87-b e Figura 88-b).

Figura 83 – Temperatura média radiante a 1,5m de altura às 9:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 1 (ambiente real) e (b) Cenário 2 (vegetação arbórea, telhado verde e jardins verticais).



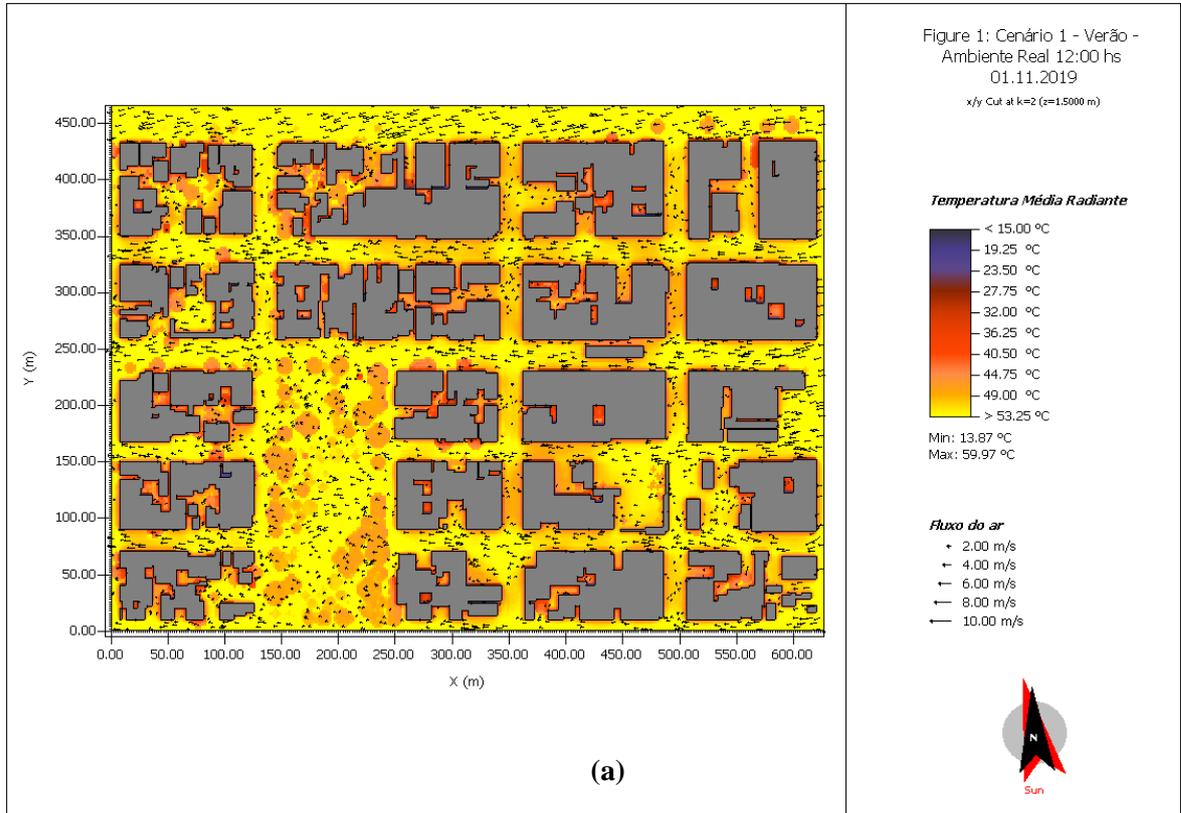
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 84 – Temperatura média radiante a 1,5m de altura às 9:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 3 (verticalização) e (b) Cenário 4 (vegetação arbórea).



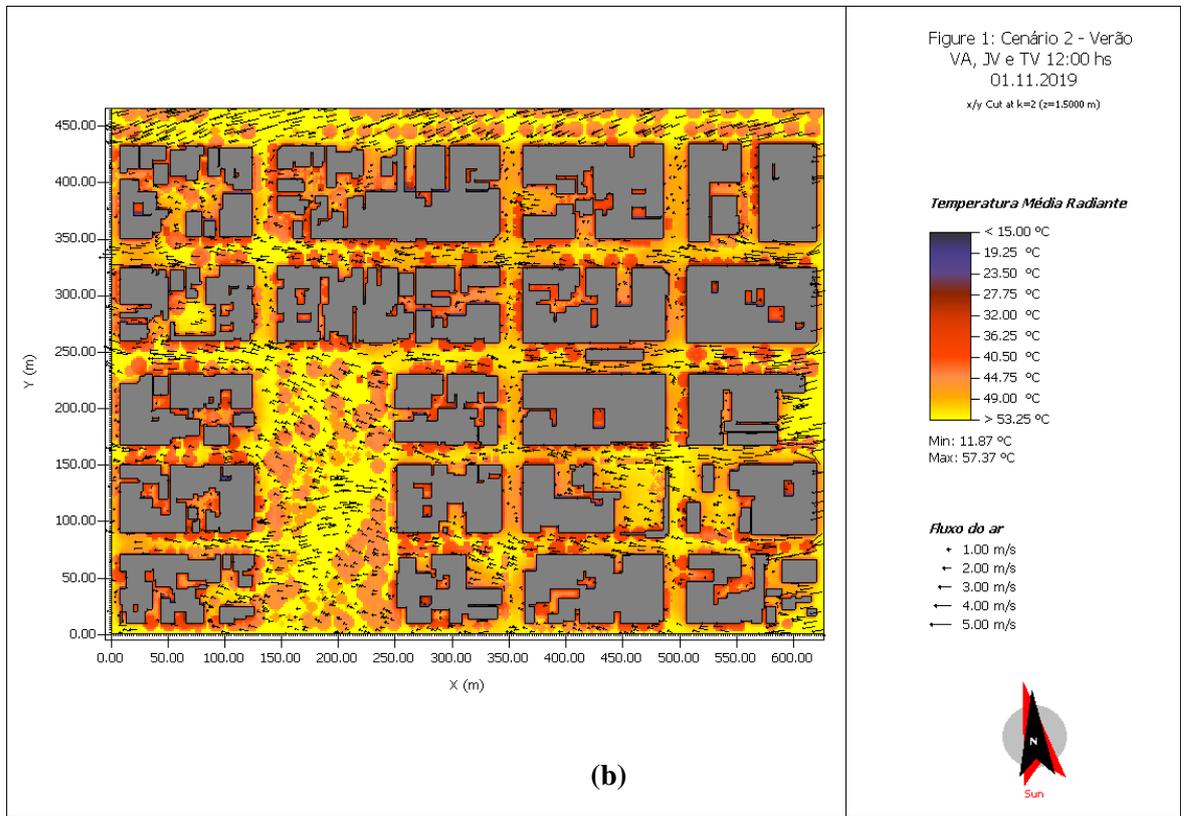
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 85 – Temperatura média radiante a 1,5m de altura às 12:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 1 (ambiente real) e (b) Cenário 2 (vegetação arbórea, telhado verde e jardins verticais).



ENVI_met

<Right foot>

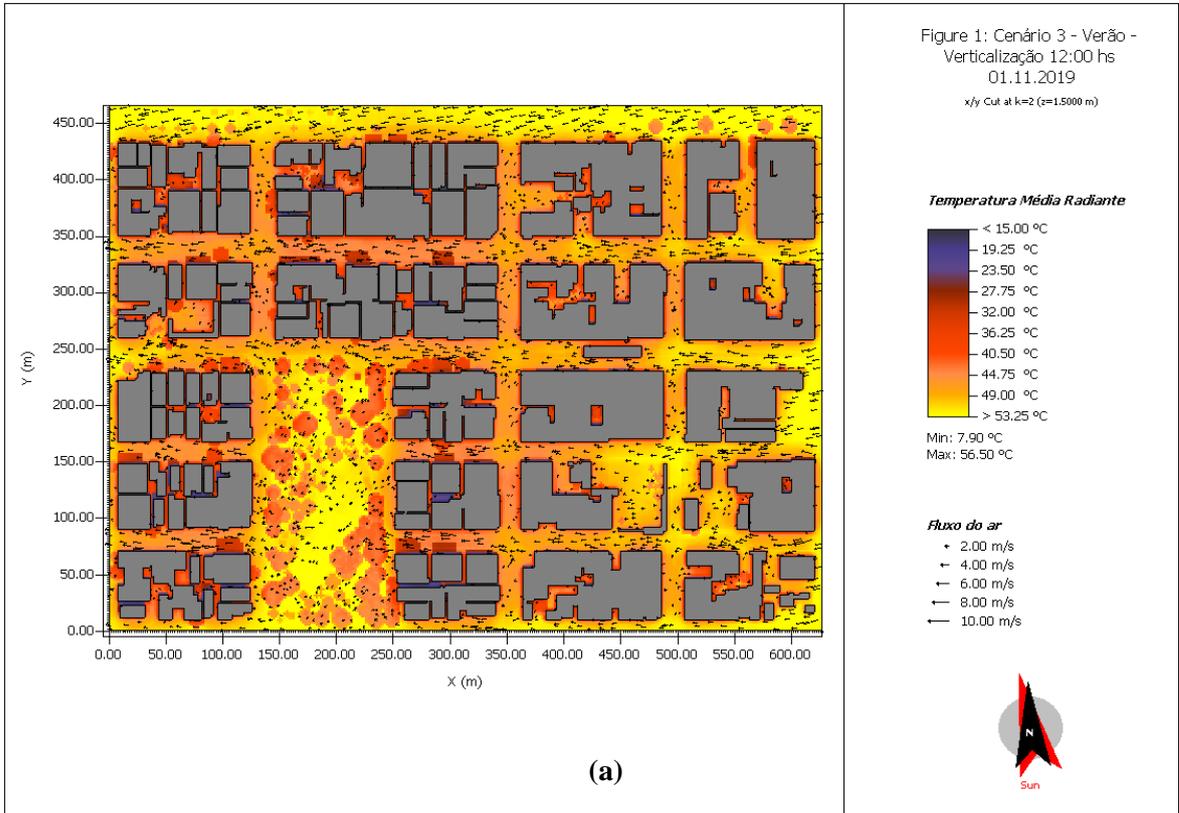


ENVI_met V4.4.5

<Right foot>

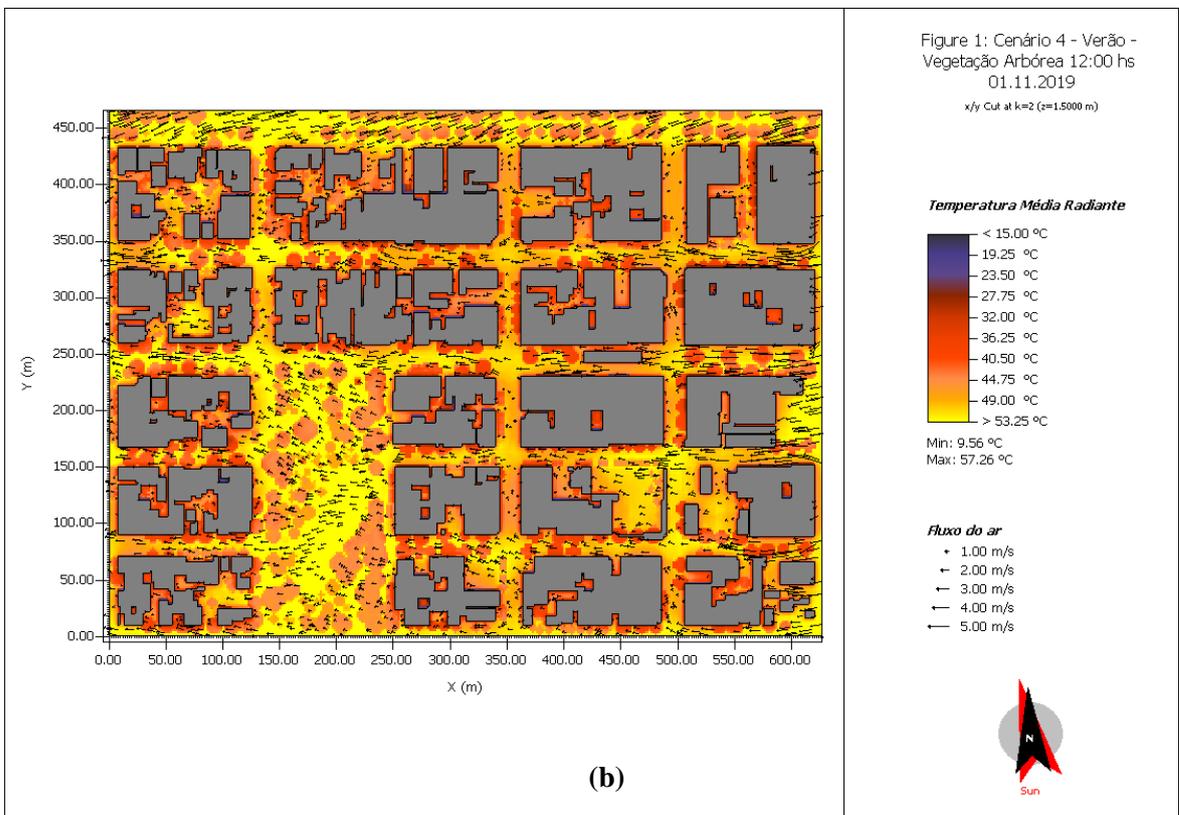
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 86 – Temperatura média radiante a 1,5m de altura às 12:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 3 (verticalização) e (b) Cenário 4 (vegetação arbórea).



ENVI_met V4.4.5

<Right foot>

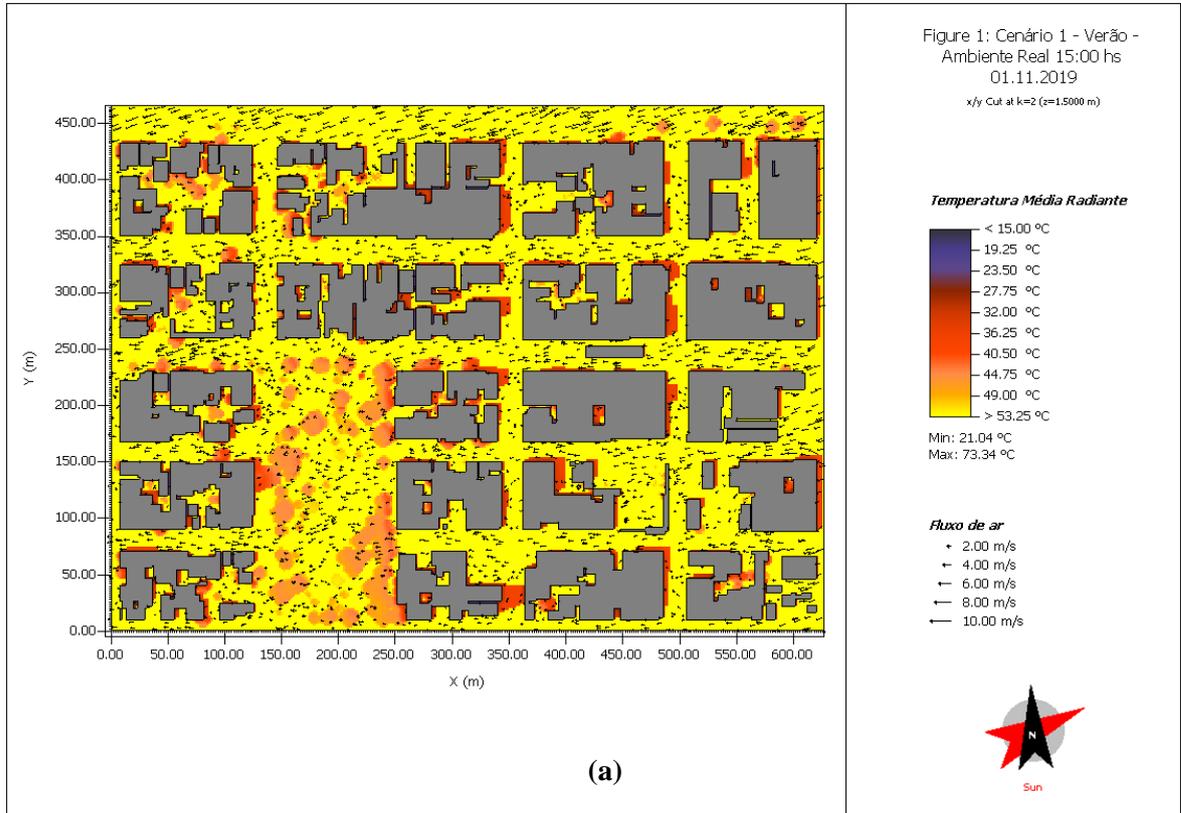


ENVI_met V4.4.5

<Right foot>

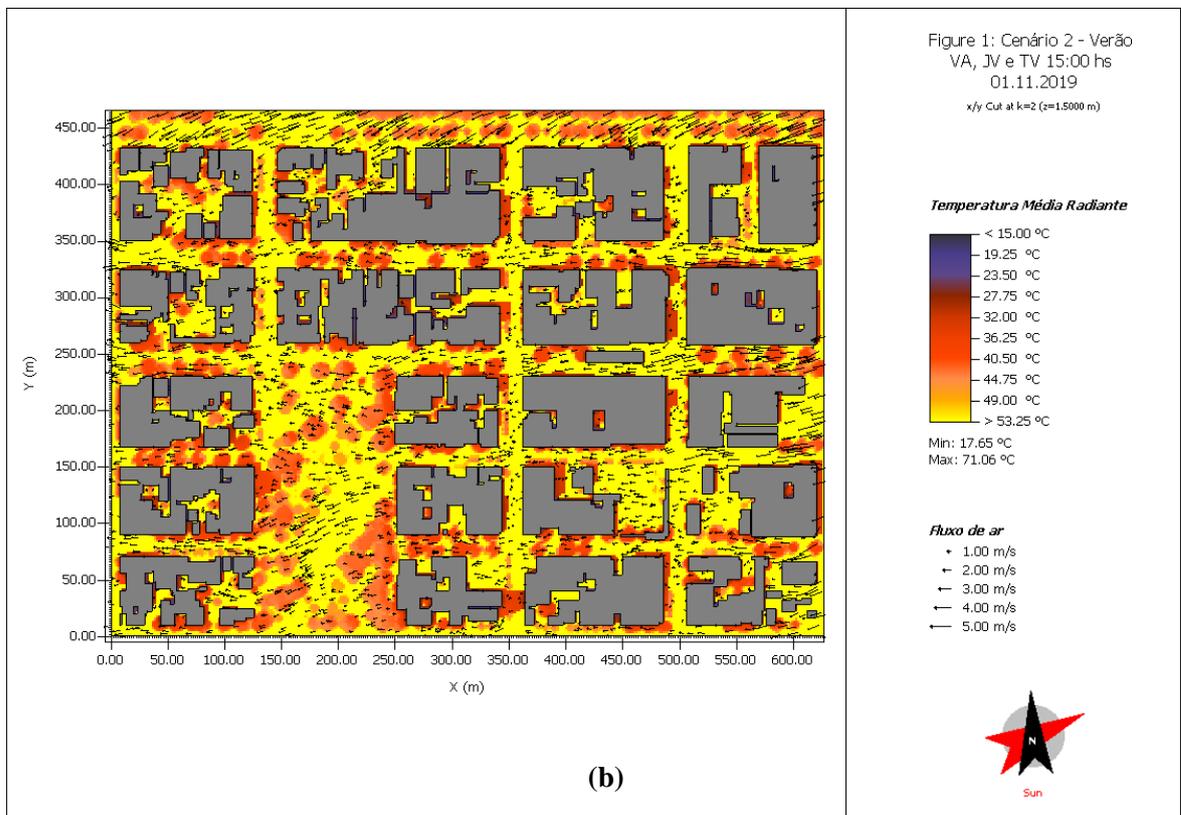
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 87 – Temperatura média radiante a 1,5m de altura às 15:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 1 (ambiente real) e (b) Cenário 2 (vegetação arbórea, telhado verde e jardins verticais).



ENVI_met

<Right foot>

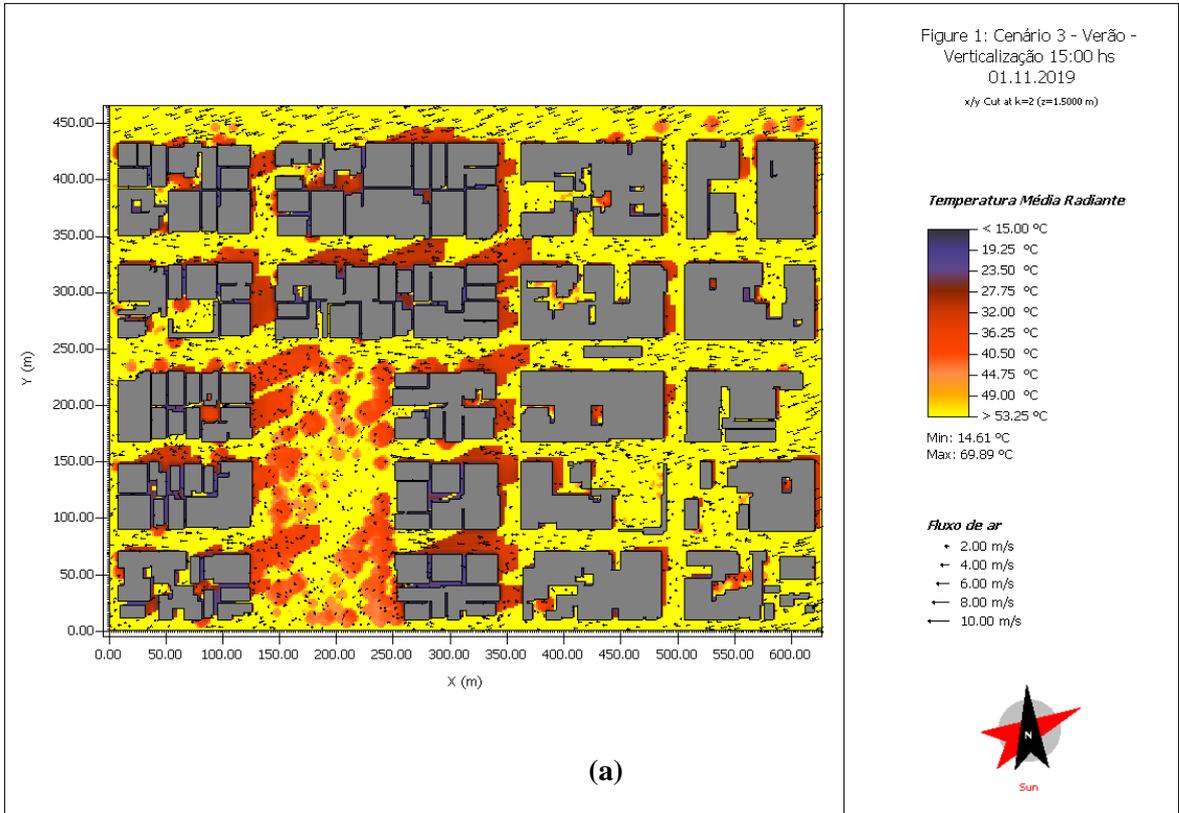


ENVI_met V4.4.5

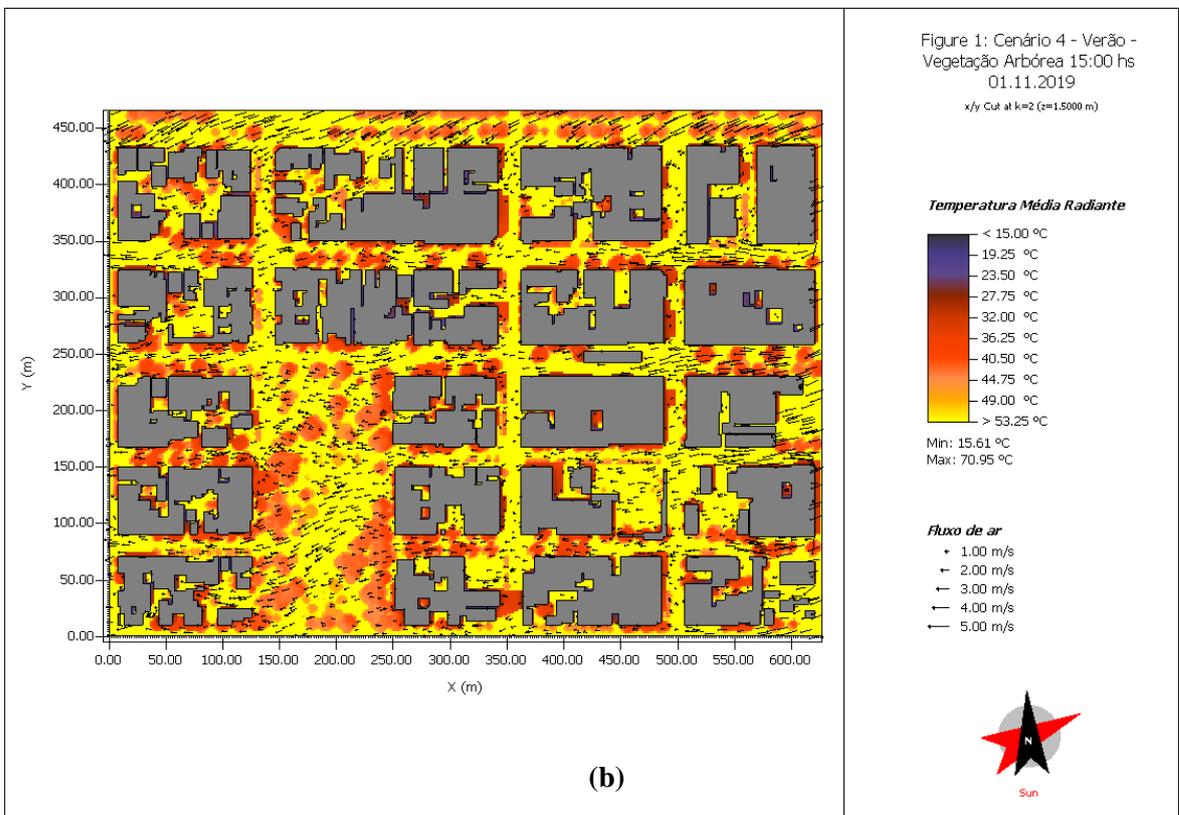
<Right foot>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 88 – Temperatura média radiante a 1,5m de altura às 15:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 3 (verticalização) e (b) Cenário 4 (vegetação arbórea).



(a)



(b)

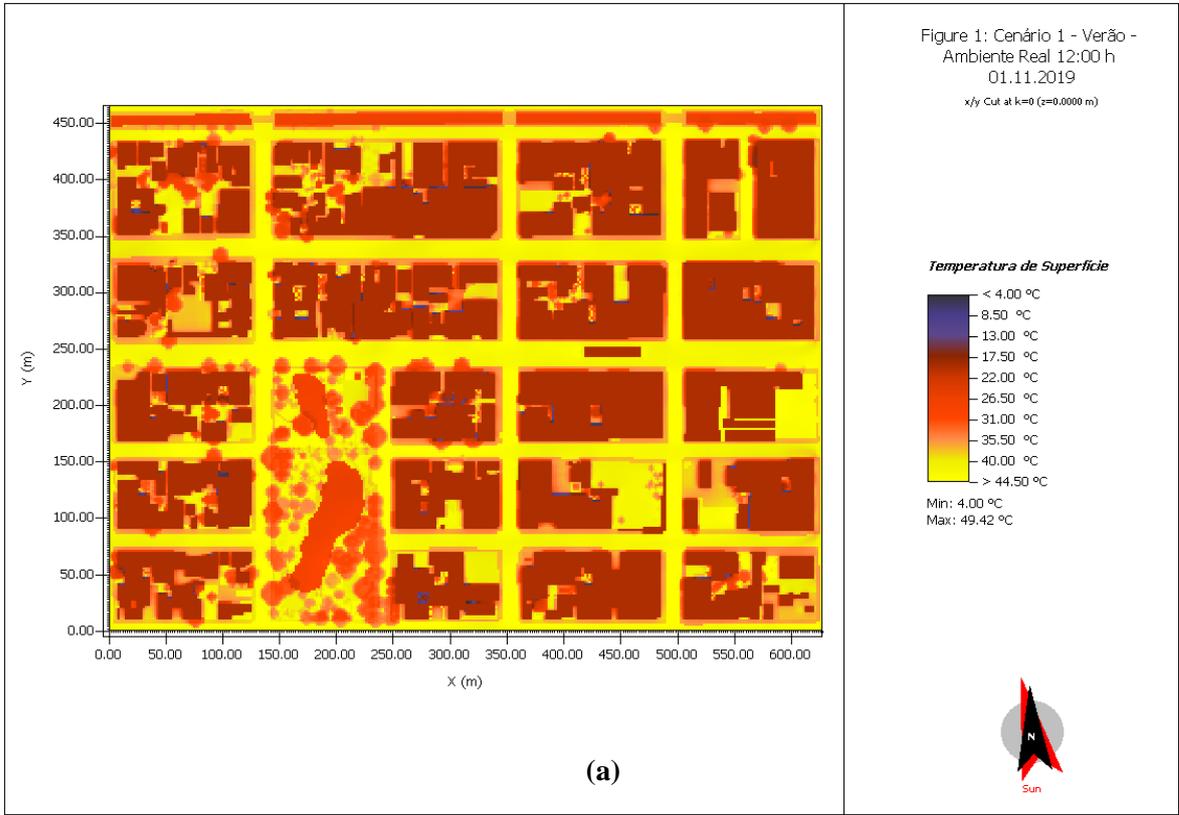
Fonte: Elaborado pelo autor.

A terceira resposta avaliada se deteve na temperatura de superfície, que apesar de não ter sido uma das variáveis registradas na medição, pode ser estimada pelo modelo utilizado no software. A simulação forneceu respostas horárias das 4:00h do dia 30/10 às 18:00h do dia 01/11, contudo, serão apresentados apenas os horários das 12:00 e 15:00h do dia 01/11. O resultado das 9:00h não apresentou relevante ganho térmico, permanecendo basicamente homogêneo nos quatro cenários com temperaturas de superfície próximas dos 22 °C.

A temperatura de superfície exerce influência na temperatura média radiante, pois a emissão de calor ocorre pela radiação de ondas longas. Os resultados são apresentados nas Figura 89 a Figura 92, podendo ser observado às 12:00h no Cenário 1 (Figura 89-a) a existência de uma homogeneidade com seus picos em toda a pavimentação asfáltica, seguido pelas calçadas com pavimentação de concreto. No Cenário 2 e 4 (Figura 89-b e Figura 90-b) apresenta uma não uniformidade, tanto para às 12:00h quanto às 15:00h. Em todos os cenários, o lago e o canal permanecem em destaque com sua temperatura de superfície, no caso da água, próximo dos 26,5°C.

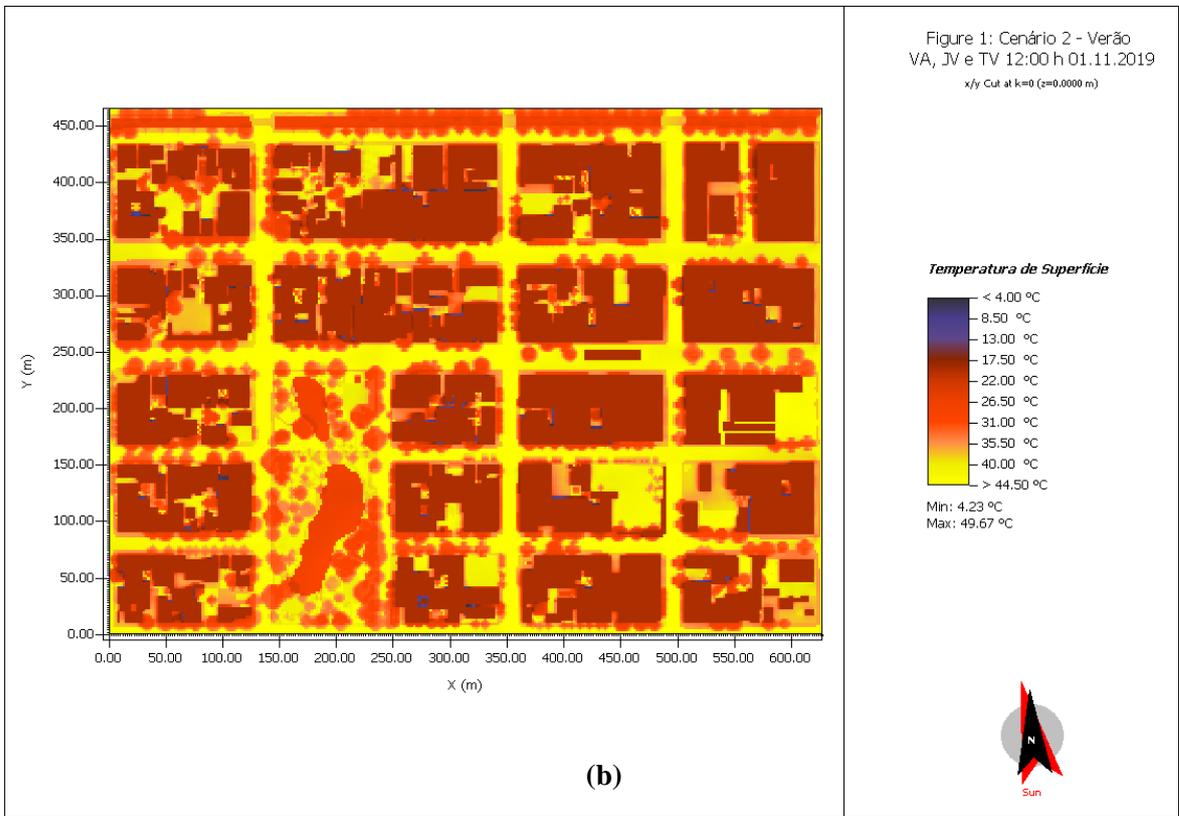
Um cenário construído e pendente de simulação, pertinente de comparação é com as pavimentações permeáveis e porosas, que seriam utilizadas para comparar a temperatura de superfície e, conseqüentemente, provocar uma redução na temperatura média radiante.

Figura 89 – Temperatura de superfície às 12:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 1 (ambiente real) e (b) Cenário 2 (vegetação arbórea, telhado verde e jardins verticais).



ENVI_met V4.4.5

<Right foot>

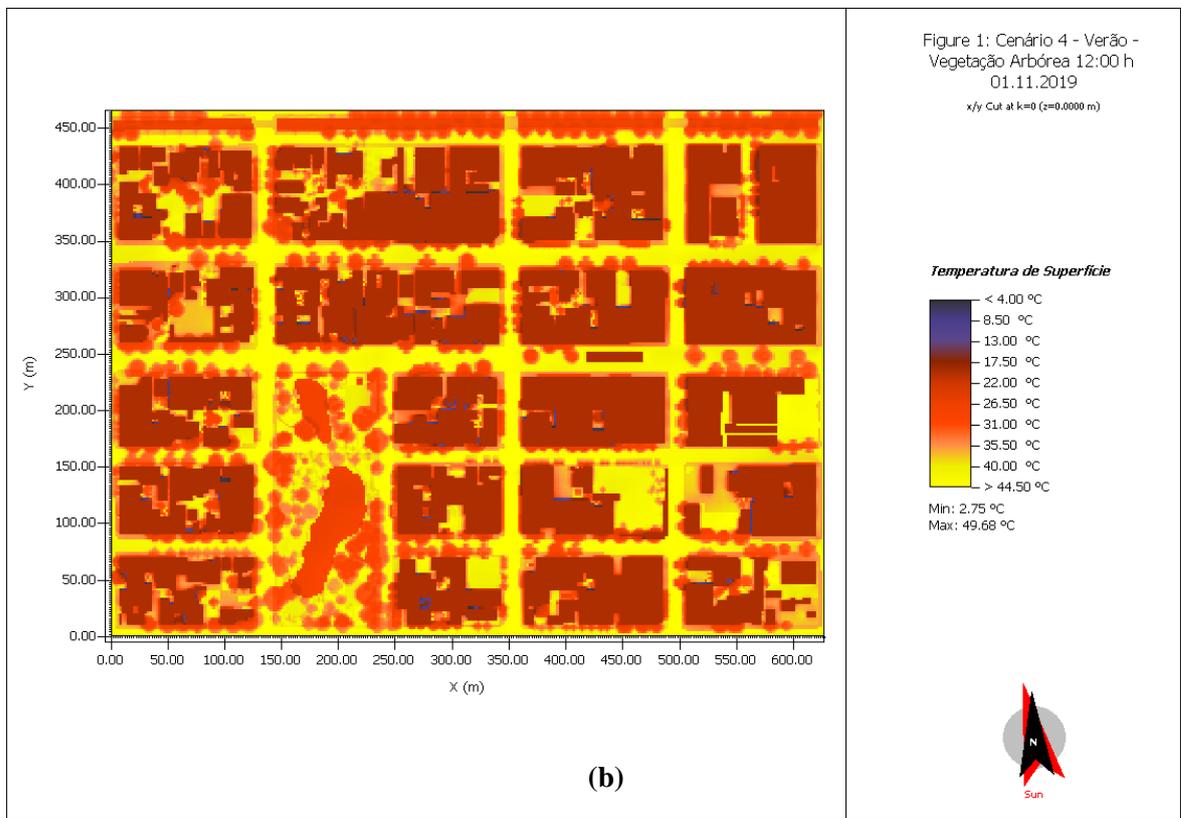
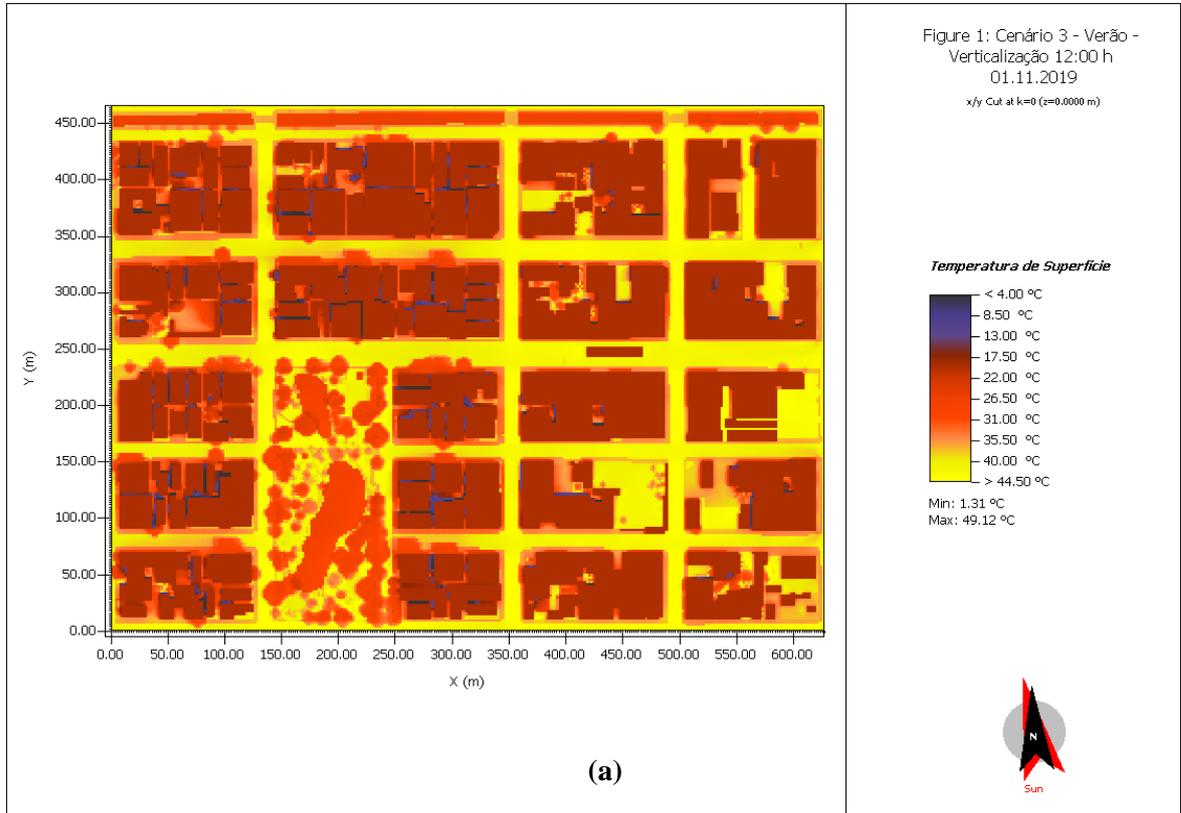


ENVI_met V4.4.5

<Right foot>

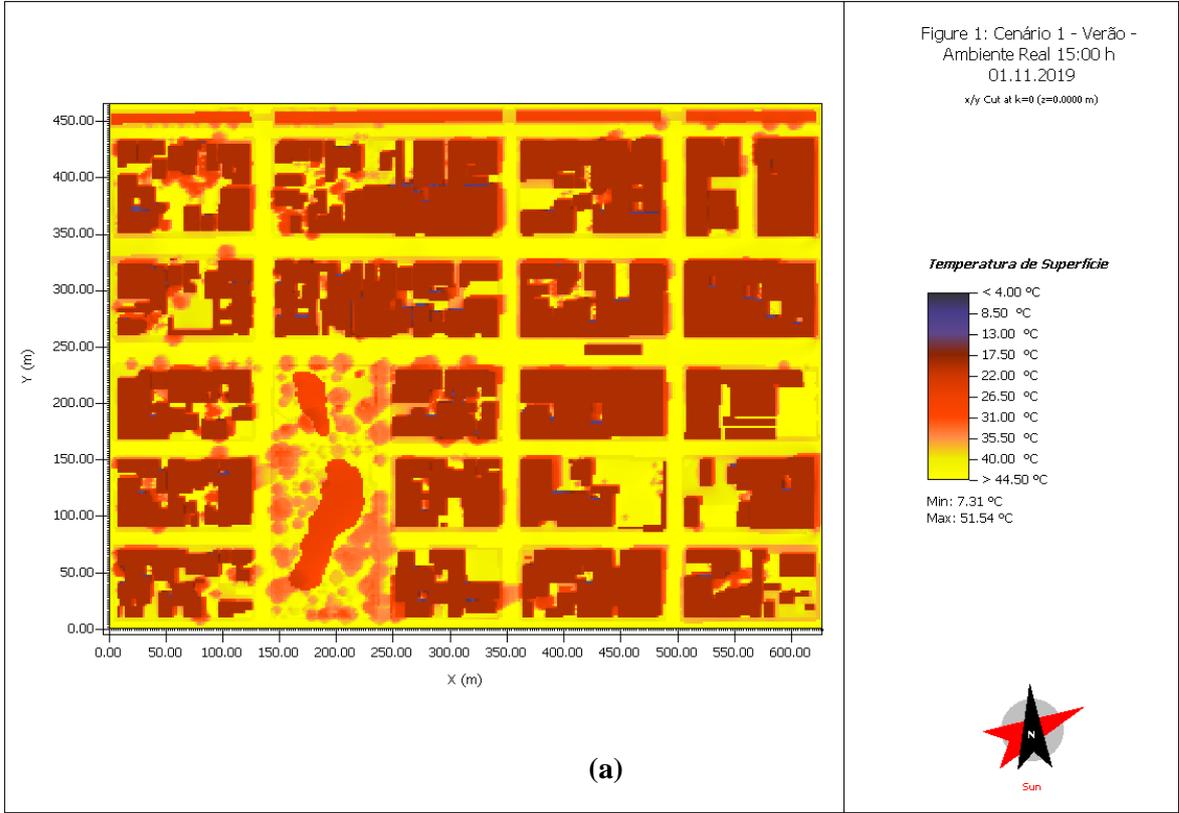
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 90 – Temperatura de superfície às 12:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 3 (verticalização) e (b) Cenário 4 (vegetação arbórea).



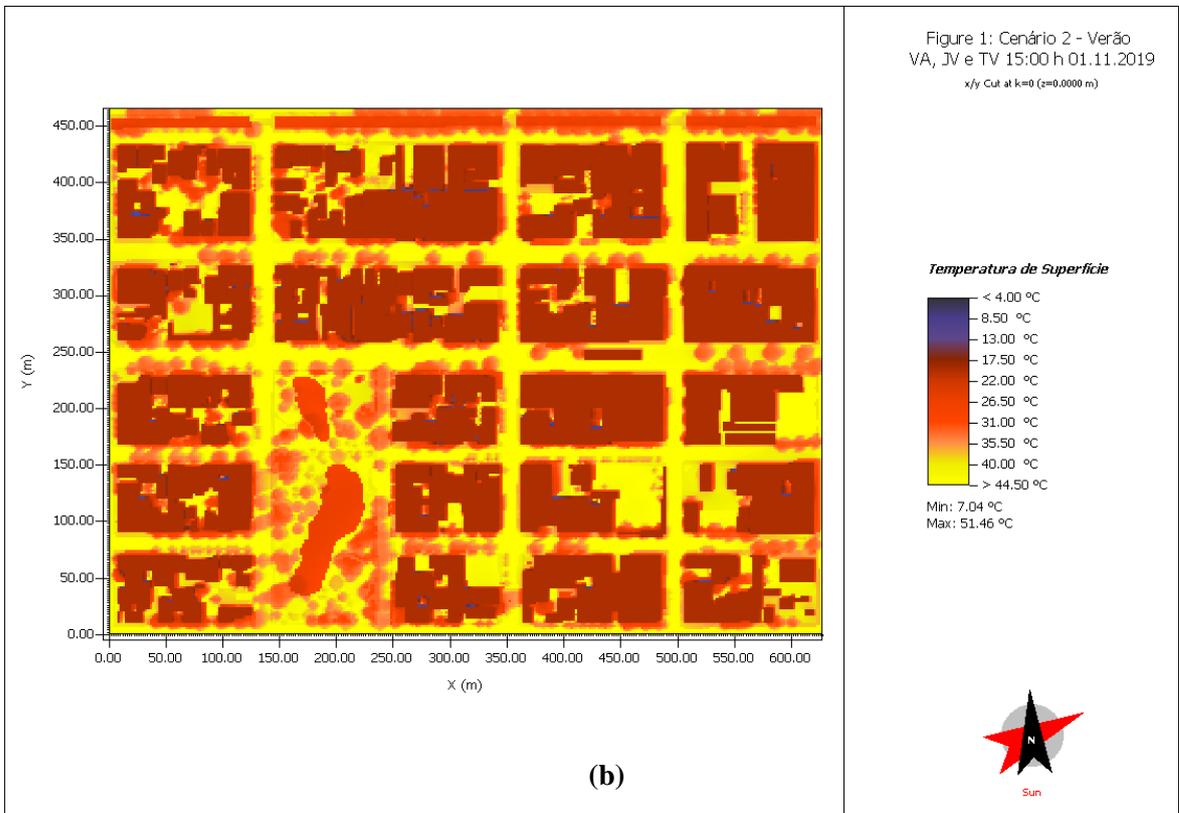
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 91 – Temperatura de superfície às 15:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 1 (ambiente real) e (b) Cenário 2 (vegetação arbórea, telhado verde e jardins verticais).



ENVI_met V4.4.5

<Right foot>

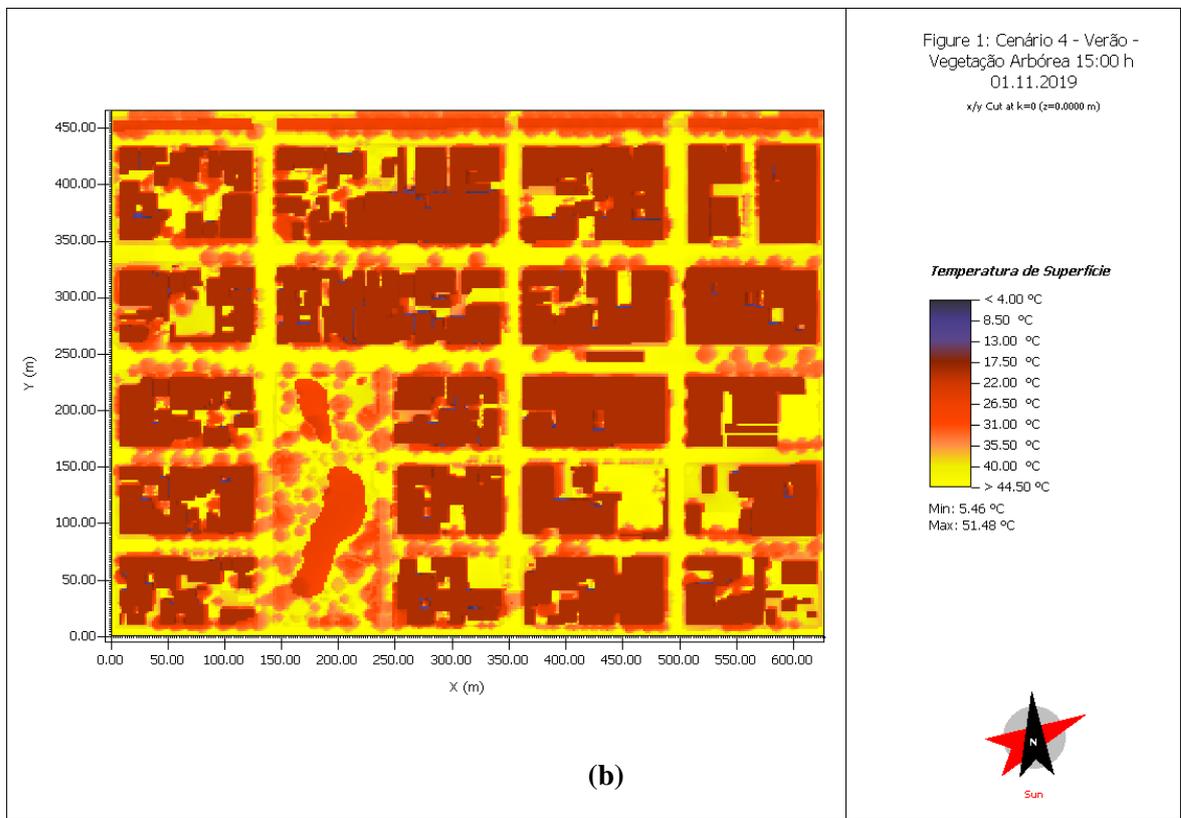
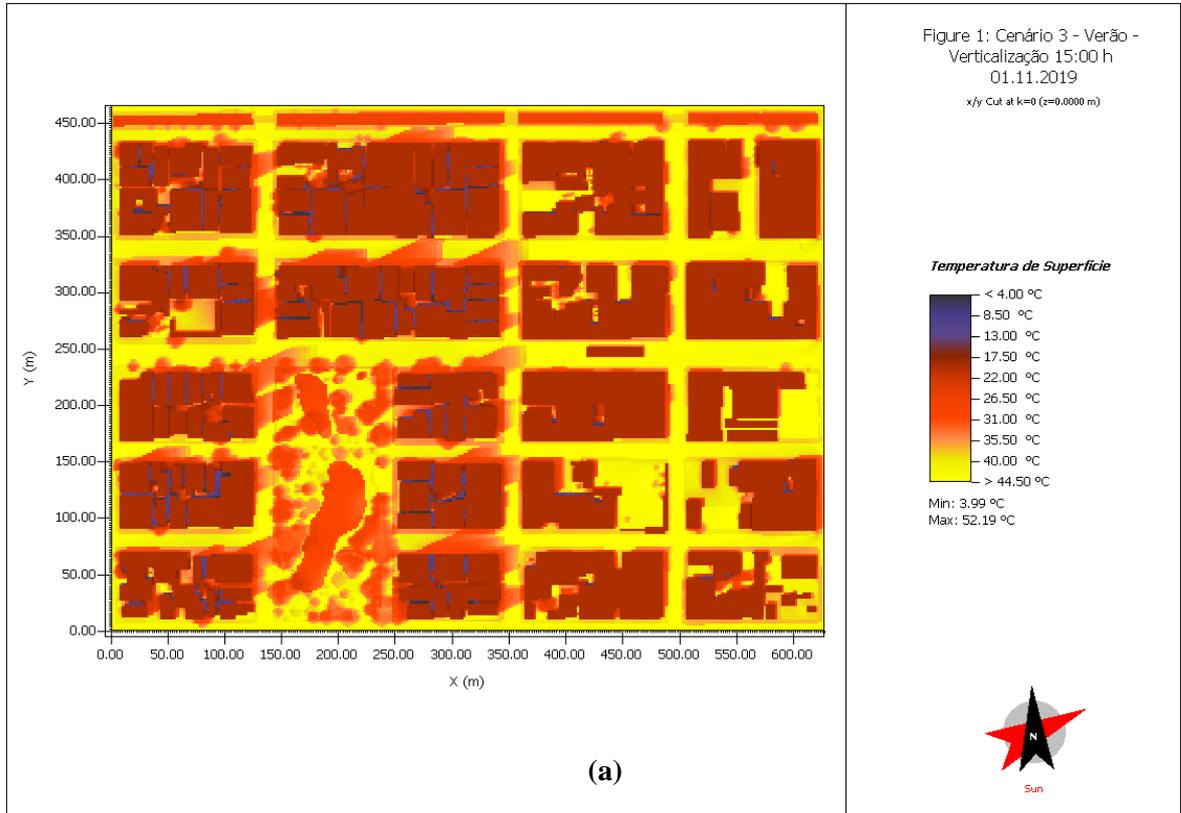


ENVI_met V4.4.5

<Right foot>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 92 – Temperatura de superfície às 15:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 3 (verticalização) e (b) Cenário 4 (vegetação arbórea).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Outra resposta interessante de se analisar é quanto ao Fator de Visão de Céu (FVC), parâmetro adimensional que indica a relação geométrica entre a altura e largura da via (relação H/W), o que representa o segmento de céu disponível para trocas de calor. Oke (1982) relaciona o FVC como uma das principais causas da ilha de calor, quanto maior seu valor, maior a possibilidade de haver regiões desconfortáveis.

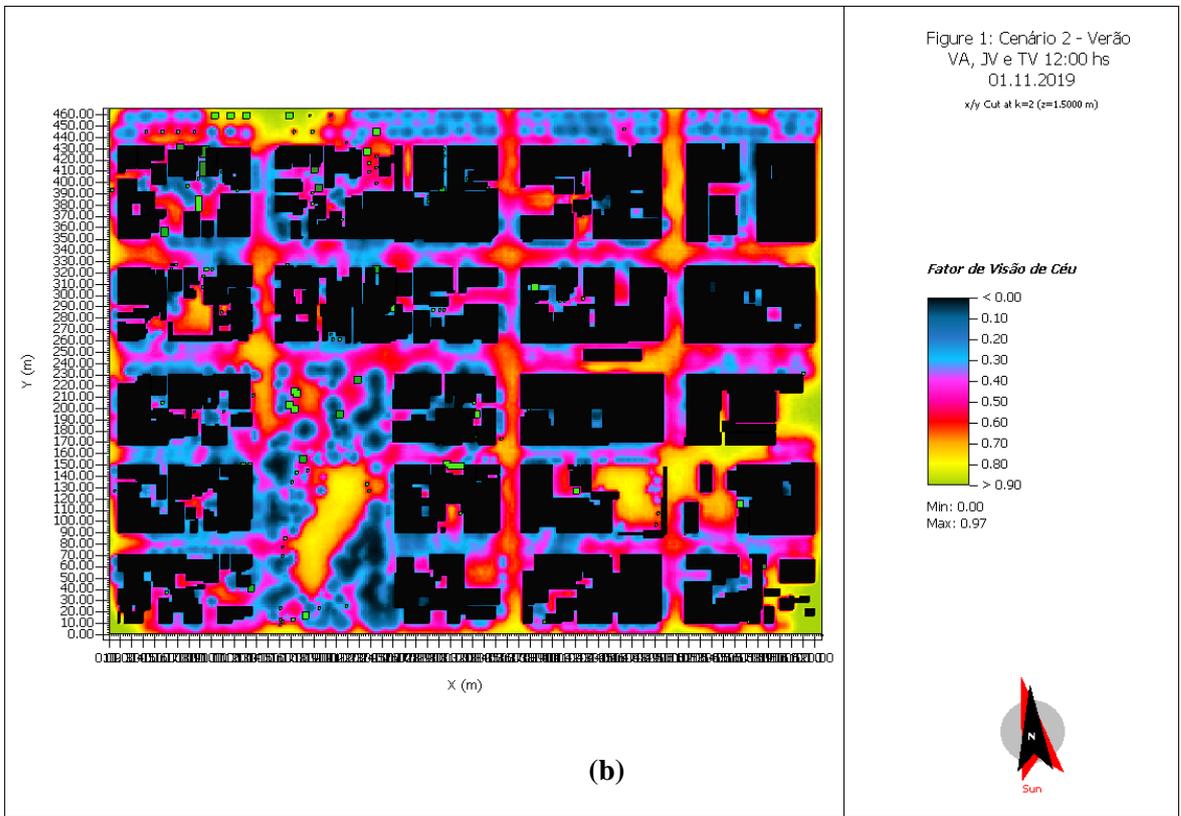
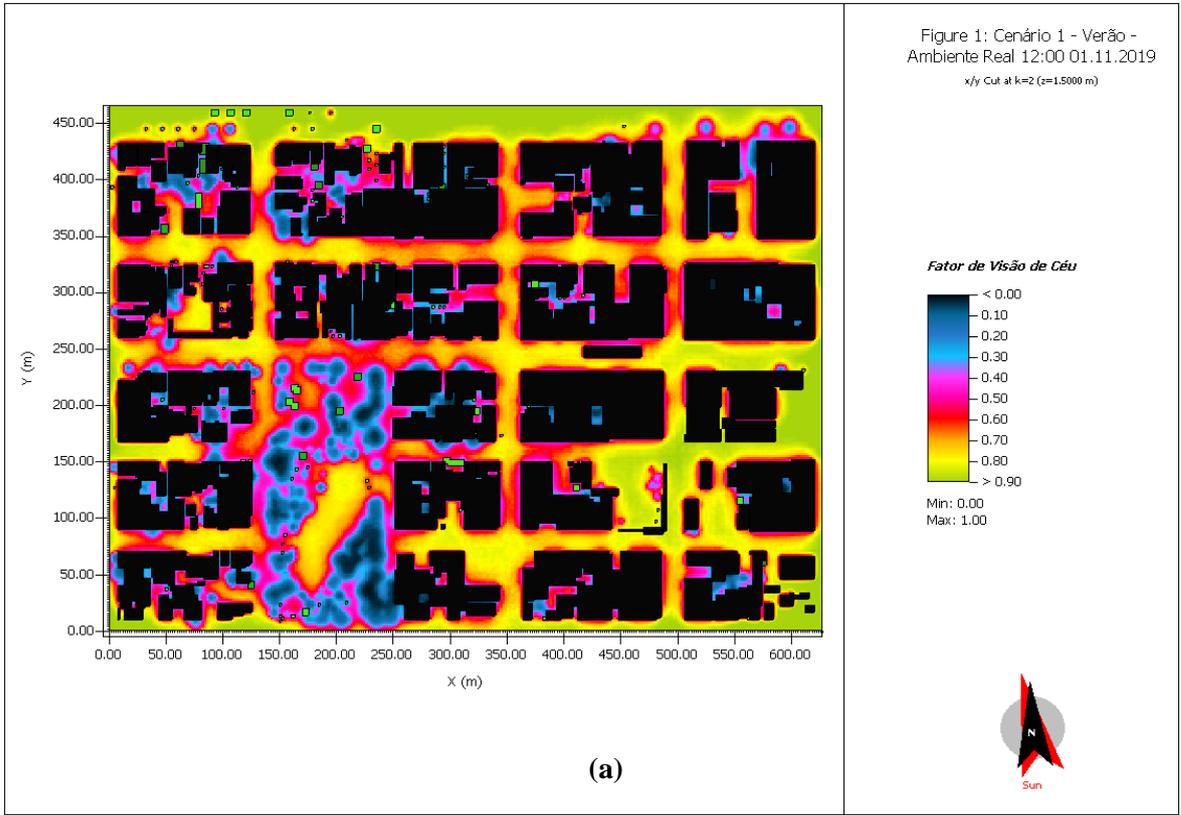
A determinação do FVC pode ser realizada por registro fotográfico utilizando câmeras com sensor *full frame*, ou seja, câmeras profissionais que conseguem registrar um campo maior de visão. A lente utilizada é a fisheye que possui uma abertura angular de 180°, desta forma, a câmera consegue registrar todo seu entorno gerando uma imagem circular. Após seu registro é realizado seu processamento para identificar a parcela de céu visível. A escala disposta no ENVI-met vai de 0 a 1, sendo 0 completamente obstruído e 1 céu 100% visível.

Pode-se citar os trabalhos desenvolvidos por Souza (1996) e Monteiro e Mendonça (2003) que buscaram relação do FVC as variações do clima local, em que a exposição ao céu tem relação a elevação da temperatura do ar, no entanto, espaços com FVC alto podem permitir fluxo de ar superiores e diminuir a temperatura do ar.

A simulação do FVC pelo ENVI-met é similar ao registro de uma câmera térmica, onde é possível ver o todo, identificando os pontos com as maiores exposições, na situação de Macapá, com as maiores amplitudes de temperatura. Nas Figura 93 e Figura 94 são apresentados os resultados do FVC a 1,5m de altura. É possível observar que o Cenário 1 (Figura 93-a) apresenta parcela considerável de espaços acima de 0,9 ou 90% de céu visível, comparando com a resposta de temperatura de ar, que coincide com os espaços mais quentes.

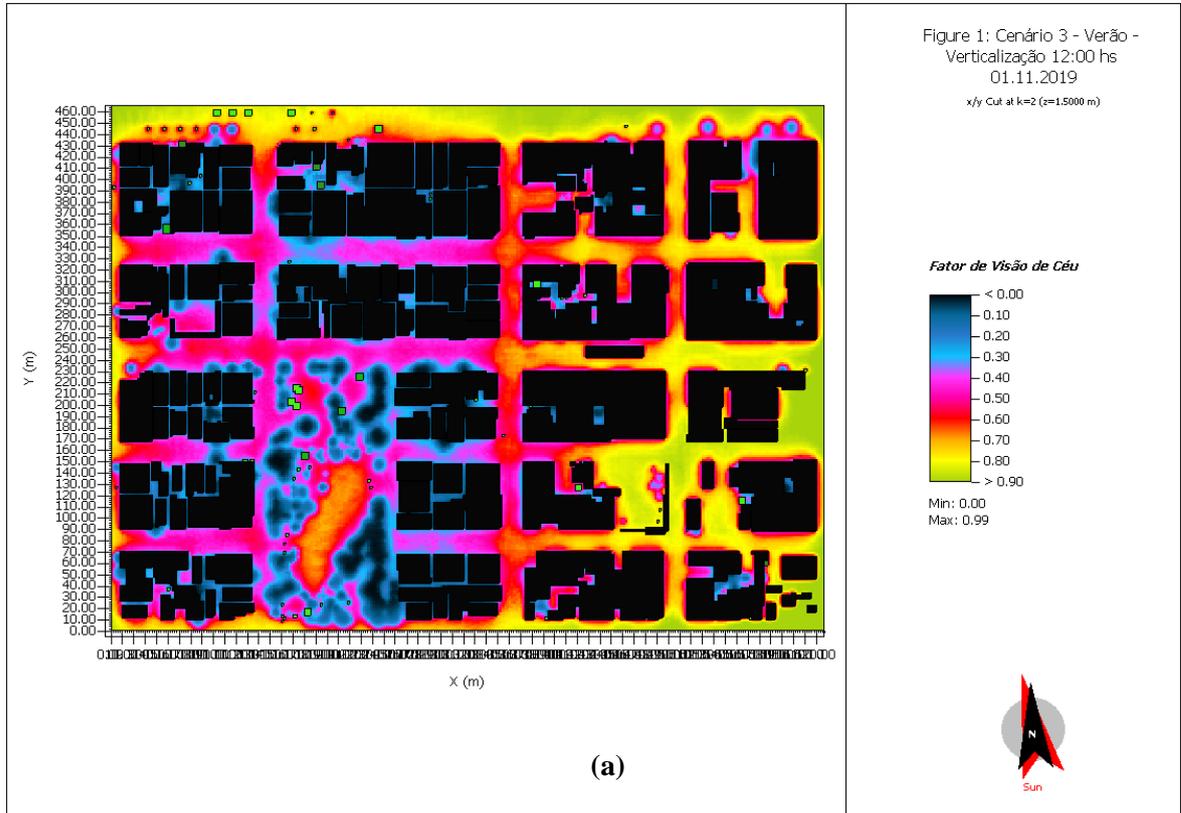
O Cenário 2 e 4 (Figura 93-b e Figura 94-b) apresentam um FVC baixo e o Cenário 3 (Figura 94-a) um FVC baixo apenas nas proximidades da verticalização.

Figura 93 – Fator de visão de céu do Centro Comercial. (a) Cenário 1 (ambiente real) e (b) Cenário 2 (vegetação arbórea, telhado verde e jardins verticais).



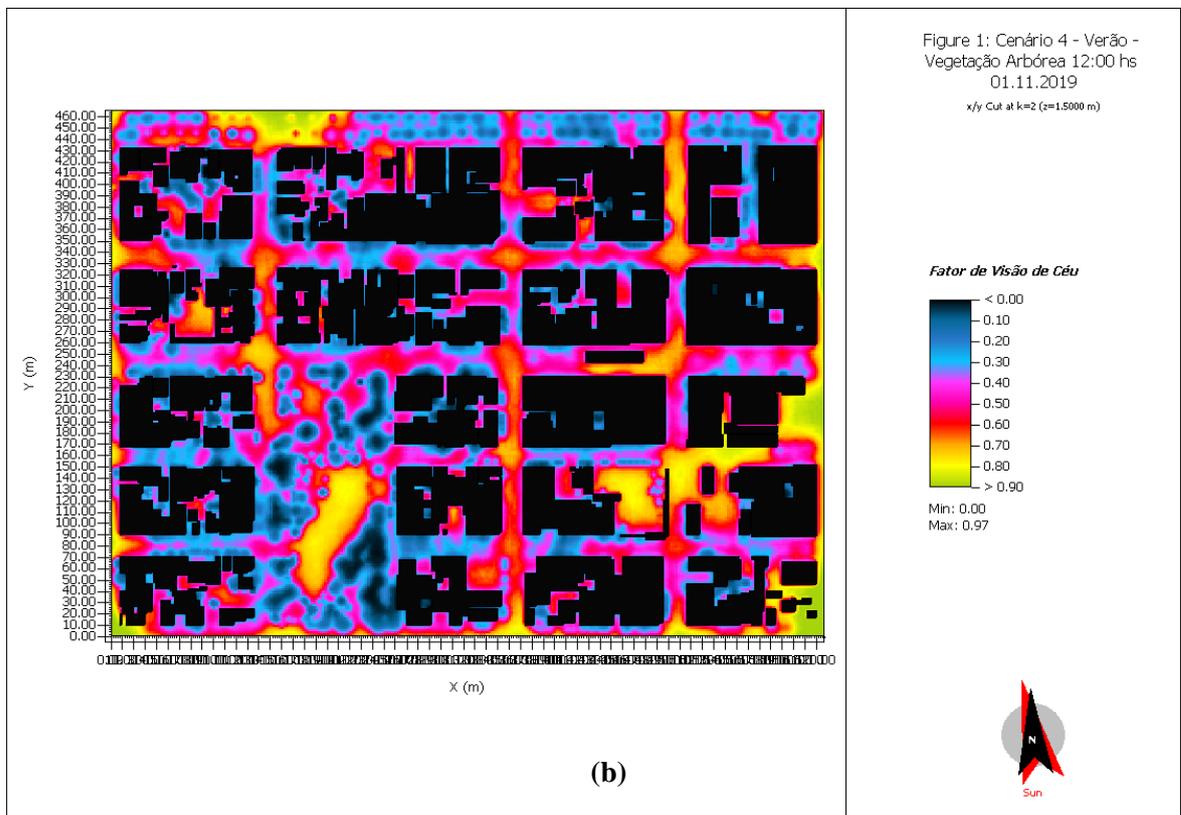
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 94 – Fator de visão de céu do Centro Comercial. (a) Cenário 3 (verticalização) e (b) Cenário 4 (vegetação arbórea).



ENVI_met

<Right foot>



ENVI_met

<Right foot>

Fonte: Elaborado pelo autor.

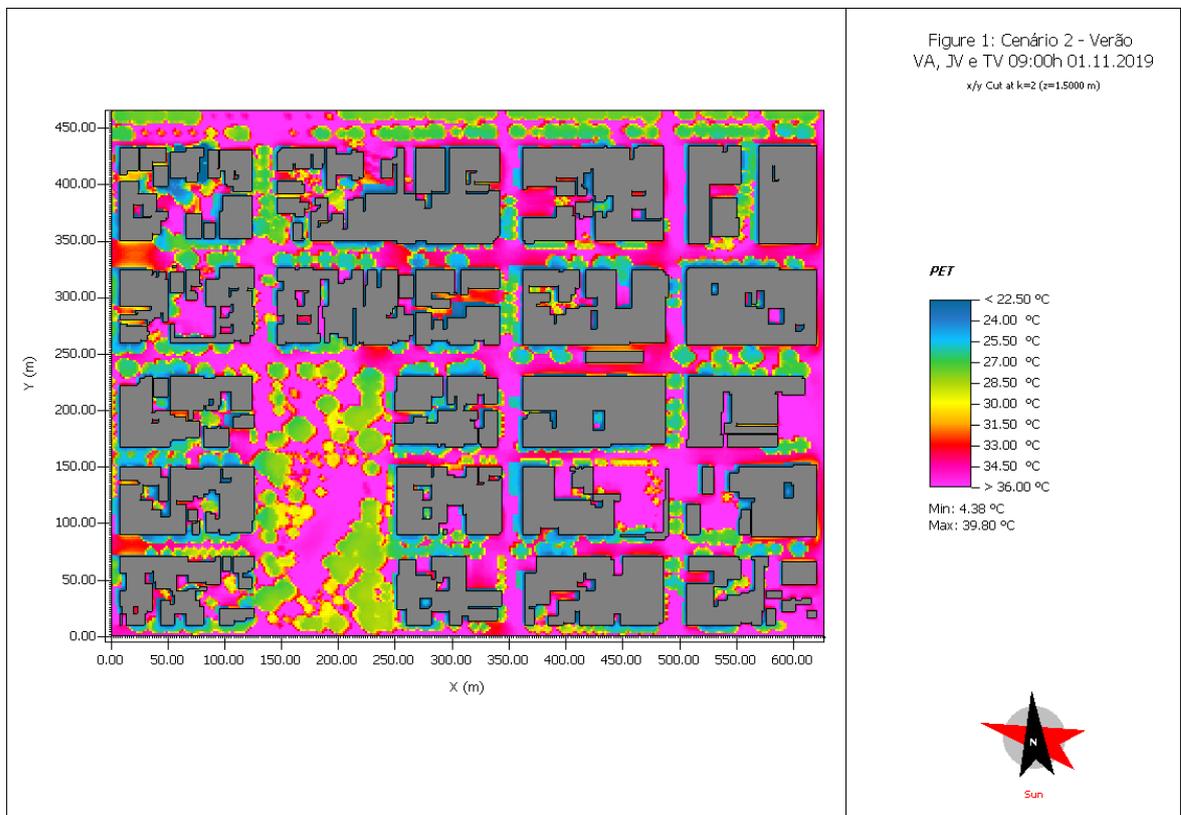
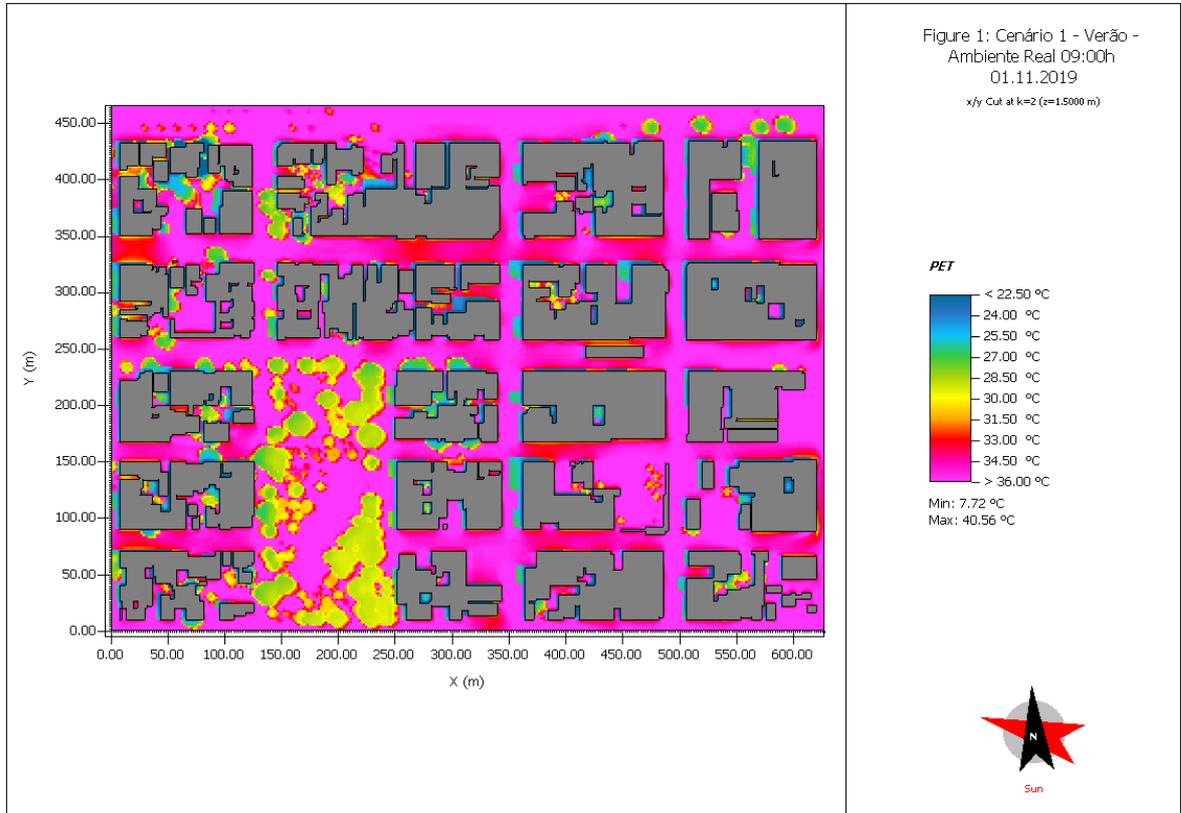
O último resultado apresentado é relacionado ao índice de conforto térmico, nesse caso, são calculados o PET e UTCI com foco em espaços abertos, estando calculados a 1,5m de altura às 9:00, 12:00 e 15:00h.

Os resultados do PET são apresentados nas Figura 95 a Figura 100, podendo ser observadas pequenas regiões de ausência de estresse térmico (18 a 22,9°C) às 9:00 abaixo das vegetações arbóreas ou na sombra promovida pelas edificações. Após esse horário (12:00 e 15:00h) a sensação térmica calculada para o homem padrão varia de estresse térmico forte (29 a 34,9 °C) ao extremo (acima de 41°C).

Os resultados do UTCI estão nas Figura 101 a Figura 106, que possui uma faixa de variação de estresse térmico superior ao PET, conforme a Tabela 4. Às 9:00h para o Cenário 1 (Figura 101-a) não é possível encontrar locais na via urbana com ausência de estresse térmico (9 a 25,9°C), sendo observado apenas nos demais cenários (Figura 101-b e Figura 102-a-b) nos sombreamentos proporcionado pela vegetação ou prédios. Nos demais horários (12:00 e 15:00) variando do estresse térmico forte (32 a 37,9 °C) a muito forte (38 a 45,9 °C), não havendo a sensação térmica em nenhum cenário com UTCI de estresse térmico extremo (acima de 46 °C)

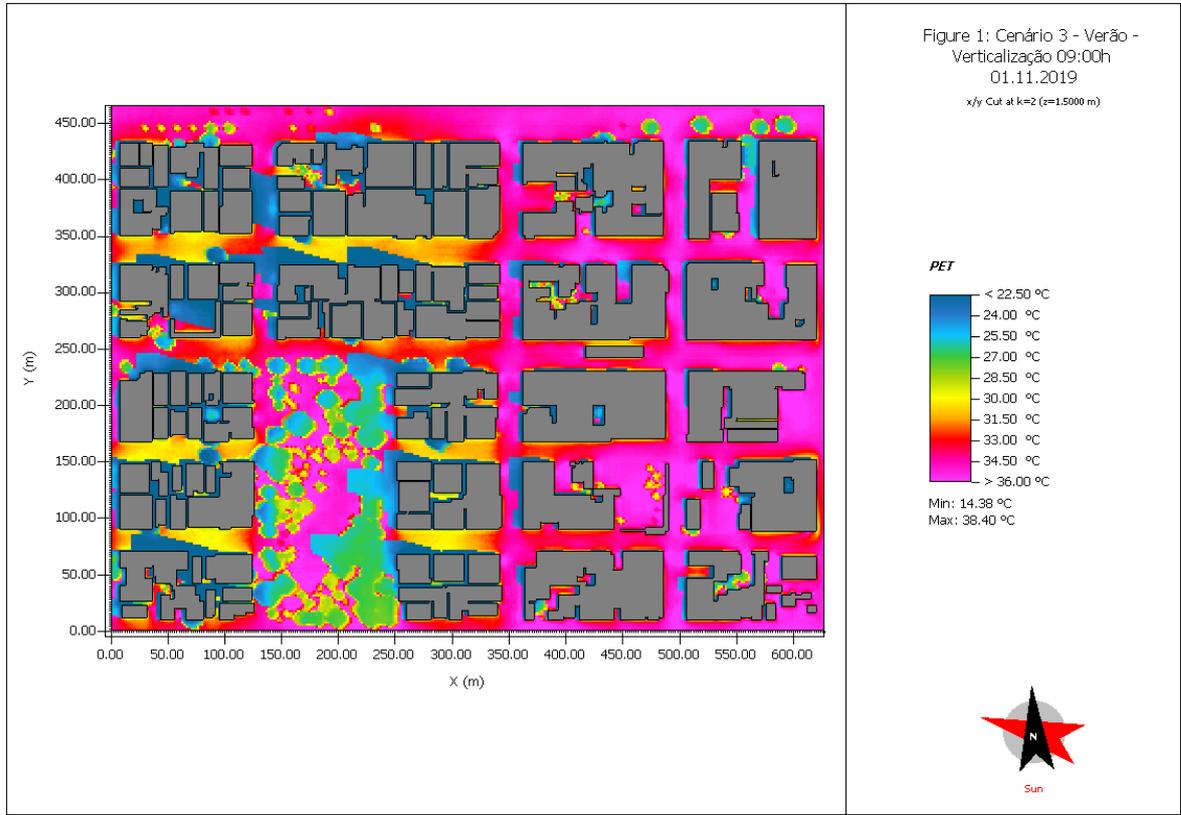
Nessas simulações de conforto térmico é possível concluir que o ambiente real (Cenário 1) têm deficiência de espaços agradáveis que proporcione um passeio pelo Centro Comercial durante o dia, não havendo atratividade de se frequentar. É possível notar pela simulação que a vegetação arbórea (Cenário 4) seria a melhor opção de se implementar criando corredores caminháveis ao longo de todo o ano.

Figura 95 – Índice PET às 9:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 1 (ambiente real) e (b) Cenário 2 (vegetação arbórea, telhado verde e jardins verticais).



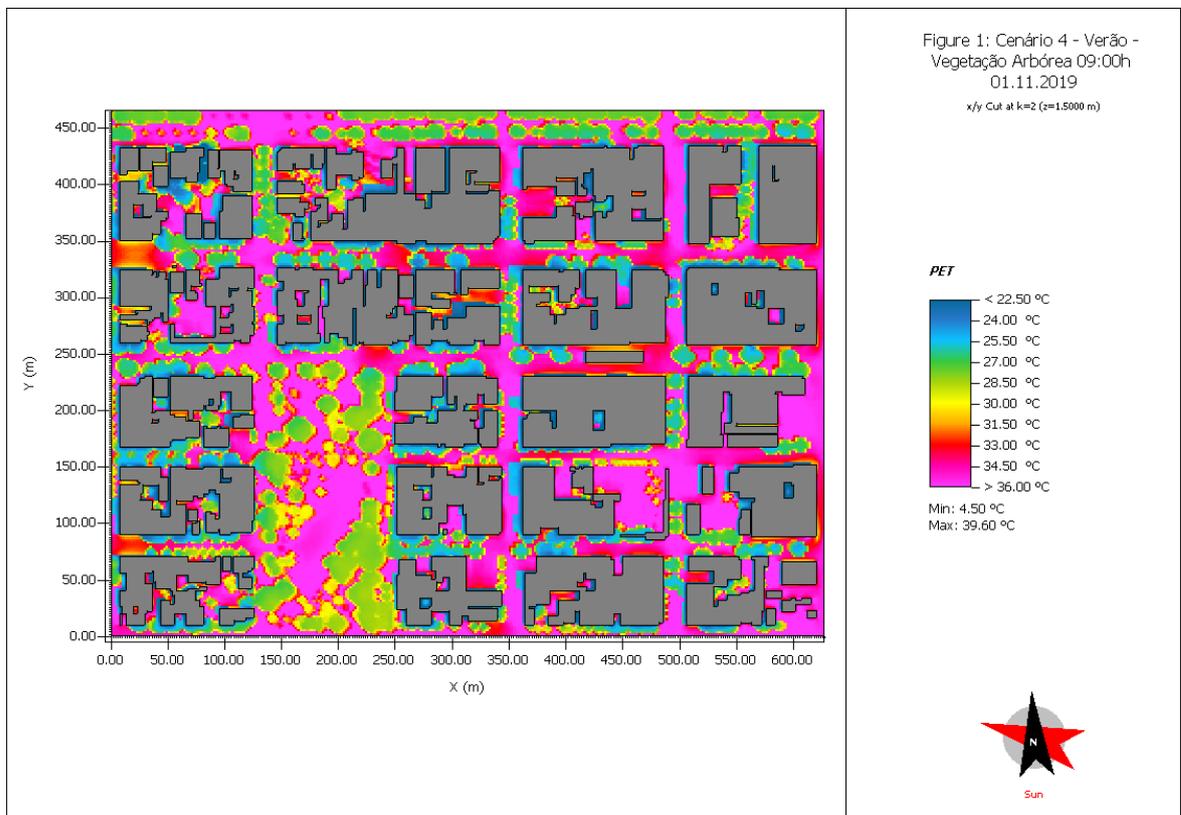
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 96 – Índice PET às 9:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 3 (verticalização) e (b) Cenário 4 (vegetação arbórea).



ENVI_met V4.4.5

<Right foot>

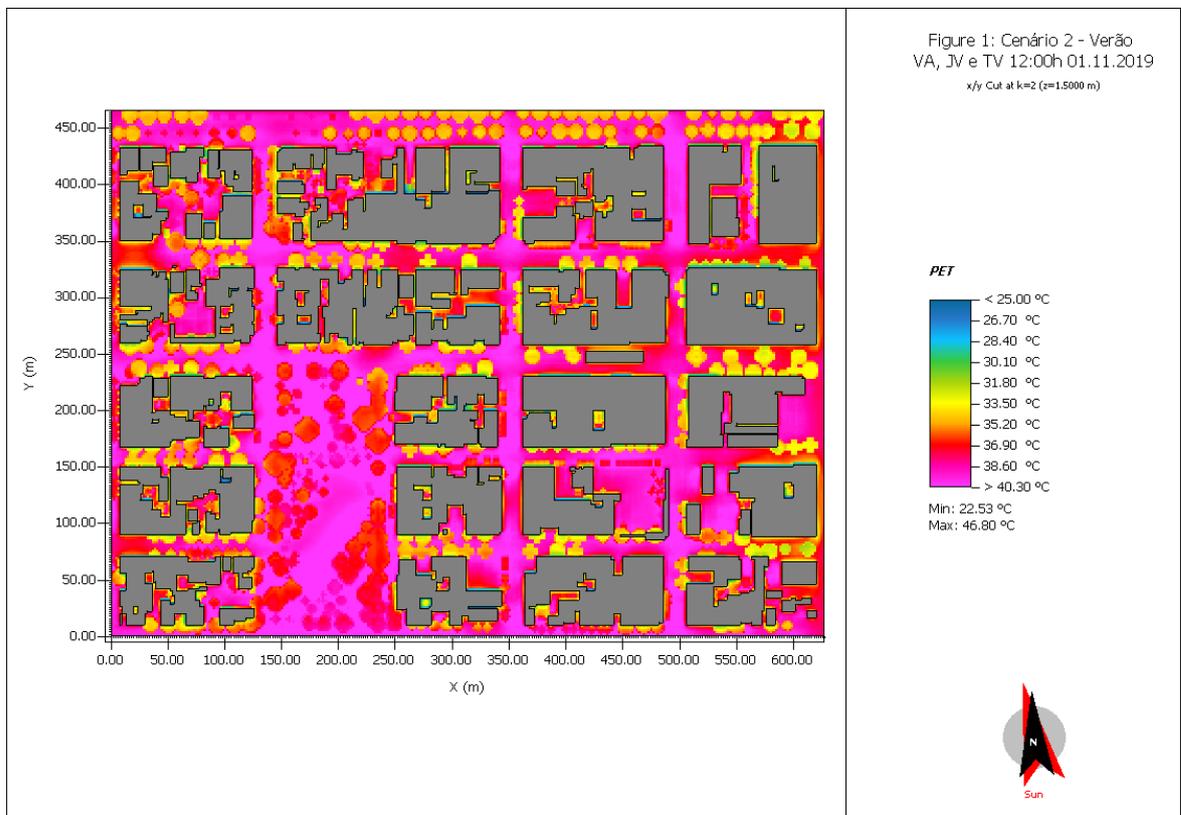
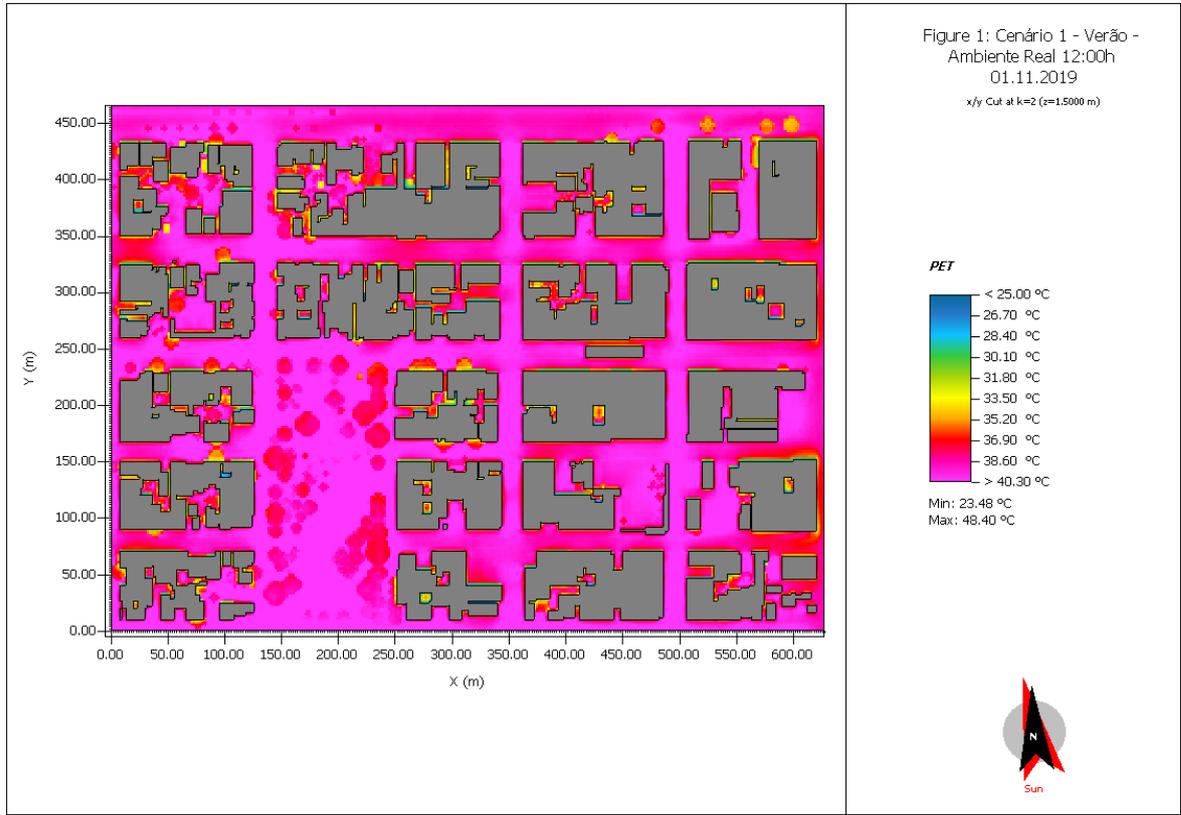


ENVI_met

<Right foot>

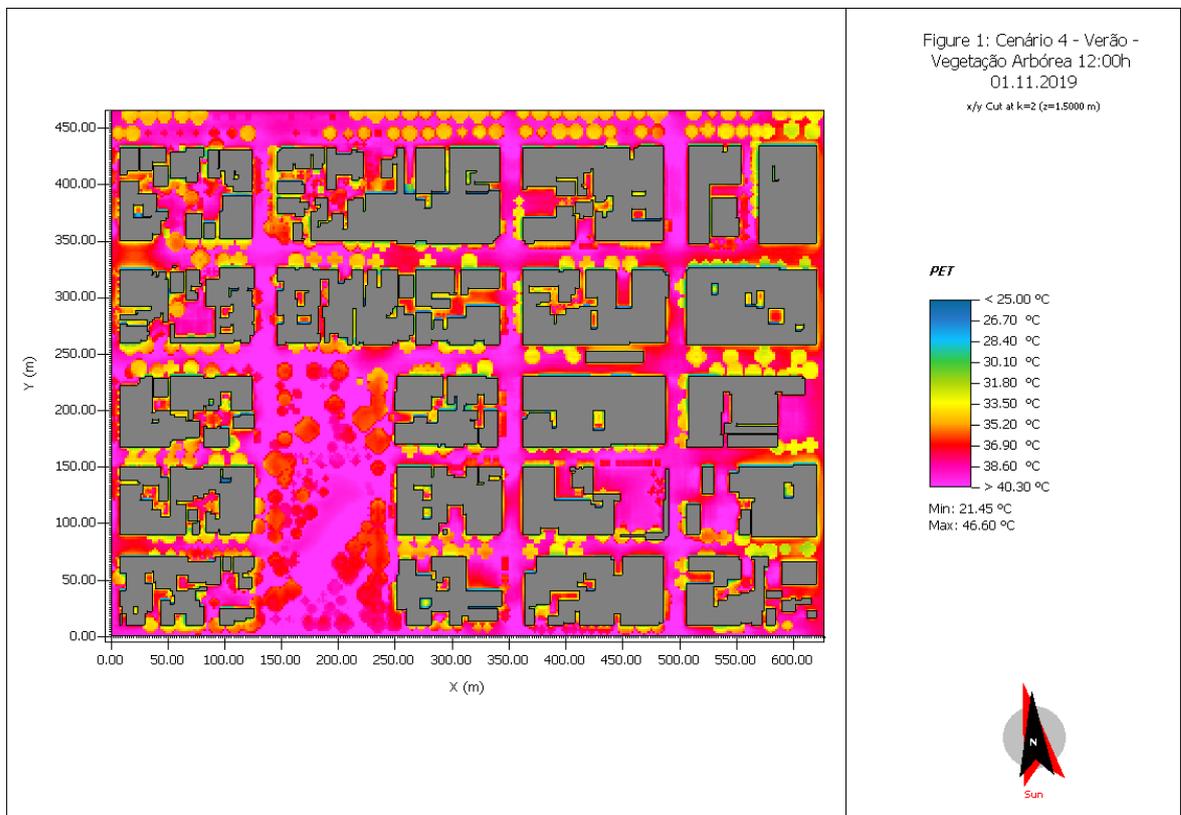
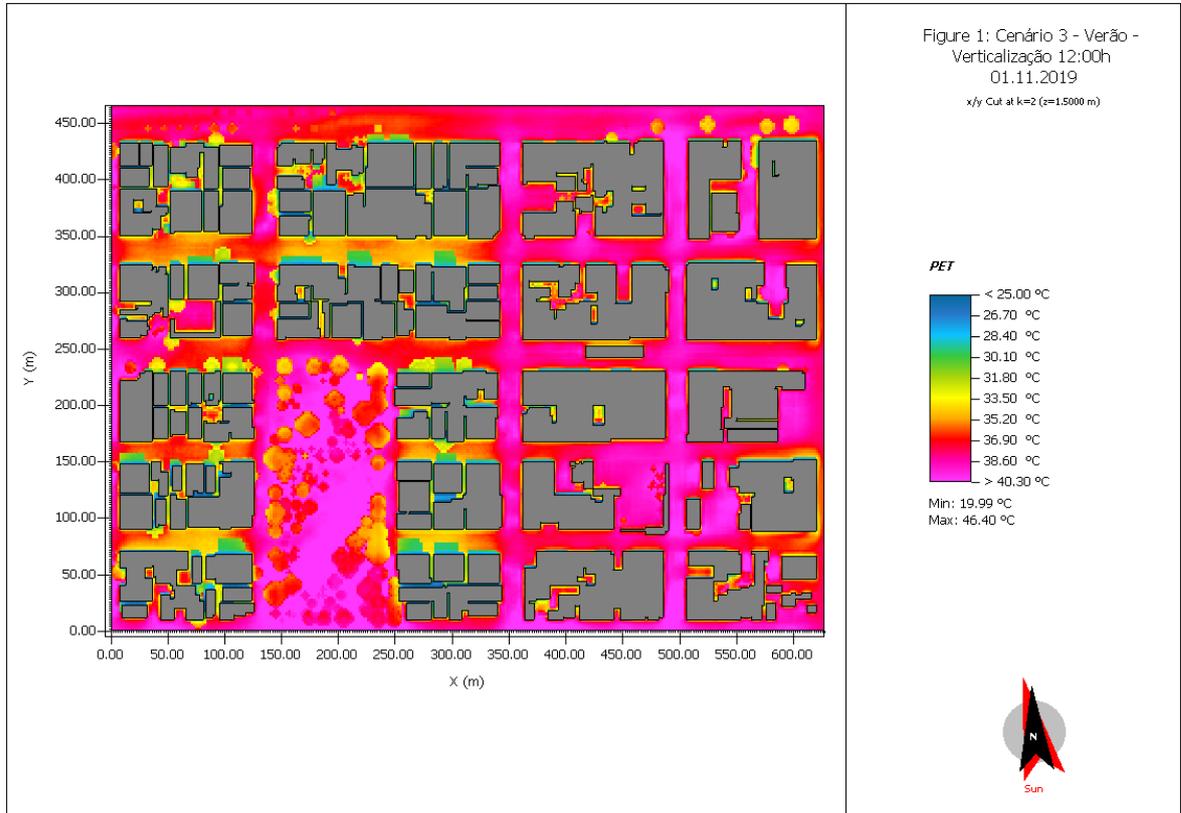
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 97 – Índice PET às 12:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 1 (ambiente real) e (b) Cenário 2 (vegetação arbórea, telhado verde e jardins verticais).



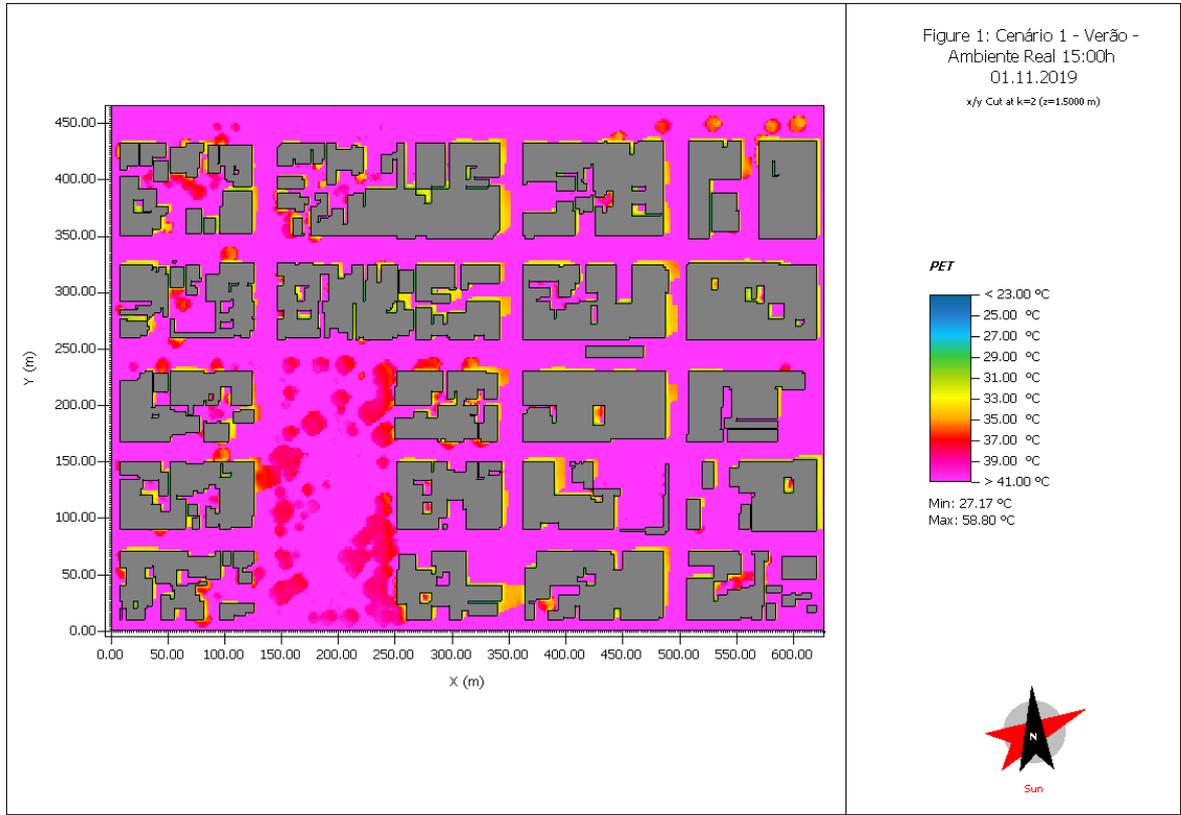
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 98 – Índice PET às 12:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 3 (verticalização) e (b) Cenário 4 (vegetação arbórea).



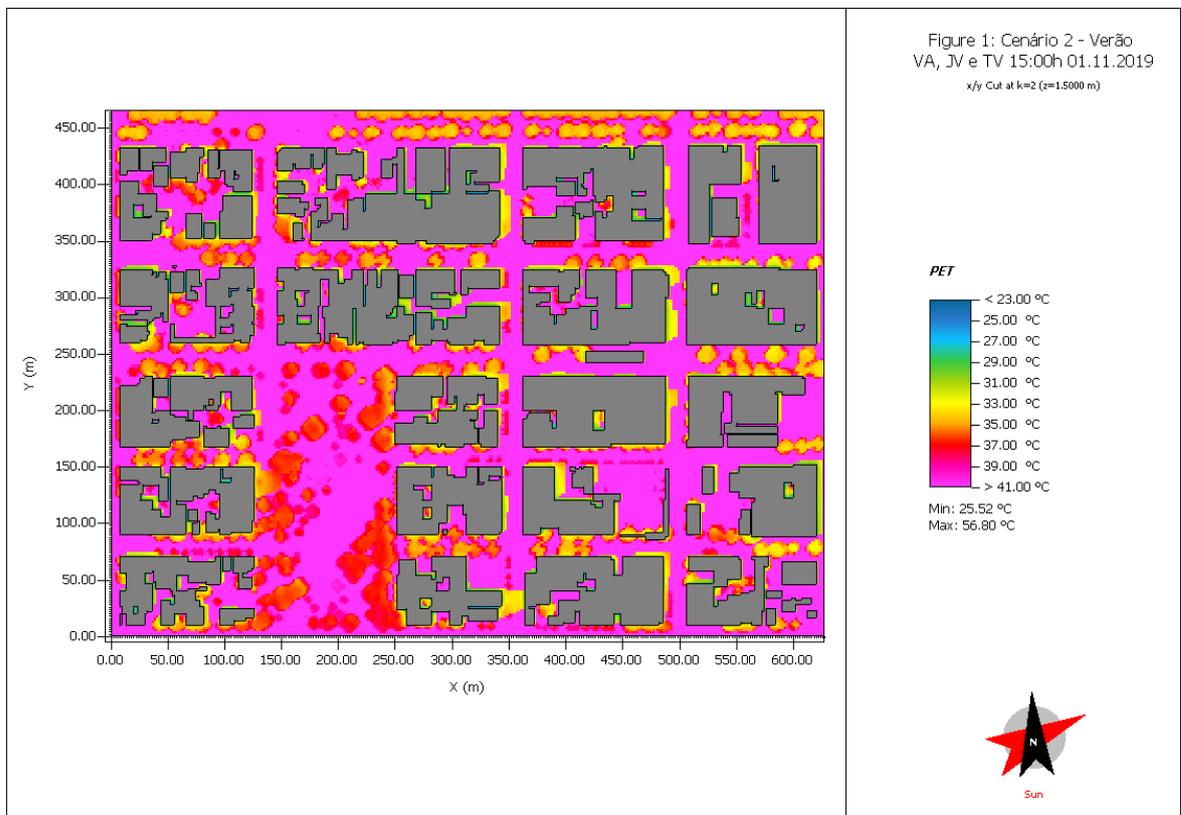
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 99 – Índice PET às 15:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 1 (ambiente real) e (b) Cenário 2 (vegetação arbórea, telhado verde e jardins verticais).



ENVI_met

<Right foot>

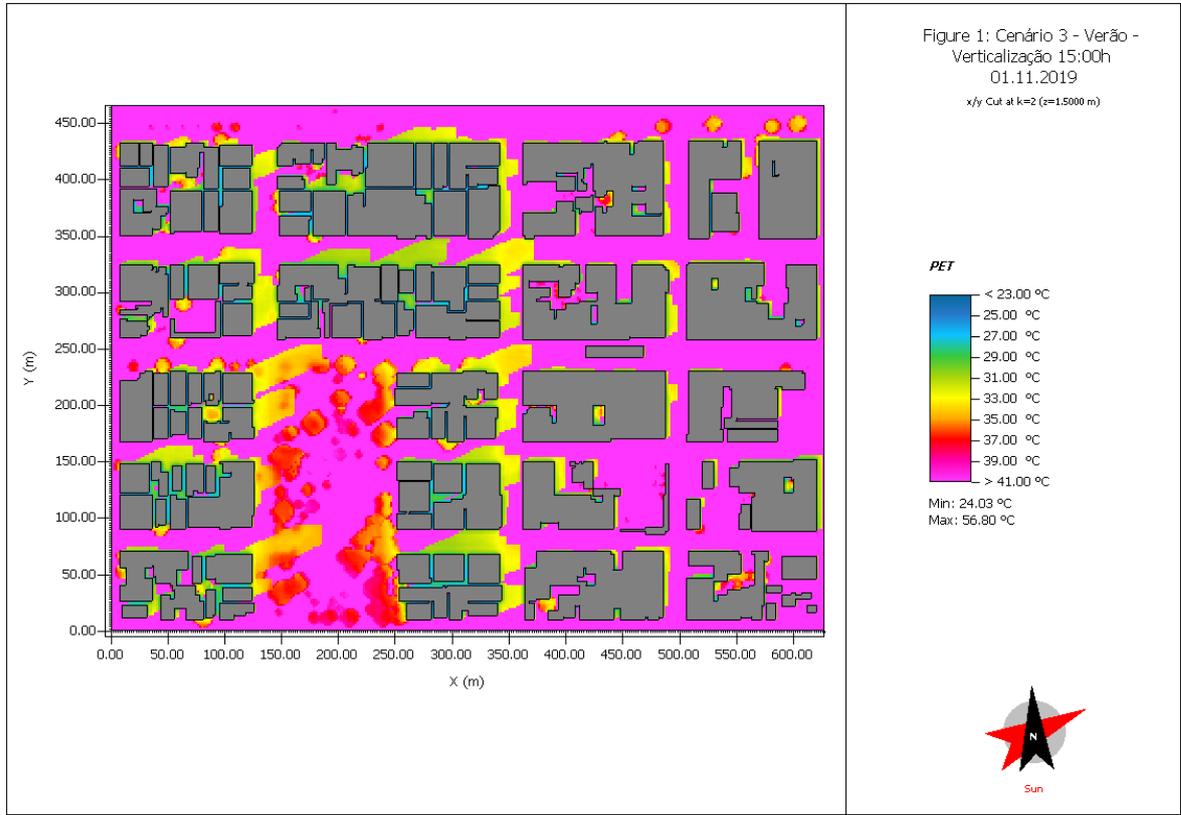


ENVI_met

<Right foot>

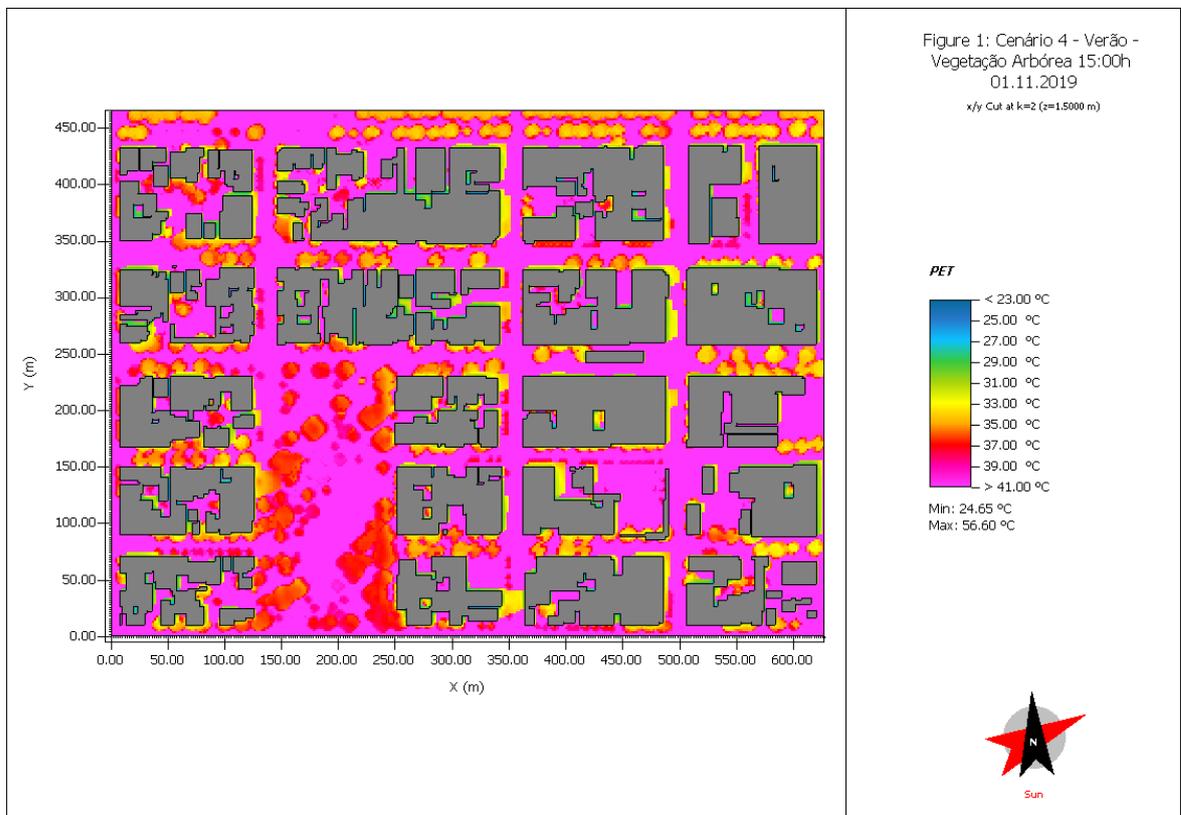
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 100 – Índice PET às 15:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 3 (verticalização) e (b) Cenário 4 (vegetação arbórea).



ENVI_met V4.4.5

<Right foot>

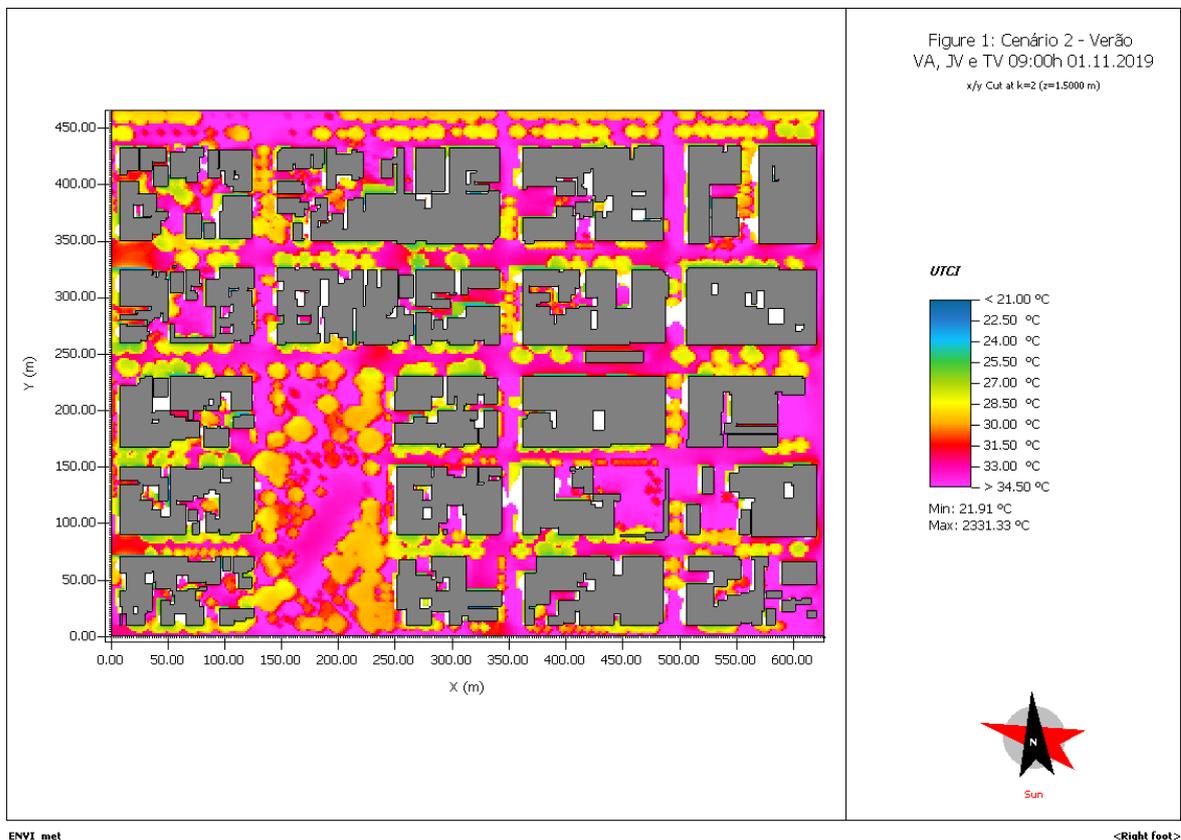
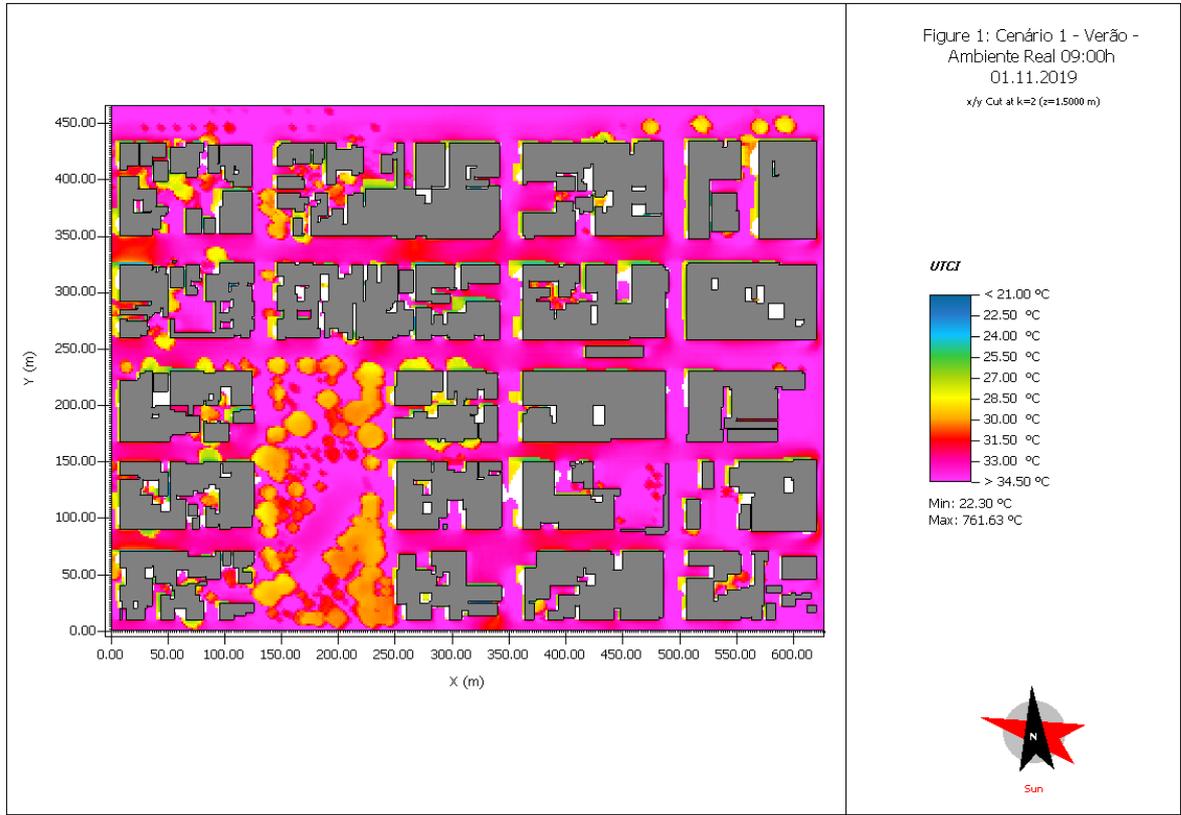


ENVI_met

<Right foot>

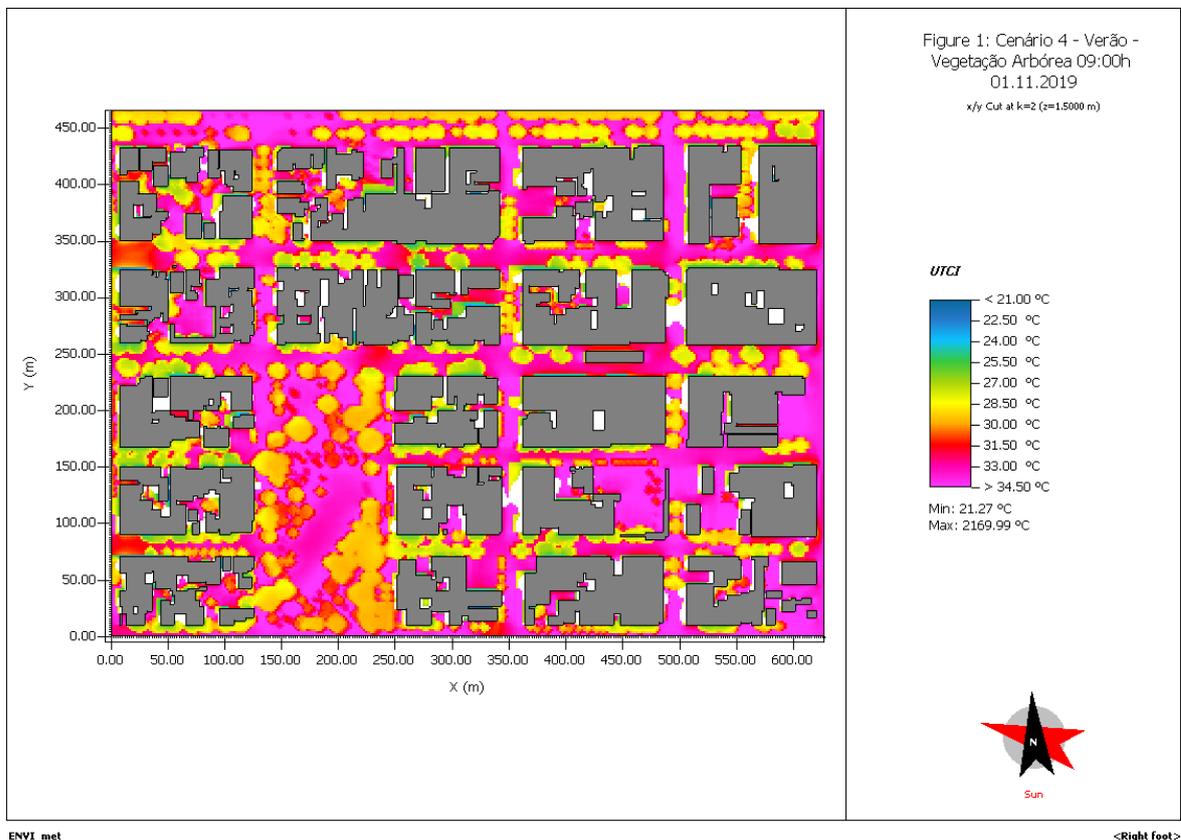
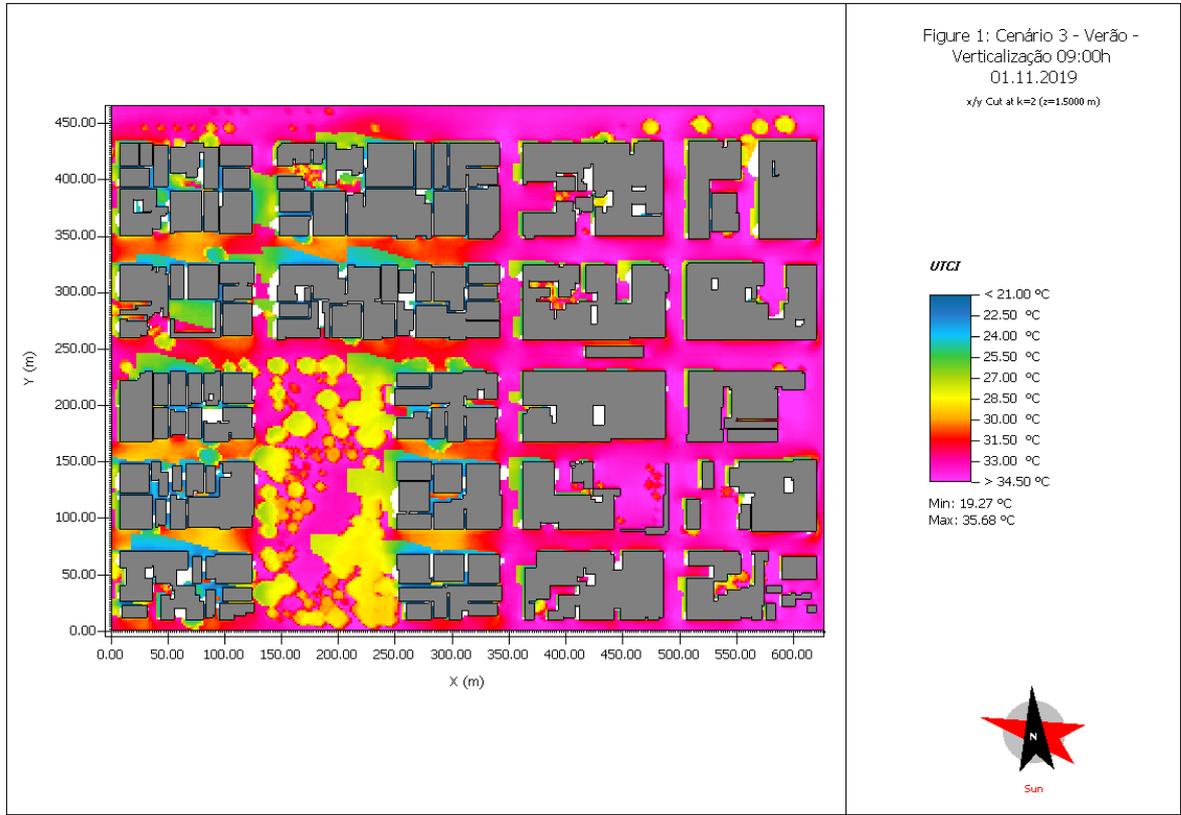
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 101 – Índice UTCI às 9:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 1 (ambiente real) e (b) Cenário 2 (vegetação arbórea, telhado verde e jardins verticais).



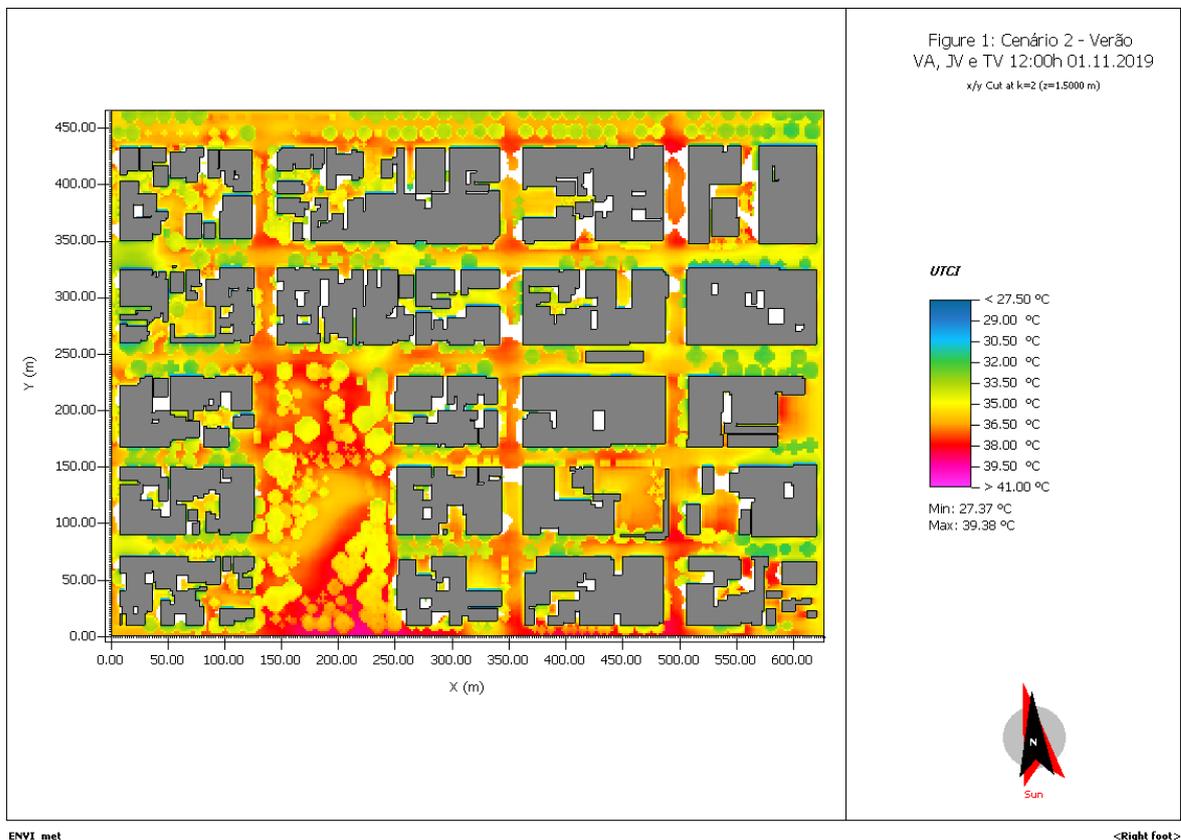
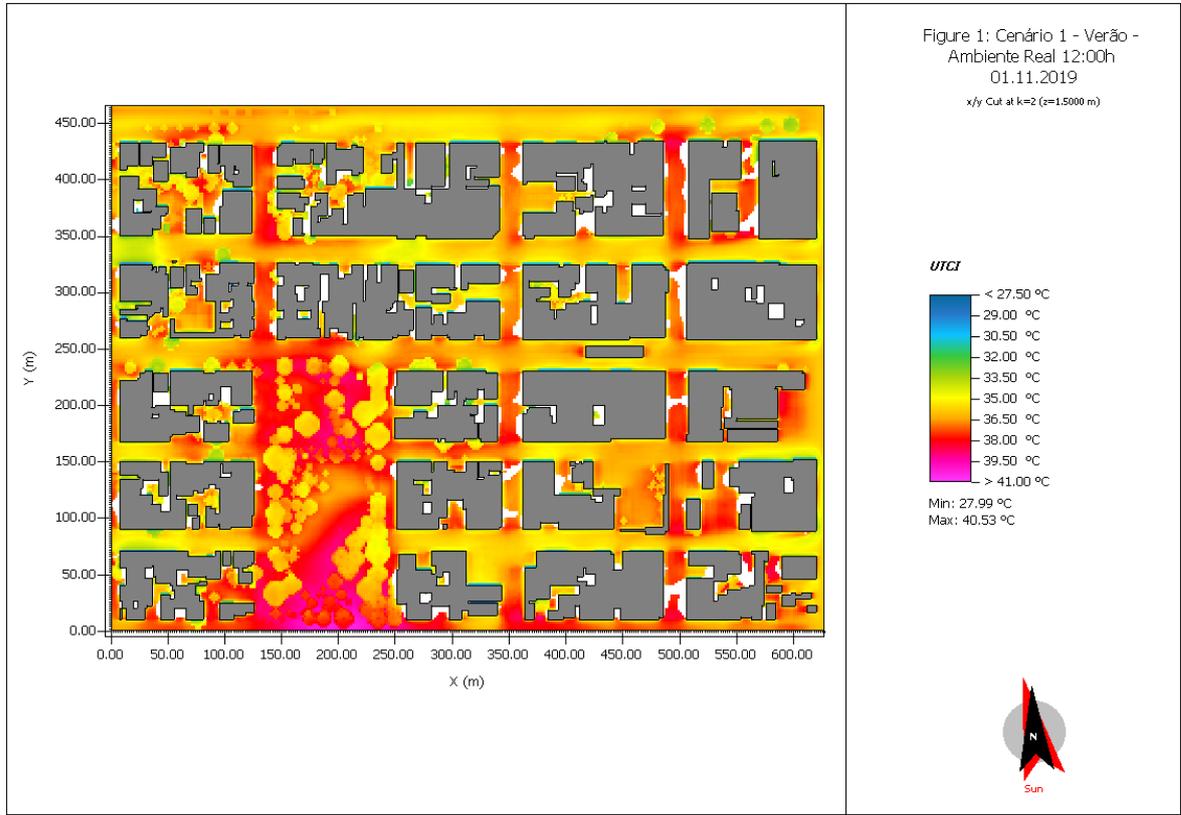
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 102 – Índice UTCI às 9:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 3 (verticalização) e (b) Cenário 4 (vegetação arbórea).



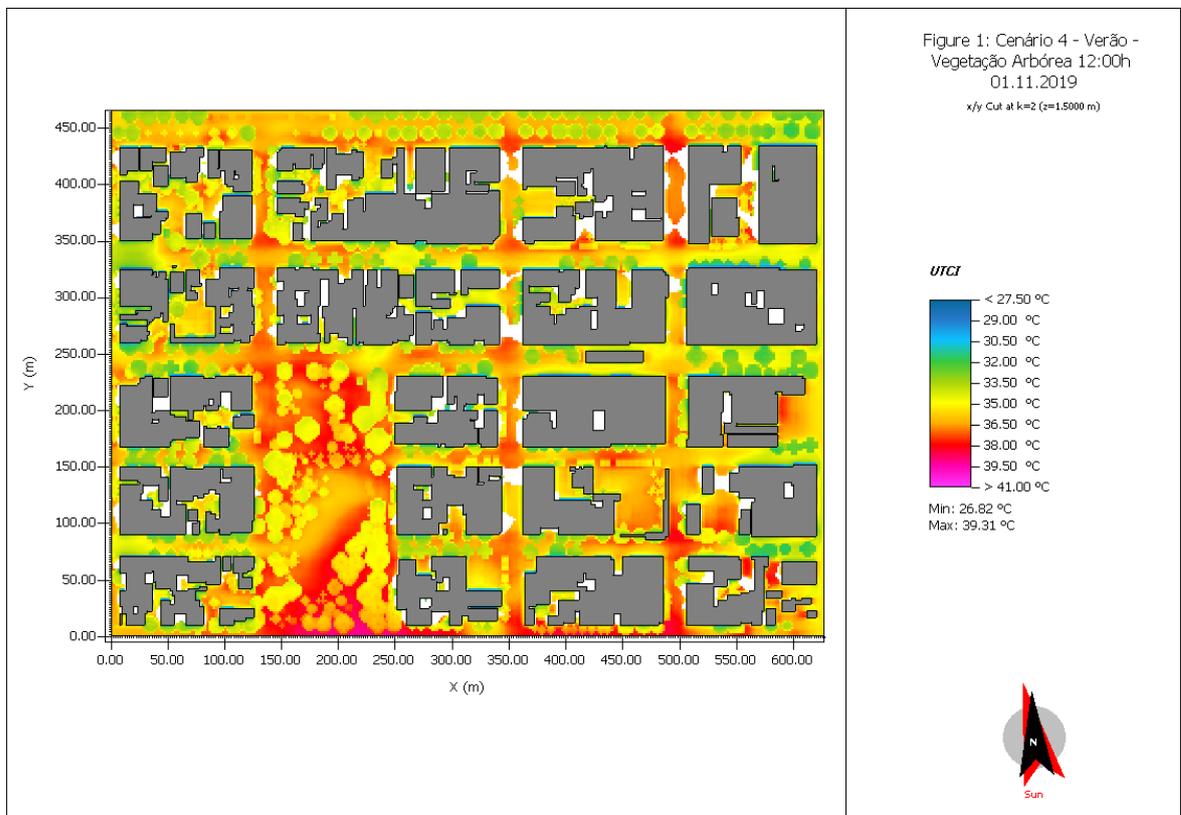
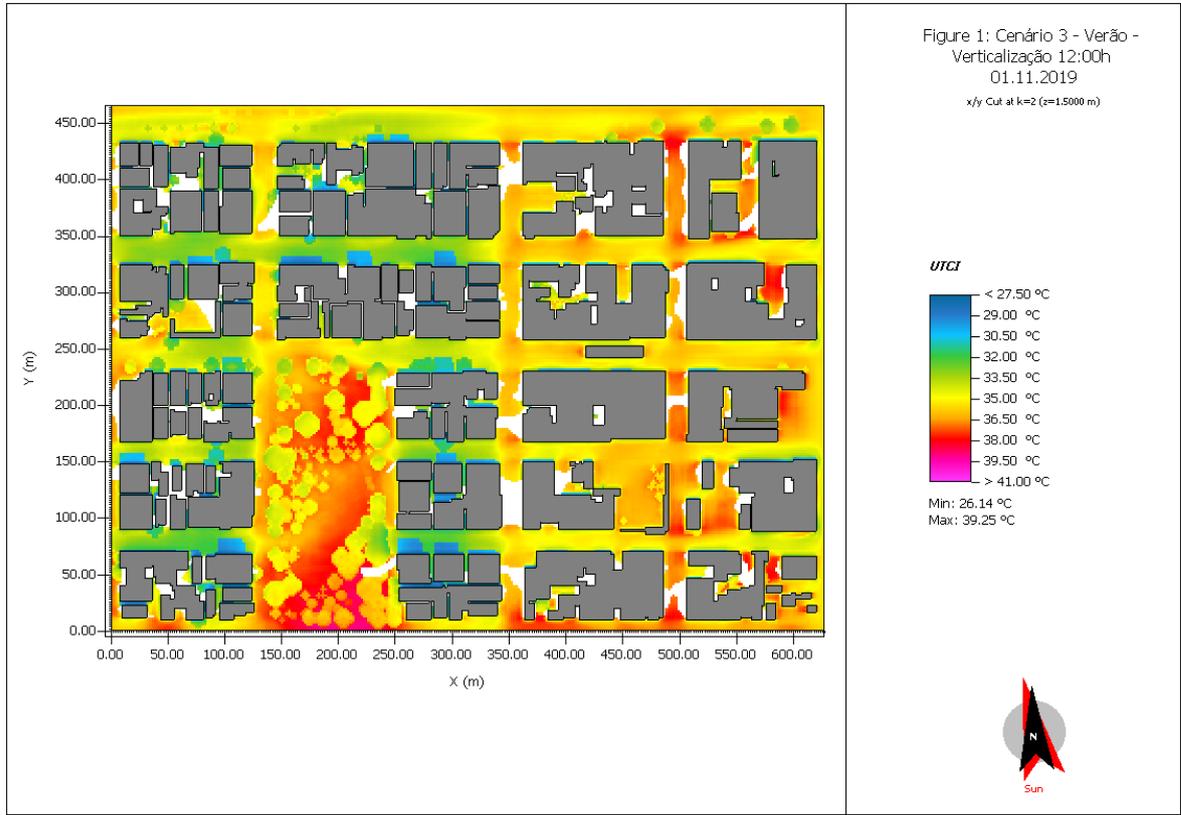
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 103 – Índice UTCI às 12:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 1 (ambiente real) e (b) Cenário 2 (vegetação arbórea, telhado verde e jardins verticais).



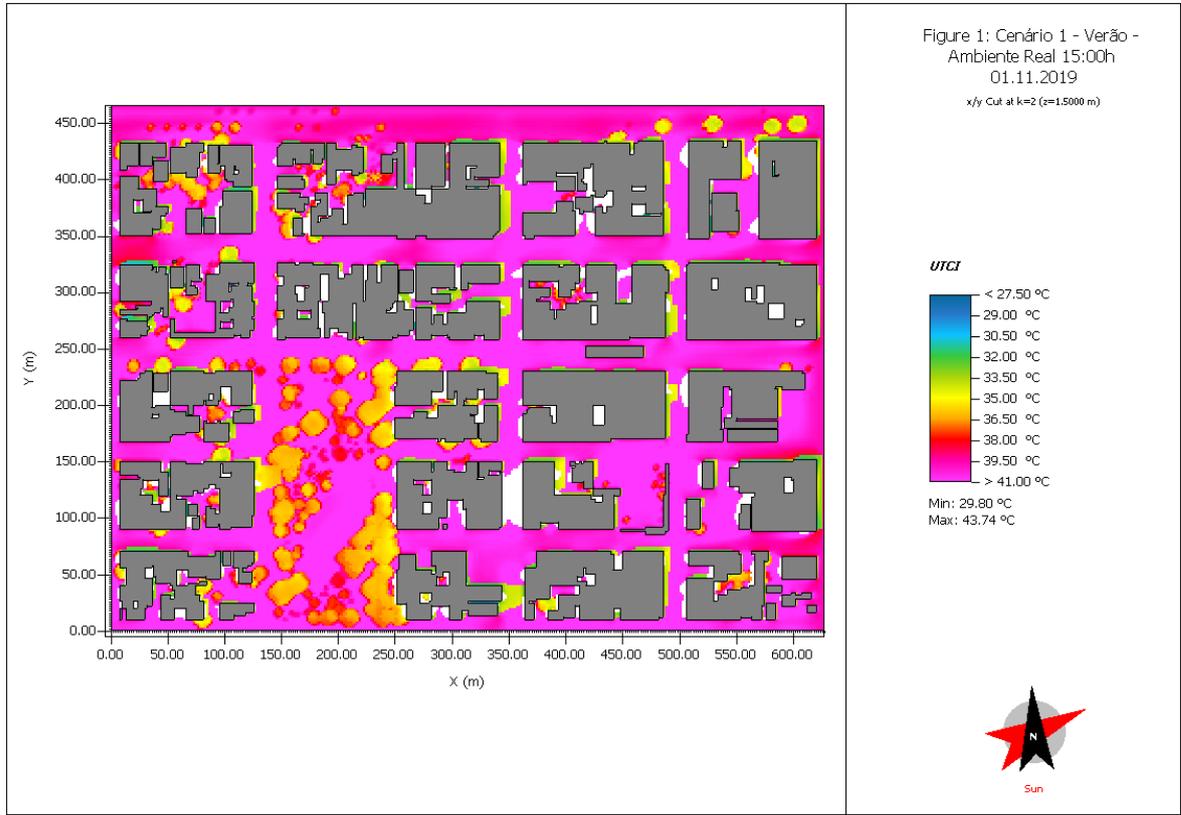
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 104 – Índice UTCI às 12:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 3 (verticalização) e (b) Cenário 4 (vegetação arbórea).



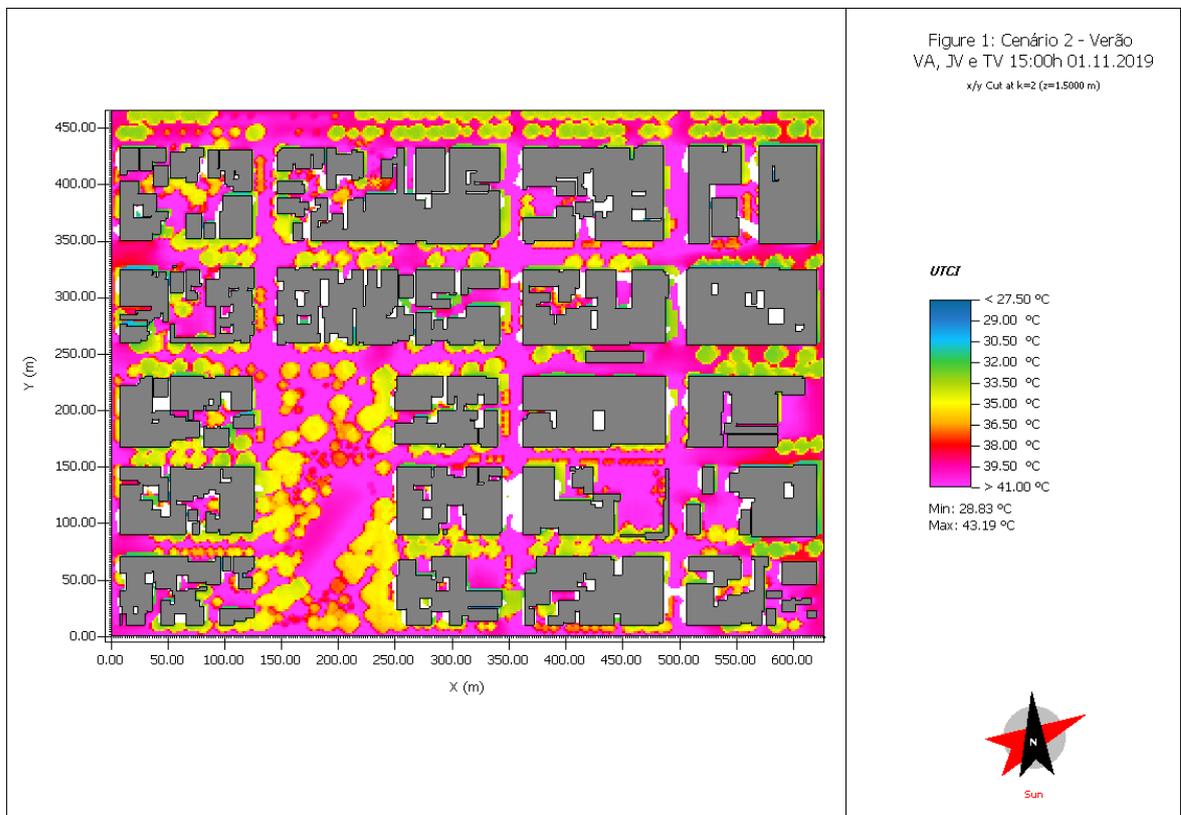
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 105 – Índice UTCI às 15:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 1 (ambiente real) e (b) Cenário 2 (vegetação arbórea, telhado verde e jardins verticais).



ENVI_met

<Right foot>



ENVI_met

<Right foot>

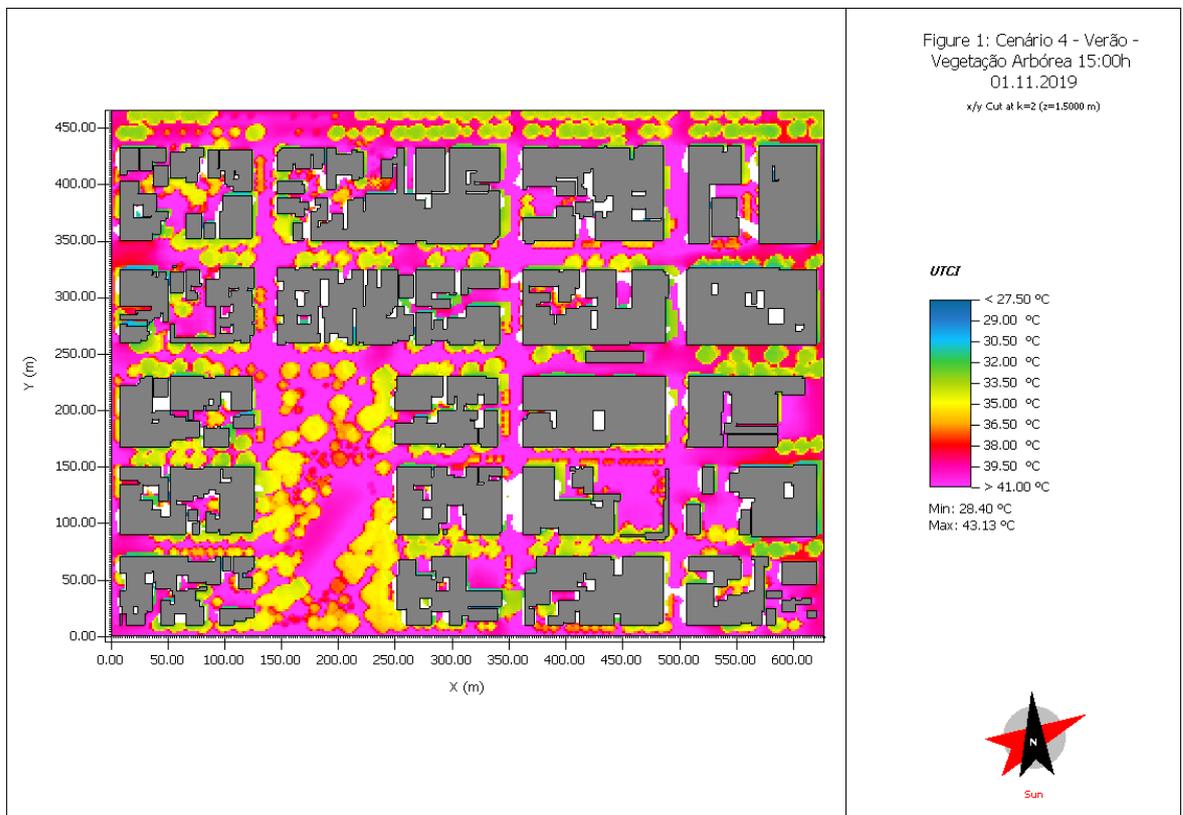
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 106 – Índice UTCI às 15:00h do dia 01/11/2019. (a) Cenário 3 (verticalização) e (b) Cenário 4 (vegetação arbórea).



ENVI_met V4.4.5

<Right foot>



ENVI_met

<Right foot>

Fonte: Elaborado pelo autor.

A vantagem de se utilizar a simulação após a validação do modelo, é poder visualizar de forma macro os pontos que necessitam de maior atenção. Na medição havia o conhecimento que o ponto P3 (banco) apresentava as maiores temperaturas do ar, na simulação que as vias Leste-Oeste se encontram nas mesmas condições. Apesar de não haver precisão na simulação, assim como quando utilizamos a termografia, a simulação nos fornece o panorama do ambiente.

4.4 RESULTADOS DOS QUESTIONÁRIOS

As entrevistas com o questionário estruturado (APÊNDICE D) ocorreram no entorno do ponto P3 em dois períodos distintos, entretanto, com equipamentos distintos. O primeiro período de 04 a 18/05/2019 (inverno amazônico) com equipamentos que apresentavam uma precisão $\pm 1,0^{\circ}\text{C}$ e um segundo período de 26/10 a 13/11/2019 (verão amazônico) com equipamentos que apresentavam precisão de $0,2^{\circ}\text{C}$, sendo a estação meteorológica Davis Vantage Vue responsável por medir a temperatura do ar, umidade, velocidade e direção do vento, e o medidor de estresse térmico PROTEMP 4 que possui o termômetro de globo de 6" que permite medir a temperatura média radiante (certificado de calibração no APÊNDICE E).

O local definido se encontra na Figura 107 por possuir um espaço aberto sem sombreamento, tendo em vista que o usuário deve estar trafegando pela rua no mínimo a 15 minutos. O entorno do banco apresentava um fluxo acentuado de pessoas durante o dia, facilitando em termos a entrevista, pois pelo fato de ter que realizar exposto ao Sol, havia dificuldade em obter respostas, tendo em vista o resultado das simulações de conforto térmico para área que indicam estresse térmico de forte a extremo.

Figura 107 – Entrevistas realizadas no entorno da Caixa Econômica Federal. (a) Imagem colorida e (b) imagem térmica.



(a)

(b)

Fonte: Acervo pessoal.

Na Figura 108 é possível observar as entrevistas em curso com o registro das variáveis climáticas locais e em determinados horários a temperatura de superfície do asfalto, concreto e gramado.

Figura 108 – Estação Davis Vantage Vue e Medidos de Estresse Térmico PROTEMP 4 instalados no ponto P3 para as entrevistas. (a) Entrevista em curso e (b) Registrando valores.



Fonte: Acervo pessoal.

No verão houve a coleta de 133 entrevistas válidas, tendo dificuldade em realizar ao Sol, juntamente com o registro do datalogger do PROTEMP 4 a 1,5m e do Hobo MX2301 que se encontrava próximo a 2,8m. Apesar da obtenção dos dados, até o momento não houve a possibilidade de processá-los no software RayMan para apresentar nesta tese, sendo previsto elaborações de artigos a fim de comparar com as simulações e publicá-los.

4.5 CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Nos empreendimentos comerciais o consumo de energia elétrica é empregado, na média, de 50% na climatização. Sabendo da relação do aumento de consumo nos períodos quente ou verão amazônico, buscou-se realizar medições nas saídas dos transformadores (baixa tensão) durante o período de medição da temperatura do ar no meio externo e interno.

Por se tratar de medições no transformador de 13,8kV para 220/127V, se contou com apoio da equipe técnica da CEA utilizando o analisador de energia trifásico IMS PowerNET PQ-600 G4 com um período de integralização de 5 minutos. Na loja Monte as medições iniciaram às 10:40h do dia 21/10/2019 e registraram até às 22:35h do dia 24/10/2019. Na Figura 109 constam imagens da instalação do equipamento na loja Monte, onde o analisador ficou instalado nos terminais de saída do transformador, ou seja, na entrada da alimentação da loja.

Figura 109 – Instalação do analisador de energia elétrica IMS pela equipe da CEA na Loja Monte & Cia. (a) Técnico instalando o equipamento e (b) Instalação finalizada.



(a)

(b)

Fonte: Acervo pessoal.

Na loja Estação Beleza as medições ocorreram das 11:15h do dia 21/10/2019 às 14:35h do dia 01/11/2019, havendo o registro da carga elétrica no dia com a maior temperatura do ano. Na Figura 110 é possível acompanhar a instalação do segundo analisador.

Figura 110 – Instalação do analisador de energia elétrica IMS pela equipe da CEA na Loja Estação Beleza. (a) Técnico instalando o equipamento e (b) Técnico finalizando a instalação.



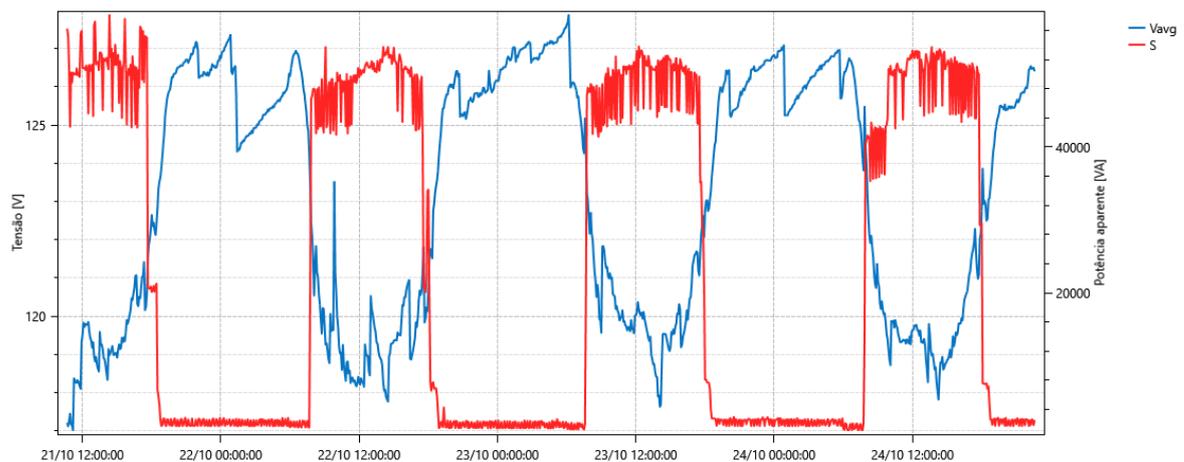
(a)

(b)

Fonte: Acervo pessoal.

O analisador de energia é capaz de registrar informações referentes a corrente, tensão, consumo, potência e distúrbios diversos que possam ocorrer na rede elétrica, emitindo no final um relatório com os principais eventos. Nessa tese o objetivo era apenas analisar o perfil do consumo total do empreendimento comercial por meio da potência aparente (S) integralizada a cada 5 minutos em comparação ao perfil de tensão média. Na Figura 111 é possível observar seu perfil de consumo para os 4 dias de medição.

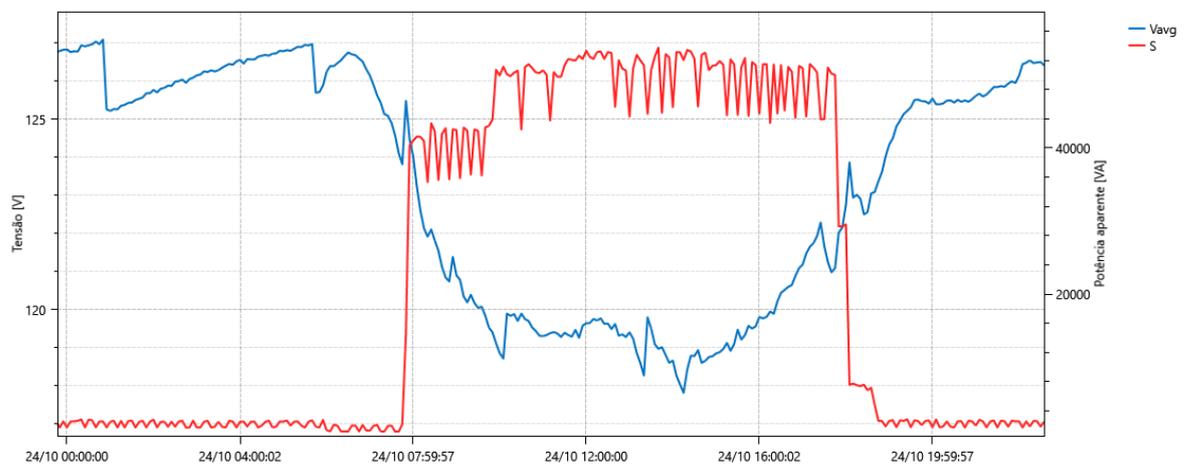
Figura 111 – Potência aparente e tensão média da Loja Monte & Cia no período do dia 21/10 a 24/10/2019.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na loja Monte seu pico de consumo foi de 58,12kVA às 14:20h do dia 21/10/2019, nesse momento a EMA registrava 32,9°C e o Hobo mais próximo era o P3 que registrava 32,8°C às 14:20h. Não havia grandes variações térmicas. Sua média de potência demandada entre às 7:00h e às 19:00h no período analisado foi de 49,29kVA. Na Figura 112 é possível observar o perfil de consumo durante o dia.

Figura 112 – Potência aparente e tensão média da Loja Monte & Cia no 24/10/2019.

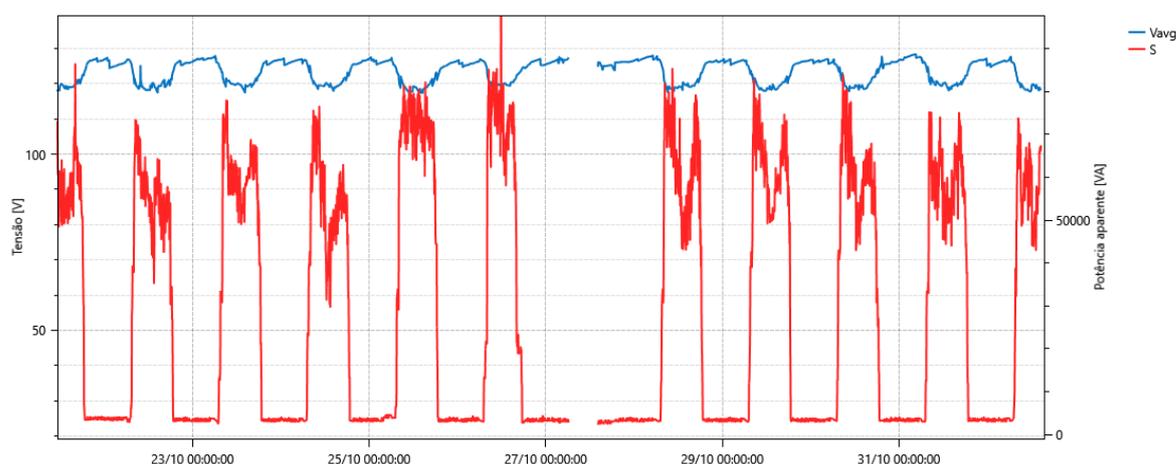


Fonte: Elaborado pelo autor.

O perfil característico de consumo da loja Monte inicia em um patamar relativamente baixo para seu porte e no turno da tarde se eleva com a entrada de outras centrais de ar condicionado para compensar o ligeiro aumento de temperatura, em que a temperatura interna da loja se mantém abaixo dos 27,5°C.

Na Figura 113 é possível observar o perfil de consumo para os 12 dias de medições na loja Estação Beleza, permitindo identificar seu perfil característico de consumo sendo elevado pela manhã e reduzindo por volta das 12:00h. Pelas medições de temperatura interna, há o registro de temperaturas elevadas pela manhã, ultrapassando os 29°C no segundo piso por volta das 8:00h. Para retirar essa massa de ar quente e manter a temperatura abaixo dos 27°C a loja requer acionar sua capacidade máxima de refrigeração.

Figura 113 – Potência aparente e tensão média da Loja Estação Beleza no período do dia 21/10 a 01/11/2019.

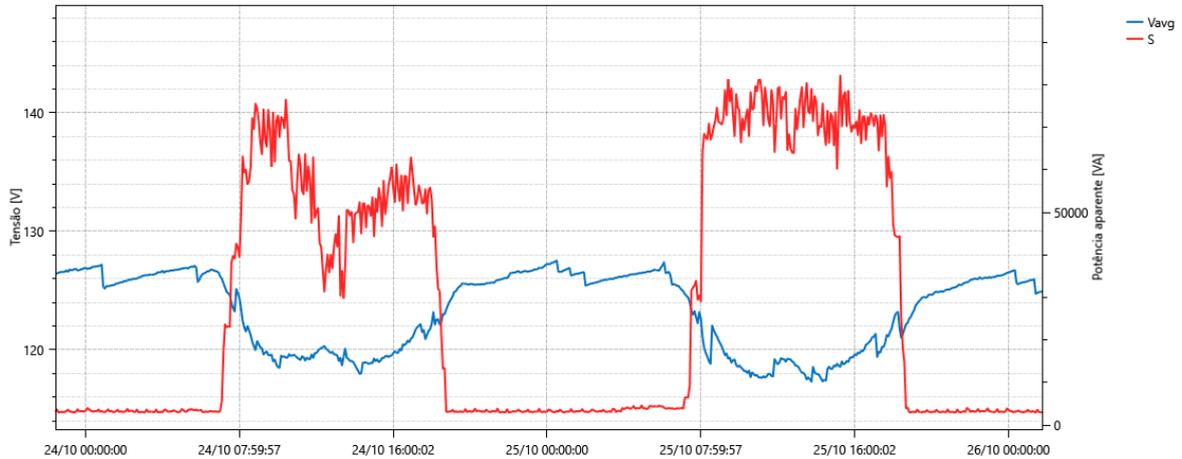


Fonte: Elaborado pelo autor.

Na loja Estação Beleza o pico de consumo foi de 97,81kVA no dia 26/10/2019 às 11:50h, nesse período a EMA estava registrando 32,2°C às 12:00h e o Hobo no P3 registrava 32,6°C às 11:50h. A média de potência aparente demanda nos dias de funcionamento das 7:00 às 19:00 foi de 54,49kVA.

Na Figura 114 é possível observar o consumo do dia 24 e 25/10, sendo o último o dia mais quente registrado em 2019. Nele é possível notar que o perfil de consumo sofreu uma elevação, ficando com uma média de 63,4kVA das 7:00h às 19:00h.

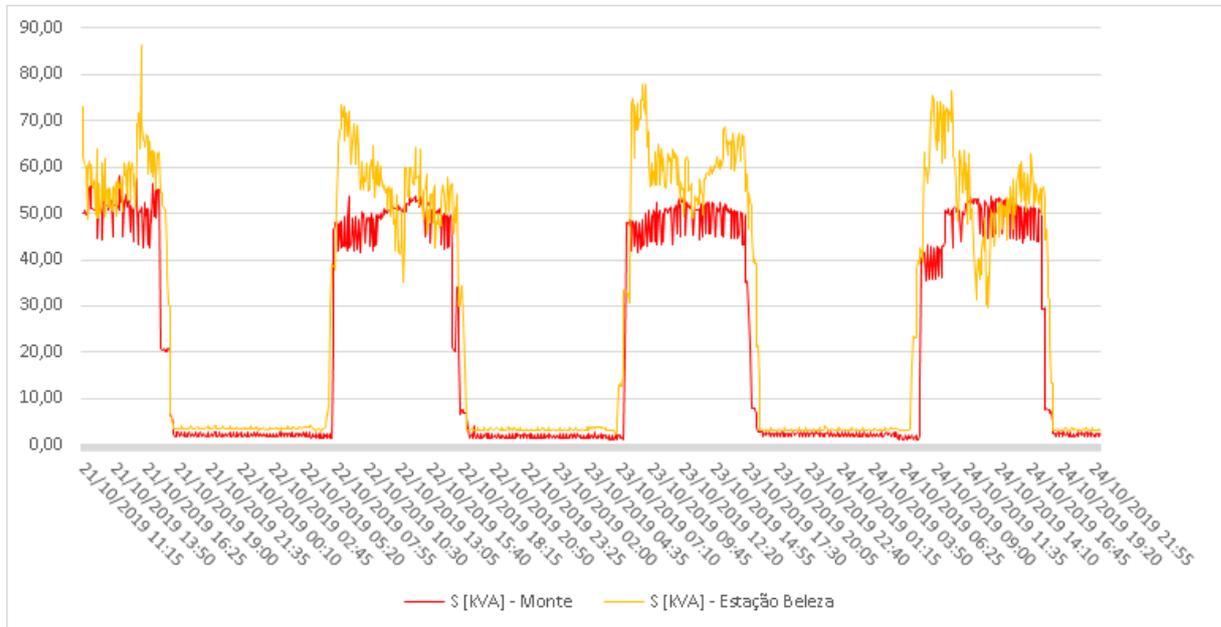
Figura 114 – Potência aparente e tensão média da Loja Estação Beleza nos dias 24 e 25/10/2019.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 115 é apresentado uma comparação da carga elétrica das lojas Monte e Estação Beleza entre os dias 21 e 24/10/2019. É possível notar que a média da carga elétrica da Estação Beleza (cor laranja) permanece ao longo do dia acima da média da carga elétrica da Monte (cor vermelha). Avaliando a carga elétrica média consumida das 8:00 às 18:00 dos dias 21 a 24/10/2019 se obteve uma média de 48,03kVA na Monte e 57,38kVA na Estação Beleza.

Figura 115 – Comparação entre as potências aparentes das lojas Monte e Estação Beleza nos dias 21 a 24/10/2019.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Apesar do conhecimento da relação das fachadas de vidros que permitem a entrada da radiação solar nos ambientes comerciais, e conseqüentemente, elevação do consumo de energia

elétrica, nesses dois empreendimentos comerciais a comparação necessita de aprofundamento com a verificação da carga elétrica total instalada e utilizada na climatização, além da área climatizada. A comparação se manteve de modo rudimentar por haver o conhecimento que o lote da Monte é de 566,7m² e da Estação Beleza de 500,4m², ambas com 3 pisos climatizados voltadas ao atendimento aos clientes.

Com a medição do consumo de energia elétrica é possível avaliar seu comportamento por meio da temperatura do ar interna e externa. Fato confirmado no dia 25/10/2019 em que o consumo foi o mais elevado para compensar o acúmulo de energia térmica recebida. Nesse contexto que se busca alternativas para o conforto térmico externo que possa vir a contribuir com a redução da carga elétrica na rede de distribuição.

CAPÍTULO 5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

A validação dos abrigos meteorológicos abriu caminho para outros ensaios, mantendo a confiabilidade das medições com um desvio padrão máximo de $0,12^{\circ}\text{C}$ e desvio médio de $0,09^{\circ}\text{C}$ entre os equipamentos (abrigos e Davis), proporcionando uma versatilidade na pesquisa, tendo em vista que os sensores termo-higrômetros são comercializados separados de seus abrigos específicos. Há a necessidade de avaliar outras formas utilizando o mesmo material, no caso o EPS, e avaliar seu comportamento em período superior a 6 meses e verificar se a radiação solar ultravioleta venha a alterar a propriedade térmica do material que possa comprometer sua precisão.

Outra proposta levantada neste tópico foi a possibilidade de utilizar a impressão 3D, que apresenta a mesma versatilidade na construção dos abrigos meteorológicos com a disponibilidade de modelos com as mesmas dimensões e empregando até os mesmos materiais que os comercializados pelos fornecedores dos sensores. Além da possibilidade de introduzirmos outros tipos de abrigos. Pode ser uma vantagem a impressão 3D que precisa ser analisada à frente.

Nas medições externas houve a possibilidade de conhecer a dinâmica do recorte espacial utilizado da tese, que comparando a trabalhos similares, Vasconcelos (2014) e Vasconcelos e Souza (2018), era esperado que na área vegetada houvesse as menores temperaturas, entretanto, desconhecendo seus picos e diferenças entre os pontos avaliados. Em um estudo preliminar havia se deparado com variações superiores a 3°C , surgindo a necessidade de utilizar equipamentos com uma precisão dentro do recomendado pelas normas internacionais. Desta forma se identificou que a maior diferença entre os pontos ocorria entre o P3 (banco) que recebi os primeiros raios solares em um espaço envolvido por concreto e asfalto, contrapondo ao P4 (supermercado) que possui a sua frente um pequeno edifício de 4 pavimentos, protegendo dos primeiros raios solares e amenizando a temperatura do ar. No entanto, no início da manhã o P4 seguia comportamento similar ao P1 (Praça).

Posteriormente pretende-se introduzir, paralelo aos termo-higrômetros, sensores de velocidade, e se possível, direção do vento para comparar as simulações computacionais. Apesar da simulação não levar em conta a movimentação do ar devido aos veículos pesados, na sua maioria ônibus, que circulam pelo centro da cidade. Mas permitirá verificar suas

amplitudes para o mesmo instante de tempo e comparar a EMA, buscando encontrar correlações.

Nas medições internas foi possível comparar empreendimentos com projetos arquitetônicos similares e localizados na mesma rua, havendo a escolha das lojas Monte e Estação Beleza por se tratar de modelos que visam diminuir o consumo de energia elétrica. Na Loja Monte & Cia adotou como característica principal em seu projeto arquitetônico atenuar a transferência de energia térmica para o interior da loja, em detrimento a perda de luz natural, por meio de estruturas montada sobre sua fachada Leste e Sul que servem para inserir sua logo marca e protegendo os pedestres da chuva ou Sol. Na Loja Estação Beleza seu projeto visou aproveitar ao máximo a luz natural com secções de vidro laminado nas fachadas Leste e Sul. Com base no estudo de Corbella e Yannas (2009) que comparou o shopping Fashion Mall com o aproveitamento de luz e ventilação natural ao shopping Rio Sul com aproveitamento da luz natural inferior e sem ventilação natural, ambos no Rio de Janeiro – RJ, chegou-se a conclusão que o Fashion Mall tinha um desempenho inferior no quesito de conforto e consumo de energia elétrica. Por ser um shopping com áreas abertas, em parte do ano acumulava energia térmica que provocava o desconforto aos seus clientes e elevava o consumo de energia elétrica empregada na climatização, apesar de receber a luz natural. Entretanto, a energia elétrica empregada para retirar a energia térmica do ambiente não compensava com o ganho da luz natural. No shopping Fashion Mall a climatização representava cerca de 56% do consumo anual em comparação ao shopping Rio Sul que utilizava 40%.

De forma similar, as medições de temperatura e consumo de energia elétrica da Loja Estação Beleza se mostraram superiores ao da Loja Monte & Cia, tendo um ganho térmico acentuado pela manhã com a fachada Leste, expondo seu interior e proporcionando um ambiente desagradável, necessitando utilizar todas as centrais de ar-condicionado para manter a temperatura próxima dos 27°C. Na Loja Monte o comportamento do consumo de energia elétrica se mostrou inverso, pela manhã parte das centrais de ar-condicionado eram acionadas, apresentando seu acionamento total próximo das 14:00h. Na loja Estação Beleza pode-se observar que a demanda de energia elétrica chegou a um pico de 97,8 kVA em contrapartida da Monte que teve 58,12kVA em virtude das características arquitetônicas, pois ambas as lojas possuem áreas construídas similares. Novos empreendimentos comerciais vêm adotando fachadas de vidro para destacar seu produto, no entanto, desconhecendo os ganhos térmicos e o consumo de energia elétrica.

Na simulação com o ENVI-met houve a validação do Cenário 1 com os dados medidos de temperatura do ar a 3,0 metros de altura, no entanto, na tese houve a discussão a 1,5m para avaliar a percepção térmica do pedestre. As figuras no plano XY revelaram que as maiores temperaturas, tanto do ar quanto da superfície, se encontravam sempre nas vias Leste-Oeste, assim como o fluxo de ar com maiores intensidades. Como esperado, os cenários 2 e 4 com a vegetação arbórea contribuíram significativamente na redução da temperatura do ar e melhoria do conforto térmico, apesar de que para os índices PET e UTCI em grande parte do dia era de estresse térmico. Nesse caso, tem a necessidade de haver a calibração do índice com base na percepção térmica do amapaense ou moradores que estejam na região há mais de 6 meses. Em relação ao Cenário 3 com a verticalização, com base em Batista, Brito e Pantoja (2016) e Pena (2019), era esperado o efeito da pluma urbana com o perfil do vento assumindo altitude maiores devido a variação da pressão, desta forma, ao nível do pedestre em alguns trechos há uma redução expressiva em comparação aos demais cenários.

Paralelamente ao sombreamento proporcionado nas ruas pelo Cenário 3 que introduz o processo de verticalização na região, existe a questão do entorno, uma vez que os edifícios altos podem impedir que o Sol chegue aos edifícios vizinhos restringindo, por vezes, antigas edificações do direito ao sol. Mesmo em uma região de insolação intensa como Macapá, a questão do sombreamento parece merecer um estudo caso a caso pela sua relação com a presença predominante de edificações de dois a três pavimentos e, ainda, para entender como assegurar o Direito ao Sol para as futuras edificações. Assis (2000) alerta que processos de adensamento associados à intensa verticalização nos centros urbanos que afetam a penetração do Sol e da luz podem resultar em problemas de saúde e de habitabilidade dos espaços internos das outras edificações. Os estudos de Marques (2018) e Silva (2018) indicam ações possíveis para um adensamento sem a necessidade de um processo de verticalização intenso. Marques (2018) propôs em seu trabalho duas configurações urbanas, que apesar de apresentarem densidades construídas similares para a Região do Porto Maravilha, Rio de Janeiro – RJ, possuem formas urbanas e tipologias completamente diferentes. A mesma densidade estimada foi aplicada nos dois cenários, sendo um deles caracterizado por edificações com até 50 pavimentos e implantação espaçada e o segundo visando uma variação de gabaritos, fracionamentos das quadras e uso misto com lotes de dimensões variadas. Os resultados indicaram que respeitando a densidade almejada para a região foi possível propor um cenário mais adequado aos princípios bioclimáticos e sustentáveis.

Silva (2018) desenvolveu, a partir dos cenários propostos por Marques (2018), um estudo sobre a implantação de painéis fotovoltaicos nas coberturas das edificações e efetuou um levantamento de consumos de energia com uso de elevadores. Ela identificou que o processo de verticalização resultou em um maior consumo de energia nesta categoria (Tabela 11). Para o cálculo do consumo foram efetuadas estimativas sobre a capacidade do elevador, velocidade e potência dos motores de acordo com a altura das edificações. Seus resultados apontaram que os valores aumentam quase na mesma proporção em que o número de andares aumenta.

Tabela 11 – Consumo de energia elétrica em elevadores.

Número de andares	Capacidade do elevador (nº de pessoas)	Consumo médio por viagem (kWh)
3	6	0,15
6	6	0,25
10	8	0,45

Fonte: ANEEL, s/d apud Silva (2018).

Assim, é possível indicar que em relação ao consumo de energia por elevadores, os edifícios mais altos apresentam uma demanda de energia bem mais elevada do que aquela observada no caso dos edifícios mais baixos.

A comparação dos cenários em relação a temperatura do ar, temperatura de superfície, temperatura média radiante, fator de visão de céu e índices PET e UTCI, revelam que o Centro Comercial de Macapá possui uma categoria de estresse de forte a extremo, podendo sofrer intervenção sem grandes investimentos apenas com um programa ou incentivo de arborização. Apesar de transparecer que vegetação arbórea não possa conviver com o setor comercial devido a esconder suas fachadas ou bloquear acessos, é fato que a vegetação contribui na redução do consumo de energia elétrica, pendente uma avaliação do percentual por meio de pesquisas futuras no EnergyPlus utilizando dados da simulação do ENVI-met. Outra contribuição da vegetação é pelo fato de criar corredores de estresse térmico moderado, podendo incentivar a circulação de pedestres e até mesmo a economia local.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos a partir das simulações dos cenários propostos foram promissores, principalmente em relação à implantação da vegetação, com as espécies arbóreas, que é uma estratégia de baixo custo e de fácil aplicação. Esta estratégia contribui, ainda, para o conforto visual, uma vez que permite o equilíbrio da penetração da radiação solar através do sombreamento, trazendo benefícios no conforto visual e na sensação térmica dos usuários dos espaços urbanos.

A utilização do Manual de Orientação Técnica da Arborização Urbana de Belém (PORTO; BRASIL, 2013) como referência para introdução das espécies arbóreas para cidade Macapá no programa ENVI-met permitiu que estas fossem incorporadas à documentação e, assim, novos usuários poderão utilizar estas espécies em suas simulações. As simulações aqui desenvolvidas podem representar também uma contribuição para o desenvolvimento do Manual Prático de Arborização Urbana do Município de Macapá, uma vez que novos testes com estas ou outras espécies poderão ser efetuados.

Outro indicativo importante coletado a partir dos dados da cidade de Macapá é o elevado consumo de energia resultante do uso de equipamentos de aclimação, indicando ainda que estes equipamentos transferem para o ambiente externo o ar quente, fazendo com que seja necessário um maior consumo para o resfriamento do ar interno. O início de um processo de verticalização pode contribuir para o aumento do consumo de energia pelo uso de elevadores, como indicado por Silva (2018). No caso da cidade de Macapá, por sua condição climática, a permeabilidade da malha urbana para a penetração dos ventos dominantes se faz ainda mais necessária, principalmente agora com as mudanças climáticas.

Os resultados apresentados nas imagens das Figura 80 a Figura 82 permitem a observação da elevação da altura da pluma urbana na cidade para os cenários com verticalização. Esta ampliação da faixa de ação pluma urbana leva a temperaturas mais elevadas para os pavimentos superiores das edificações, reproduzindo o processo de aquecimento do ar no meio urbano (por transferência de calor dos materiais e pela saída de ar quente dos equipamentos de aclimação) para as camadas mais elevadas da cidade.

Existe a perspectiva de elaboração de novos cenários para a avaliação de como a forma urbana e os materiais de revestimento do meio urbano contribuem para a elevação da temperatura do ar nos ambientes internos e externos. Para isto alguns cenários já foram

pensados dentre eles podem ser apontados: a troca das coberturas de fibrocimento por cobertura de telha; o uso de cores nas coberturas, para a visualização em diversas camadas da pluma urbana; o estudo em área de ressaca com simulações com a permanência da água e com o aterramento; a construção de um cenário com aplicação de um incremento de temperatura previsto para 2050, entre outros.

Testando cenários parece interessante avaliar inclusive um possível retorno ou mesmo um remanescente de água na região. Para Takiyama *et al.* (2012), os aterramentos nas áreas representam um risco às regiões aterradas “uma vez que as áreas de nascentes encontram-se nas porções mais elevadas do terreno”. Ele aponta ainda que essas áreas aterradas foram identificadas como “vulneráveis aos processos de inundação.”

Dentre as perspectivas de estudos futuros com a utilização de dados, parece interessante desenvolver associações que identifiquem necessidade de ações localizadas como por exemplo a associação de ondas de calor ou altas temperaturas (verão de Macapá) com a saúde (morte por doenças associadas ao calor) e consumo de energia.

Os dados de medições externas (P1, P2, P3 e P4) e internas (lojas) de temperatura do ar e umidade realizados com os Hobos no verão de 2019 e inverno de 2020 ficarão disponíveis a comunidade acadêmica nos seguintes links:

1. <https://www.4shared.com/s/fnp6zL-yfiq> (Dados);
2. <https://www.4shared.com/s/fAVOJIA7-ea> (Software de leitura);
3. <https://drive.google.com/drive/folders/1GgVnXefMXr7hIDyMyJXEnjV-RtuauLP-?usp=sharing> (Dados e software de leitura).

São muitas as perspectivas futuras a partir das associações das pesquisas desenvolvidas para esta tese.

Sugestões de trabalhos futuros:

- 1- Criação e calibração de modelos de vegetação arbórea no software Arbore (Envi-met) utilizados no meio urbano na região amazônica;
- 2- Verificar a influência da geometria dos cânions urbanos atrelado ao conforto ambiental externo no clima quente e úmido sob a linha equatorial.

- 3- Realizar simulações no ENVI-met com: 1. Substituição de coberturas por materiais de alta reflectância; 2. Substituir a pavimentação por superfícies porosas; e 3. Variação dos dados climáticos de entrada utilizando a previsão de aquecimento do ar do IPCC (2018) de 0.5, 1.0 e 1.5°C;
- 4- Avaliar o desempenho térmico do EPS em abrigos meteorológicos por períodos superiores a 6 meses;
- 5- Avaliar abrigos meteorológicos construídos em impressoras 3D com diferentes formas e materiais;
- 6- Realizar medições intraurbanas da qualidade do ar, temperatura e umidade do ar, velocidade e direção do vento;
- 7- Simular o consumo de energia elétrica dos empreendimentos comerciais com o software EnergyPlus e comparar ao medido pela CEA, analisando no verão e inverno amazônico;
- 8- Simular a geração distribuída (sistema fotovoltaico) nos empreendimentos comerciais analisados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15220-2 - **Desempenho Térmico de Edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações.** Rio de Janeiro – RJ. 2005
- ABREU, L. V.; LABAKI, L. C. **Conforto Térmico Propiciado Por Algumas Espécies Arbóreas: avaliação do raio de influência através de diferentes índices de conforto.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 103-117, out./dez. 2010.
- AGUILAR, H. M. C. **Desempenhos térmico e energético de uma edificação na região amazônica brasileira.** Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE), Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018. 186 f.
- AHEX – Arquivo Histórico do Exército. **Acervo Cartográfico.** Rio de Janeiro, RJ. 2017.
- AHMED, K. S. **Comfort in urban spaces: defining the boundaries of outdoor thermal comfort for the tropical urban environments.** Elsevier: Energy and Buildings. V. 35, I. 1, p. 103–110. 2003.
- AKBARI, H.; KONOPACKI, S. **Calculating energy-saving potentials of heat-island reduction strategies.** Energy Policy, v. 33, n. 6, p. 721-756, 2005.
- AKBARI, H.; KONOPACKI, S. **Energy effects of heat-island reduction strategies in Toronto, Canada.** Energy, Oxford, v. 29, p. 191-210, 2004.
- ALMEIDA, C. M. **Atlas do Império do Brazil.** Rio de Janeiro, 1868.
- ALMEIDA, I. B. **A influência da verticalização no desenvolvimento das cidades: Estudos de caso da área central de Macapá.** Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Amapá, 2017
- ANDRADE, P. C. R.; ROMERO, M. A. B. (2018). **Análise do desempenho térmico dos materiais superficiais do contexto urbano do SIA/ DF.** Paranoá: Cadernos De Arquitetura E Urbanismo, (22), p. 51-71. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.18830/issn.1679-0944.n22.2018.04>. Acessado em: 16 nov. 2019
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Perdas de Energia.** Brasília, Brasil. 2018. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=801&idPerfil=4/>. Acesso em: 4 dez. 2018.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Nota Técnica Nº 215/2019-SGT/ANEEL.** Brasília, Brasil. 2019a. Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/tarifa/arquivo/NT_215_2019_CEA.pdf/. Acesso em: 15 dez. 2019.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Programa de Eficiência Energética.** Brasília, Brasil. 2019b. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/programa-eficiencia-energetica/>. Acesso em: 10 mar. 2019.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Geração: expansão da matriz elétrica brasileira – setembro/2020.** Brasília, Brasil. 2020. Disponível em: <https://bit.ly/33kn44r>. Acesso em: 10 out. 2020.

ARAÚJO, R. M. **A urbanização na Amazônia e do Mato Grosso no século XVIII: Povoações civis, decorosa e úteis para o bem comum da coroa e dos povos.** Anais do Museu Paulista. São Paulo, v. 20, n. 1, p. 41-76. 2012.

ARAÚJO, R. M. **As Cidades da Amazônia no Século XVIII - Belém, Macapá e Mazagão.** FAUP - Faculdade de Arquitectura da Universidade Porto, 1998.

ARRUDA, A. A. C. **O ordenamento urbano das adjacências do Canal da Mendonça Júnior e suas implicações ambientais e jurídicas.** Orientador: Nicolau Eládio Bassalo Crispino. Dissertação (Mestrado) – Fundação Universidade Federal do Amapá, Programa de Pós-Graduação em Direito Ambiental e Políticas Públicas. 2011. 138 f.

ASSIS, E. S. **Impactos da forma urbana na mudança climática: método para previsão do comportamento térmico e melhoria de desempenho do ambiente urbano.** Tese de doutorado – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2000.

ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, INC. **Air Conditioning and Refrigeration Timeline.** Atlanta, EUA. 1916. Disponível em: <https://www.ashrae.org/about/mission-and-vision/ashrae-industry-history/air-conditioning-and-refrigeration-timeline/>. Acesso em: 10 nov. 2020.

ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, INC. **ANSI/ASHRAE Standard 55-2004: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.** Atlanta. 2004.

ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, INC. **Handbook - Fundamentals (SI Edition).** Atlanta. 2017.

AYOADE, J.O. **Introdução à climatologia para os trópicos.** Tradução de Maria Juraci Zani dos Santos. São Paulo: DIFEL, 1986.

BAAGHIDEH, M. *et al.* **Evaluation of human thermal comfort using UTCI index: case study Khorasan Razavi, Iran.** Natural Environment Change, Vol. 2, No. 2, Summer & Autumn, p. 165-175. 2016.

BARBOSA, A. M.; *et al.* **Influência da verticalização na temperatura do ar e tetos verdes para mitigar o efeito térmico na grande Belém.** 2011. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/899805/1/PIBICANDREZZABARBOSAFINALENVIADOavaliado.pdf/>. Acessado em: 12 abr. 2019.

BARBOSA, A. N. P. **Urbanismo bioclimático: efeitos do desenho urbano na sensação térmica.** Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2018. 328 f.

BARBOSA, Gisele S.; DRACH, Patricia R. C.; CORBELLA, O. D. **Intraurban Temperature Variations: Urban Morphologies of the Densification Process of Copacabana Neighborhood, Brazil.** Climate, v.7, p.1 - 17, 2019.

BASTOS, C. M. C. B. **Conflitos ambientais urbanos em áreas de ressaca: um estudo da comunidade negra da Lagoa dos Índios em Macapá/AP.** Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Centro de Desenvolvimento Sustentável. 2006. 176p.

BATISTA, A. J.; BRITO, D. M. C.; PANTOJA, G. M. T. **O processo de verticalização urbana em Macapá/AP.** Belém: Revista GeoAmazônia, v. 4, n. 8, p. 46-63. 2016.

BEDFORD, T. **Warmth factor in comfort at work.** Med Res C'l, Ind Health Res Board, Report N° 76. HMSO. 1936.

BELTRÃO, L. J. S.; PORTO, J. L. R. **Forma e Função Urbana de cidades médias na Amazônia: Os casos de Macapá e Santana (AP).** In: TRINDADE Jr, S. C. CARVALHO, G. MOURA, A. NETO, J. G. (orgs.) Pequenas e Médias Cidades na Amazônia. Belém: Federação dos órgãos para a Assistência Social Educacional/ FASE; Instituto de Ciências Aplicadas/ UFPA: Observatório COMOVA, 2009.

BRITO, J. F. L. **A Fortaleza de Macapá como monumento e a cidade como documento histórico.** Dissertação (Mestrado) – Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional, Mestrado Profissional em Preservação do Patrimônio Cultural, Rio de Janeiro. 2014. 264p.

BRÖDE, P., *et al.* **Deriving the operational procedure for the universal thermal climate index (UTCI).** Int J Biometeorol 56(3): 481–494. 2012.

BROWN, R. D.; GILLESPIE, T. J. **Microclimatic landscape design: creating thermal comfort and energy efficiency.** New York: John Wiley & Sons, Inc. 1995. 193p.

BRUSE, M. **ENVI-met - Version 3.1 BETA III - 2009.** On-line Manual. In: <http://www.envi-met.com/>. Latest Build: 14-Dec-09, 2010.

BRUSE, M. **ENVI-met - Version 4.4.5 Science & BIO-met - Summer20.** On-line Manual. In: <https://envi-met.info/doku.php/>. Latest Build: 02 jul. 2020.

BRUSE, M.; SKINNER, C. J. **Rooftop Greening and local climate: a case study in Melbourne.** Jan. 1999. Disponível em: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.587.9726&rep=rep1&type=pdf/>. Acesso em: 10 jan. 2020

BUSTOS ROMERO, M. A. **A arquitetura bioclimática do espaço público.** Brasília: Editora Universidade de Brasília, 4ª reimpressão. 2015. 226p.

BUSTOS ROMERO, M. A. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano.** Editora CopyMarket.com, 2000.

CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. **Portal de Periódicos.** 2020. Disponível em: <http://www-periodicos-capes-gov-br.ezl.periodicos.capes.gov.br/>. Acessado em: 04 dez. 2020.

CEA – Companhia de Eletricidade do Amapá. **Dados de Mercado e Consumo de Energia Elétrica do Estado do Amapá:** período de 2002 a 2019. Departamento de Planejamento e Expansão, Macapá – AP. 2020.

CLIMATE.ONEBUILDING. **Repository of free climate data for building performance simulation:** from the creators of the EPW. 2020. Disponível em: <http://climate.onebuilding.org/>. Acesso em: 15 jan. 2020.

CORBELLA, O.; CORNER, V. **Manual de arquitetura bioclimática tropical.** Rio de Janeiro: Revan. 2011. 111p.

CORBELLA, O; YANNAS, S. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: conforto ambiental.** Rio de Janeiro: Revan. 2 ed. 2009. 308p.

COSTA, A. C. L., *et al.* **Índices de conforto térmico e suas variações sazonais em cidades de diferentes dimensões na Região Amazônica.** Revista Brasileira de Geografia Física. V. 06, N. 03. 2013.

CRIFFER – Criffer Instrumentos de Medição. **Manual: PROTEMP 4.** On-line Manual. In: <https://www.criffer.com.br/medidores-de-stress-termico/termometros-de-globo/protemp-4-termometro-de-globo-digital-com-datalogger-ibutg/>. Latest Build: jan. 2020.

CUNHA, M. S.; NUNES, A. C. **Territorialização e poder na América portuguesa: a criação de comarcas, séculos XVI-XVIII.** Tempo (Niterói, online), v. 22, n. 39, p. 01-20. 2016.

DALL'AGNOL, F. *et al.* **Acelerando a eficiência das edificações no Brasil: ações prioritárias para líderes urbanos.** Working Paper. Porto Alegre, Brasil: WRI Brasil. 2018. Disponível em: <https://wribrasil.org.br/pt/publicacoes/acelerando-eficiencia-das-edificacoes-no-brasil/>. Acesso em: 20 out. 2018.

DAVIS – Davis Instruments. **Overview: Vantage Vue.** On-line Manual. In: <https://www.davisinstruments.com/vantage-vue/>. Latest Build: 23 mai. 2018.

DIAS, G. F. **Pegada ecológica e sustentabilidade humana.** São Paulo: Gaia. eBook. 2013. 532p.

DRACH, P. R. C.; BARBOSA, G. S. **Estudos da variação da temperatura intra-urbana no centro da cidade do Rio de Janeiro: influência da morfologia e da vegetação.** Cadernos do PROARQ (UFRJ), v. 26, p. 71-86, 2016.

DRUMMOND, J. A.; PEREIRA, M. A. P. **O Amapá nos tempos do manganês: um estudo sobre o desenvolvimento de um estado amazônico.** Rio de Janeiro: Garamond. 2007. 500p.

ELETOBRAS. **Avaliação do mercado de eficiência energética do Brasil: Sumário Executivo – Ano base 2005.** Rio de Janeiro: ELETOBRAS. 2005. 77p.

ELETOBRAS/PROCEL. **Clima Urbano e Eficiência Energética nas Edificações.** Rio de Janeiro. Ago. 2011. 113p.

ENERGYPLUS. **Documentation: EnergyPlus 9.4.0.** On-line Manual. In: <https://energyplus.net/documentation/>. Latest Build: 30 set. 2020.

EPE – Empresa de Pesquisas Energéticas. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020: ano base 2019.** Ministério de Minas e Energia. 2020.

FANGER, P. O. **Thermal comfort: Analysis and applications in environmental Engineering.** New York: McGraw-Hill. 1973. 256p.

FIALA, D. *et al.* (2012). UTCI-Fiala Multi-Node Model of Human Heat Transfer and Temperature Regulation. **International Journal of Biometeorology**, v. 56, n. 3, p. 429-441.

FJP – Fundação João Pinheiro. **Macapá – Plano de Desenvolvimento Urbano.** Minas Gerais: Centro de Desenvolvimento Urbano, v. 1. 1974. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.mg.gov.br/consulta/consultaDetalheDocumento.php?iCodDocumento=49008/>. Acessado em: 05 jan. 2019.

FLIR – FLIR System, Inc. **Product: FLIR ONE PRO.** On-line Manual. In: <https://www.flir.com.br/products/flir-one-pro/>. Latest Build: 25 fev. 2020.

FLUKE – Fluke Corporation. **Manual: Termômetro infravermelho a laser portátil 62 MAX+.** On-line Manual. In: <https://www.fluke.com/pt-br/produto/medicao-de-temperatura/termometros-ir/fluke-62-max-plus#/>. Latest Build: 25 fev. 2020.

FOLBERTH, G. A. *et al.* **Global radiative forcing and megacities.** Elsevier, Urban Climate, Vol. 1, p. 4-19. 2012.

GAGGE, A.; STOLWIJK, J.; NISHI, Y. **An effective temperature scale based on a simple model of human physiological regulatory response.** ASHRAE Transactions, V. 77, Part I. p. 247-257. 1971.

GEA – Governo do Estado do Amapá. **“Macapá Querida”.** Macapá: E. S. Cardoso – ME. 2010. 52p.

GILBERT, A. **Third World Cities: The Changing National Settlement System.** Urban Studies, V. 30, p. 721-740. 1993.

GIVONI, B. **Man, Climate and Architecture.** Elsevier Science LTD. 2 ed. 1976. 483p.

GIVONI, B. **Climate considerations in building and urban design.** John Wiley & Sons, Canadá. 1998. 464p.

HALDANE, J. S. **Influence of high temperatures.** Journal of Hygiene, Cambridge, p. 5-494. 1905.

HIRASHIMA, S. Q. S. **Calibração do Índice de Conforto Térmicotemperatura Fisiológica Equivalente (PET) Para Espaços Abertos do Município de Belo Horizonte, MG.** Belo Horizonte, 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

HÖPPE, P. **Die Energiebilanz des Menschen:** In: Münchener Universitätsschriften-Fachbereich Physik, Wissenschaftliche Mitteilungen Nr. 49. Meteorologisches Institut, Universität München, München. 1984.

HÖPPE, P.; MAYER, H. **Planungsrelevante Bewertung der thermischen Komponente des Stadtklimas.** Landschaft Stadt 19:22–29. 1987.

HÖPPE, P. **The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment.** International Journal of Biometeorology, 43:71-75. 1999.

HÖPPE, P. **Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort.** Elsevier: Energy and Buildings, V. 34, I. 6, p. 661-665. 2002.

HOLDEN, Z. A. *et al.* **Design and evaluation of an inexpensive radiation shield for monitoring surface air temperatures.** Agricultural and Forest Meteorology. p. 281-286. jun. 2013.

HOUGHTEN, F. C.; YAGLOGLOU, C. P. **Determination of comfort zone.** Trans. ASHVE, p. 29-361. 1923.

HPE – Hewlett Packard Enterprise. **HP Proliant DL380p GEN8 Server – Overview.** 2020. Disponível em: https://support.hpe.com/hpesc/public/docDisplay?docId=emr_na-c03235277/. Acesso em: 20 jul. 2020

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Anuário Estatístico do Amapá: ano VI.** Macapá, Brasil. 1957.

IBAM/DUMA; ELETROBRAS/PROCEL. **Planejamento e Controle Ambiente-Urbano e a Eficiência Energética.** Rio de Janeiro, RJ. 222 p. 2013. ISBN 978-85-7403-038-8.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Tendência Demográficas: Uma análise da população com base nos resultados dos Censos Demográficos 1940 e 2000.** Rio de Janeiro, Brasil. 2007. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv34956.pdf/>. Acesso em: 20 abr. 2020.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 1960, 1970, 1980, 1991, 2000 e 2010**. Rio de Janeiro, Brasil. 2010. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=8/>. Acesso em: 27 abr. 2020.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativas da população residente no Brasil e unidades da federação com data de referência em 1º de julho de 2020**. Brasília, Brasil. 2020a. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=downloads/>. Acesso em: 20 jun. 2020.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama: Macapá**. Brasília, Brasil. 2020b. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ap/macapa/panorama/>. Acesso em: 5 mai. 2020.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Biblioteca**. Brasília, Brasil. 2020c. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/>. Acessado em: 10 mai. 2020.

IBM – International Business Machines Corporation. **Problem Determination and Service Guide – IBM System x3650 M3 (4255, 7376, 7945) and IBM Smart Analytics System 5600 (7949)**. 2014. Disponível em: <https://www.ibm.com/support/pages/node/822880/>. Acesso em: 20 jan.2020.

IEPA – Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá. **Diagnóstico de ressacas do estado do Amapá: Bacias do Igarapé da Fortaleza e do Rio Curiaú**. Macapá, Amapá. 2004. 255p.

IEPA – Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá. **Núcleo de Hidrometeorologia e Energias Renováveis – NHMET**. 2020. Disponível em: <http://www.iepa.ap.gov.br/meteorologia/index.php>. Acessado em: 05 abr. 2020.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados meteorológicos do INMET**. Brasília, Brasil. 2020. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acessado em: 20 mai. 2020.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Cambridge University Press, Cambridge. 2013. 1152p.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability – Part A: Global and Sectoral Aspects**. Cambridge University Press, Cambridge. 2014. 1150p.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Global Warming of 1,5°C: Summary for Policymakers**. Incheon, Republic of Korea. 2018. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/report/sr15/>. Acesso em: 10 out. 2018.

IPHAN – Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. **Patrimônio Material – AP**. 2020. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/ap/pagina/detalhes/522/>. Acessado em: 27 nov. 2020.

ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 10.551: Ergonomics of the thermal environment: assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgment scales**. Genebra, 1995.

ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 6.946: Building components and building elements – Thermal resistance and thermal transmittance – Calculation methods**. Genebra, jul. 2017.

ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7.726:** Ergonomics of the thermal environment: Instruments for measuring physical quantities. Genebra. 2001.

ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7.730:** Ergonomics of the thermal environment: Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Genebra, 3 ed. 2005.

JOHANSSON, E.; EMMANUEL, R. **The influence of urban design on design on outdoor thermal comfort in the hot, humid city of Colombo, Sri Lanka.** Springer Link: International Journal of Biometeorology, V. 51, I. 2, p. 119-133. 2006.

JOHNSON, G. T.; WATSON, I. D. **The determination of view-factors in urban canyons.** American Meteorological Society. 1984.

JUNIOR, M; SILVA, M. V. **A importância de áreas verdes públicas no clima quente e úmido amazônico: análise da cidade de Macapá-AP.** Simpósio Macapá 75 anos de capital – vamos pensar sobre a cidade de hoje? Macapá-AP, 5, 6 e 7 de jun. de 2019.

KREBS, L. F. **Extensive green roofs in Porto Alegre, Brazil:** Effect on indoor thermal comfort in residential buildings. Tese (Doutorado) – Housing Development and Management, Department of Architecture and Built Environment, Lund University, Sweden. 2018. 243 f.

KRÜGER, E. L. *et al.* **Estudo de conforto em espaços abertos em região de clima temperado:** o caso de Glasgow, Reino Unido. Ambiente Construído, Porto Alegre, V. 12, N.º 1, p. 7-25. 2012.

KRÜGER, E. L.; DRACH, P. R. C. **Impactos do uso de climatização artificial na percepção térmica em espaços abertos no centro do Rio de Janeiro.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 16, n. 2, p. 133-148, abr./jun. 2016.

KRÜGER, E. L.; DRACH, P. R. C. Quantificação dos impactos da climatização artificial na sensação térmica de transeuntes em termos de alterações no microclima. **URBE. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v.9, p.301 - 312, 2017.

KRÜGER, E. L.; DRACH, P. R. C.; EMMANUEL, R.; CORBELLA, O. D. **Estudo de conforto em espaços abertos em região de clima temperado:** o caso de Glasgow, Reino Unido. Ambiente Construído, Porto Alegre, V. 12, N.º 1, p. 7-25. 2012.

KRÜGER, E. L.; DRACH, P.; BROEDE, P. Outdoor comfort study in Rio de Janeiro: site-related context effects on reported thermal sensation. **International Journal of Biometeorology**, v.61, p.463 - 475, 2017. DOI 10.1007/s00484-016-1226-8

LABAKI, L. C. *et al.* **Vegetação e conforto térmico em espaços urbanos abertos.** Fórum Patrimônio. Mudanças climáticas e o impacto das cidades, v.4, n.1, 2011.

LIMA NETO, E. M.; SOUZA, R. M. **Índices de densidade e sombreamento arbóreo em áreas verdes públicas de Aracaju, Sergipe.** Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, Piracicaba – SP, v.4, n.4, p.47-62, 2009.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras:** manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa, São Paulo: Editora Plantarum. 1992. 368p.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras:** manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Vol. 02. Nova Odessa, São Paulo: Editora Plantarum. 1998. 384p. ISBN 85-86714-07-0.

- LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Vol. 03. Nova Odessa, São Paulo: Instituto Plantarum. 2009. 384p. ISBN 85-86714-33-7.
- MARQUES, A. M. S. **Análise microclimática e avaliação LEED Neighborhood: Um estudo de caso da morfologia urbana do Porto Maravilha**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Programa de Engenharia Urbana, Rio de Janeiro, 2018.
- MASCARÓ, J. L. **Sustentabilidade em urbanizações de pequeno porte**. Porto Alegre, RS, Masquadro Editora, 2010. 167p.
- MASCARÓ, L.; MASCARÓ, J. J. **Ambiência Urbana – Urban Environment**. Porto Alegre: Masquatro Editora, 3 ed. 2009. 200p.
- MATZARAKIS A, MAYER H. Heat stress in Greece. **Int J Biometeorol** 41(1):34–39. 1997.
- MATZARAKIS, A.; RUTZ, F.; MAYER, H. **Modelling Radiation fluxes in simple and complex environments – Application of the RayMan model**. International Journal of Biometeorology 51, p. 323-334. 2007.
- MATZARAKIS, A.; RUTZ, F.; MAYER, H. **Modelling Radiation fluxes in simple and complex environments – Basics of the RayMan model**. International Journal of Biometeorology 54, 131-139. 2010.
- MENKES, M. **Eficiência Energética, Políticas Públicas e Sustentabilidade**. Tese (Doutorado) – Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília. 2004. 295 f.
- MILANO, M; DALCIN, E. **Arborização de vias públicas**. Rio de Janeiro: LIGHT, 226 p. 2000.
- MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. **Comparação Cruzada Entre Pesquisas Laboratoriais e de Campo em Conforto Térmico em Espaços Abertos Urbanos**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 79-101, out./dez. 2010.
- MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. **Modelo Adaptativo de Conforto Para Avaliação in loco de Espaços Urbanos Abertos**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 61-79, jan./mar. 2012.
- MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. **Índices de Conforto Térmico em Espaços Urbanos Abertos**. Fórum Patrimônio: Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, v. 3, n. 2, 2013.
- MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. **Clima Urbano**. São Paulo: Contexto. 2003.
- MONTENEGRO, A. **Album do Estado do Pará (1908)**. Paris: Chaponet (Jean Cussac). 1908. Disponível em: <http://www.fcp.pa.gov.br/component/k2/item/14-album-o-para-1908/>. Acesso em: 02 fev. 2019.
- MOREIRA, P. H. O. **Análise de Elementos Meteorológicos como Subsídio ao Estudo da Ilha de Calor na Zona Urbana de Macapá – AP**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Fundação Universidade Federal do Amapá, Macapá – AP, 2020. 90 f.
- NASA - National Aeronautics and Space Administration. **U.S. Releases Enhanced Shuttle Land Elevation Data**. EUA. 2020. Disponível em: <https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>. Acessado em : 17 nov. 2019.

- NINCE, P. C. et al. **Usos dos Índices PET e UTCI na Avaliação do Conforto Termal no Campus da UFMT em Cuiabá-MT**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 9, n. 9, p. 2026-2036. 2013.
- NUNES, J. G. **Relatório das atividades do Governo do Território Federal do Amapá, em 1944, apresentado ao Excelentíssimo Senhor Presidente da República pelo Capitão JANARY GENTIL NUNES, Governador do Território**. Rio de Janeiro: Imprensa Nacional, 1946. 152 p.
- OKE, T. R. **The distinction between canopy and boundary-layer urban heat islands**. Atmosphere, 14:4, 1976, p. 268-277.
- OKE, T. R. **Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations**. Journal of Climatology, Vol. 1, p. 237-254. 1981.
- OKE, T. R. **The energetic basis of the urban heat island**. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, v. 108, n. 455, p. 1-24. 1982.
- OKE, T. R. **Methods in urban climatology**. In Applied Climatology, Zürcher Geographische Schriften, 14, 1984, p. 19-29.
- OKE, T. R. **Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites**, World Meteorological Organization. Instrument and Observing Methods Report No. 81. 2006.
- OKE, T. R. *et al.* **Urban Climates**. Cambridge: Cambridge University Press. 2017. 525p.
- OLGYAY, V. **Design with Climate: bioclimatic approach to architectural regionalism**. Princeton University Press. Princeton, New Jersey. 1963. 200p.
- ONSET. **Products Data Loggers**. Bourne, Massachusetts, Estados Unidos da América. Disponível em: <https://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/>. Acesso em: 10 out. 2020.
- OZKERESTECI, I. et al. **Use and evaluation of the ENVI-met model for environmental design and planning**. An Experiment on Lienar Parks, p. 10-16, ago. 2003.
- PANTAVOU, K. *et al.* **Outdoor thermal sensation of pedestrians in a Mediterranean climate and a comparison with UTCI**. Elsevier: Building and Environment, V. 66, p. 82–95. 2013.
- PAULA, R. Z. R. **A influência da vegetação no conforto térmico do ambiente construído**. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP. 2004.
- PAULIQUEVIS, T. *et al.* **O papel das partículas de aerossol no funcionamento do ecossistema amazônico**. São Paulo: Ciência e Cultura, Vol. 59, N.º 3. 2007.
- PENA, B. P. L. **A influência da verticalização em Macapá-AP para o clima urbano da região central da cidade**. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Amapá, 2019.
- PEREZ, R., *et al.* **Dynamic Global-to-Direct Irradiance Conversion Models**. ASHRAE Transactions-Research Series, p. 354-369. 1992.
- PEREZ, R., *et al.* **Modeling daylight availability and irradiance components from direct and global irradiance**. Solar Energy, p. 271-289. 1990.
- PORTO, J. L. R. **Amapá: principais transformações econômicas e institucionais**. Tese (Doutorado) – Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002. 216 f.

PORTO, L. P. M.; BRASIL, H. M. S. **Manual de Orientação Técnica da Arborização Urbana de Belém**: guia para planejamento, implantação e manutenção da arborização em logradouros públicos. Belém: Universidade Federal Rural da Amazônia, 2013. 109p.

PRIBERAM – Dicionário Priberam da Língua Portuguesa. Significado de Revelim. 2020. Disponível em: <https://dicionario.priberam.org/revelim/>. Acessado em: 27 nov.2020

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **Resultados PROCEL 2020**: Ano base 2019. Brasília, Brasil. 2020. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/resultadosprocel2020/>. Acesso em: 10 out. 2020.

REES, W. E. **Ecological footprints and appropriated carrying capacity**: what urban economics leaves out. *Environment and Urbanization*. Vol 4, No 2, p. 121-130. 1992.

REIS, A. C. F. **Território do Amapá**: Perfil Histórico. Departamento de Imprensa Nacional, Rio de Janeiro, Brasil, 1949.

REISSER JR., C. *et al.* **Protetor de Radiação Solar Simples para Termômetros Digitais Eletrônicos**. Comunicado Técnico, 345. Centro de Pesquisa Agropecuária de Clima Temperado. Embrapa. Pelotas, Rio Grande do Sul. Nov. 2017. 6 f. ISSN 1516-8654.

ROGERS, R. **Cities for a small planet**. Great Britain: Faber and Faber Limited, 1997. 178 p. ISBN: 0-0571-17993-2.

ROSENFELD, A.H.; *et al.* **Mitigation of urban heat islands: materials, utility programs, updates**. *Energy and Buildings*, Lausanne, v. 22, 255-265 p., 1995.

ROSSI, F. A., KRÜGER, E. L., BRÖDE, P. Definição de Faixas de Conforto e Desconforto Térmico Para Espaços Abertos em Curitiba, PR, Com o Índice UTCI. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 41-59. 2012.

SANTOS, A. P. V. *et al.* **Tecnologia: telhados verdes na região metropolitana de Porto Alegre – elementos construtivos de impermeabilização**. XI Salão de Iniciação Científica – PUCRS, 09 a 12 de agosto de 2010.

SANTOS, F. R. **História do Amapá**. Macapá: Valcan, 6 ed. 2001. 88p.

SANTOS, K. P.C.; CUNHA, A.C.; COSTA, A.C.L.; SOUZA, E.B. **Índices de tendências climáticas associados à “ilha de calor” em Macapá-AP (1968-2010)**. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, n. 23, p. 1-16, 2012.

SARNEY, J.; COSTA, P. **Amapá**: A terra onde o Brasil começa. Brasília: Senado Federal, Conselho Editorial, 1999. 270p.

SEEG – Sistema de Estimativa de Emissão de Gases do Efeito Estufa. **Emissões dos setores de energia, processos industriais e uso de produtos**: Documento de Análise 2018 (Período 1970 - 2016). 2018. Disponível em: <http://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2018/05/Relato%CC%81rios-SEEG-2018-Energia-Final-v1.pdf/>. Acessado em: 05 mar. 2019.

SEEG – Sistema de Estimativa de Emissão de Gases do Efeito Estufa. **Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Brasil 1970-2017**. Nov. 2019. Disponível em: http://www.observatoriodoclima.eco.br/wp-content/uploads/2019/11/OC_SEEG_Relatorio_2019pdf.pdf. Acessado em: 05 ago. 2020.

SEMA – Secretária de Estado de Meio Ambiente. **Projeto Base Cartográfica Digital Contínua do Amapá, de autoria do Governo do Estado do Amapá e Exército Brasileiro**. Governo do Estado do Amapá. 2015.

SIGMA – Sigma Sensors. **Abrigo Meteorológico RS4**. Manual on-line. 2019. Disponível em: <https://sigmasensors.com.br/produtos/abrigo-meteorologico-rs4/>. Acessado em: 25 set. 2019.

SHAMS, J. C. A.; GIACOMELI, D. C.; SUCOMINE, N. M. **Emprego da arborização na melhoria do conforto térmico nos espaços livres públicos**. REVSBAU, Piracicaba – SP, v.4, n.4, p.1-16, 2009.

SHINZATO, P. **O impacto da vegetação nos microclimas urbanos**. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 2009. 173 f.

SHINZATO, P. **Impacto da vegetação nos microclimas urbanos em função das interações solo-vegetação-atmosfera**. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 2014. 204 f.

SHINZATO, P.; DUARTE, D. H. S. **Impacto da vegetação nos microclimas urbanos e no conforto térmico em espaços abertos em função das interações solo-vegetação-atmosfera**. Porto Alegre: Ambiente Construído, v. 18, n. 2, p. 197-215. 2018.

SHINZATO, P. *et al.* **Calibration process and parametrization of tropical plants using ENVI-met V4 – Sao Paulo case study**. Architectural Science Review. 22 jan. 2019. ISSN: 1758-9622.

SILVA, A. P. N. **Ilha de Calor Urbana: Diagnóstico e Impactos no Microclima da Região Metropolitana de Macapá, AP**. Tese (Doutorado) – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande - PB, 2016. 129 f.

SILVA, C. F. **Energia solar no meio urbano: análise para diferentes formas urbanas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Programa de Engenharia Urbana, Rio de Janeiro, 2018.

SILVA, I. C. S. **Índice ambiental urbano (IAU): uma contribuição ao estudo do planejamento e do conforto térmico em espaços abertos**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2017. 239 f.

SILVA, J. N.; VOELZKE, M. R.; ARAÚJO, M. S. T. **Astronomia no Meio do Mundo: uma análise Física da visualização de constelações e dos equinócios e solstícios a partir da Latitude Zero**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 35, n. 1, p. 159-184. 2018.

SILVA, M. V.; PENA, B. P. L. **Análise do plano diretor urbano de Macapá (2004) com ênfase na verticalização e no conforto ambiental**. Editora da Universidade Federal do Amapá. Macapá-AP, 2020.

SILVA, O. F.; *et al.* **Geoprocessamento aplicado ao estudo do processo de verticalização e suas implicações no desempenho energético urbano da cidade de Macapá-AP**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.4617.

SILVEIRA, M. Coaracy Nunes, 39 anos. **Agência Eletronorte de notícias**. 13 jan. 2015. Disponível em: <http://agencia.eletronorte.gov.br/site/2015/01/13/coaracy-nunes-39-anos/>. Acessado em: 08 ago. 2020.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto – 2018**. Brasília, Brasil. 2018. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2018/Diagnostico-SNIS-AE-2018-Capitulo-07.pdf>. Acessado em: 23 ago. 2020.

- SOBRAL, B. S. *et al.* **Variabilidade espaço-temporal e interanual da chuva no Estado do Rio de Janeiro.** Revista Brasileira de Climatologia. Ano 14. Vol. 22. jan/jun 2018. ISSN: 2237-8642 (Eletrônica).
- SOUZA, L. C. L. de. **Influência da Geometria Urbana na Temperatura do Ar ao Nível do Pedestre.** 1996. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos – SP. 1996.
- SPAGNOLO J.; DE DEAR, R. **A field study of thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments in subtropical Sydney Australia.** Elsevier: Building and Environment, V. 38, I. 5, p. 721–738. 2003.
- SPANGENBERG, J. *et al.* **Simulation of the influence of vegetation on microclimate and thermal comfort in the city of São Paulo.** Piracicaba: Revista SBAU, v. 3, n. 2, p. 1-19. 2008.
- SZOKOLAY, S. V; AULICIEMS, A. **Thermal Comfort.** PLEA – Passive and Low Energy Architecture International. 1997. 68p.
- TAHA, H. **Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration and anthropogenic heat.** Energy and Buildings, Lausann, v. 25, 99-103 p., 1997.
- TAKIYAMA, L. R. *et al.* **Projeto zoneamento ecológico econômico urbano das áreas de ressacas de Macapá e Santana, estado do Amapá: relatório técnico final.** Macapá: IEPA, 2012.
- TANSLEY, A. G. **The use and abuse of vegetation concepts and terms.** Ecology, Vol 16, Issue 3, p. 284-307. 1935.
- TARARA, M.; HOHEISEL, G. A. **Low-cost shielding to minimize radiation errors of temperature sensors in the field.** Hortiscience, Alexandria, v. 426, n. 6, p. 1372-1379. oct. 2007.
- THORSSON, S. *et al.* **Thermal comfort and outdoor activity in Japanese urban public places.** Environment and Behavior, V. 39, N.º 5, p. 660–684. 2007.
- TROMP, S. W. **Human Biometeorology.** International Journal of Biometeorology. Vol. 7, issue 2, p. 145-158. 1963.
- UN – United Nations. **2018 Revision of World Urbanization Prospects.** New York, EUA. 2018. Disponível em: <https://population.un.org/wup/>. Acesso em: 27 set. 2018.
- UTCI – Universal Thermal Climate Index. **Documents:** UTCI Executive Summary. In: http://www.utci.org/utci_doku.php/. Latest Build: 25 jun. 2012.
- VASCONCELOS, J. S. **Índices urbanísticos e o ambiente térmico: estudo em uma fração da cidade de São Carlos – SP.** Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos. São Carlos – SP. 2014. 105p.
- VASCONCELOS, J. S.; SOUZA, L. C. L. **Potencial de índices urbanísticos como indicadores da qualidade térmica do ambiente urbano.** Eng. Sanit. Ambient. [online]. 2018, vol.23, n.3, pp.569-578. ISSN 1809-4457. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522018134577>. Acesso em: 20 fev. 2020.
- VERNON, H. M.; WARNER, C. G. **The influence of humidity of the air on capacity of work at high temperatures.** Journal of Hygiene, Cambridge, p. 32-431. 1932.
- VILHENA, J. E. S. **Etnoconhecimento dos Fenômenos Meteorológicos na Ilha de Santana, Amapá, Brasil.** Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia (PPG-BIONORTE), Fundação Universidade Federal do Amapá. 2017. 166 f.

- VILHENA, J. E. S.; SILVA, R. B. L.; FREITAS, J. L. **Climatologia do Amapá: Quase um século de história.** Rio de Janeiro: Gramma, 1 ed., recurso digital. 2018.
- WACKERNAGEL, M; REES, W. E. **Our ecological footprint: reducing human impact on the Earth.** New Society Publishers, Gabriola Island, British Columbia. 1996. 176p.
- WALTHER, E.; GOESTCHEL, Q. **The P.E.T. comfort index: Questioning the model.** Building and Environment 137, p. 1-10. 2018.
- WOLMAN, A. **The Metabolism of Cities.** Scientific American, V. 213, p. 179-190. 1965.
- WWF – World Wide Fund For Nature. **The Ecological Footprint of São Paulo – State and Capital and the Footprint Family.** Brasília, Brasil. 2012. 116p.
- ZARE, S. *et al.* **Comparing Universal Thermal Climate Index (UTCI) with selected thermal indices/environmental parameters during 12 months of the year.** Elsevier: Weather and Climate Extremes, p. 49-57. 2018.

APÊNDICE A

1. MANUTENÇÃO DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA (EMA)

Atividades de reparo, manutenção e limpeza na Estação Meteorológica Automática (EMA) do INMET desempenhados pelo autor e equipes do Núcleo de Hidrometeorologia e Energias Renováveis (NHMET/IEPA), Defesa Civil, Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Amapá e Laboratório de Energias Renováveis da Universidade Federal do Amapá (UNIFAP).

- a. Troca de bateria, Limpeza e ajustes dos equipamentos da EMA no dia 08/02/2019.

Figura 116 – Manutenção na EMA do INMET no dia 08/02/2019.





(e)



(f)



(g)



(h)



(i)



(j)



(k)

Fonte: Acervo pessoal.

b. Identificação do problema no sensor ultrassônico da EMA no dia 17/09/2019.

Figura 117 – Avaliação da EMA no dia 17/09/2019.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Fonte: Acervo pessoal.

- c. Retirada do ninho de vespa sobre o senso ultrassônico que impedia a medição do vento, além de seu ajuste fino no posicionamento ao norte verdadeiro (17/09/2019).

Figura 118 – Retirada de ninho de vespa e reposicionamento do sensor ultrassônico do EMA no dia 17/09/2019.



(a)



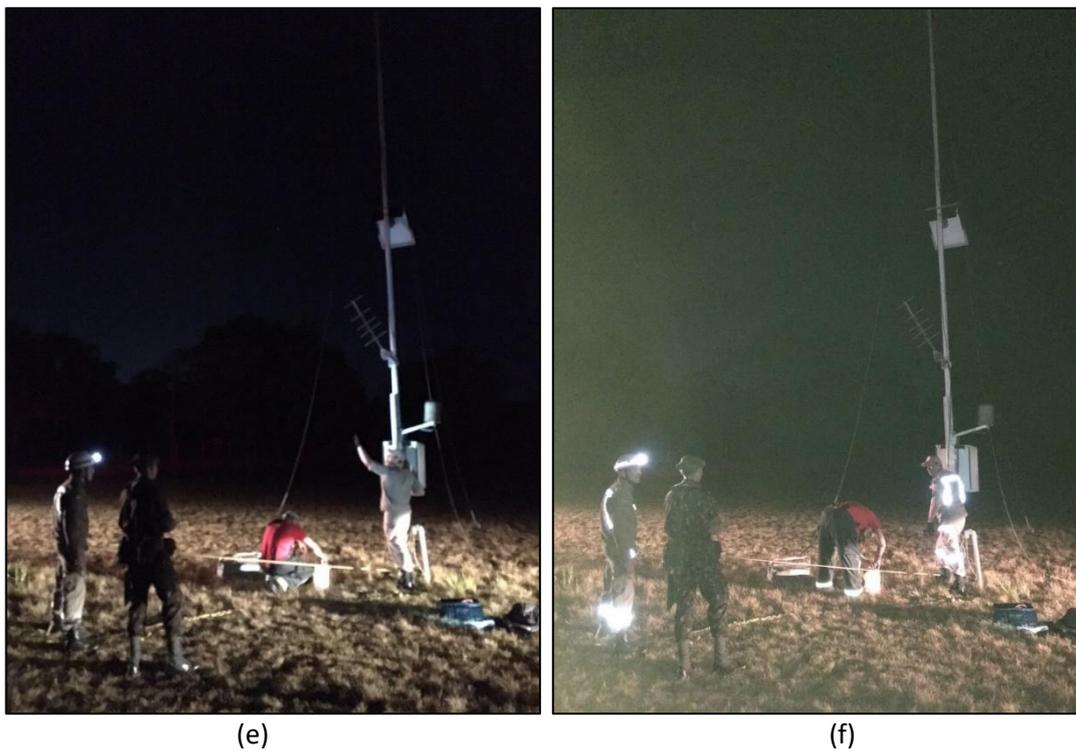
(b)



(c)



(d)



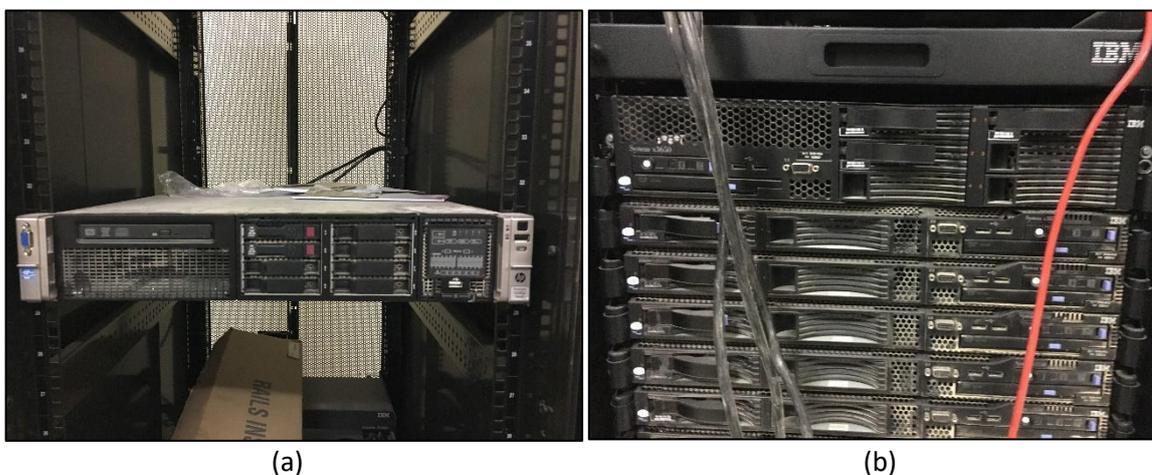
Fonte: Acervo pessoal.

2. MANUTENÇÃO DOS EQUIPAMENTOS COMPUTACIONAIS

Atividade de manutenção dos servidores HP ProLiant DL380p Gen8 e IBM System x3650 M3 empregados nas simulações computacionais e abrigados no Núcleo de Tecnologia da Informação (NTI) da Universidade Federal do Amapá (UNIFAP).

- a. Limpeza e configuração dos equipamentos realizado no dia 18/12/2019.

Figura 119 – Limpeza e configuração dos servidores HP ProLiant DL380p Gen8 e IBM System x3650 M3 realizado no dia 18/12/2019.





(c)



(d)



(e)



(f)



(g)

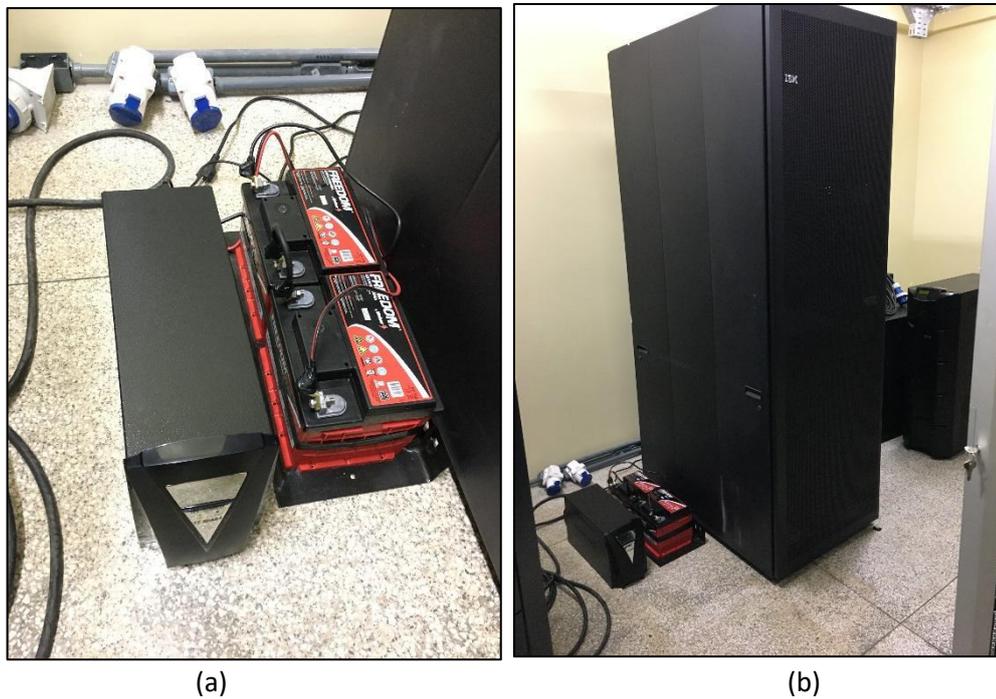


(h)

Fonte: Acervo pessoal.

b. Instalação de banco de baterias no dia 18/02/2020.

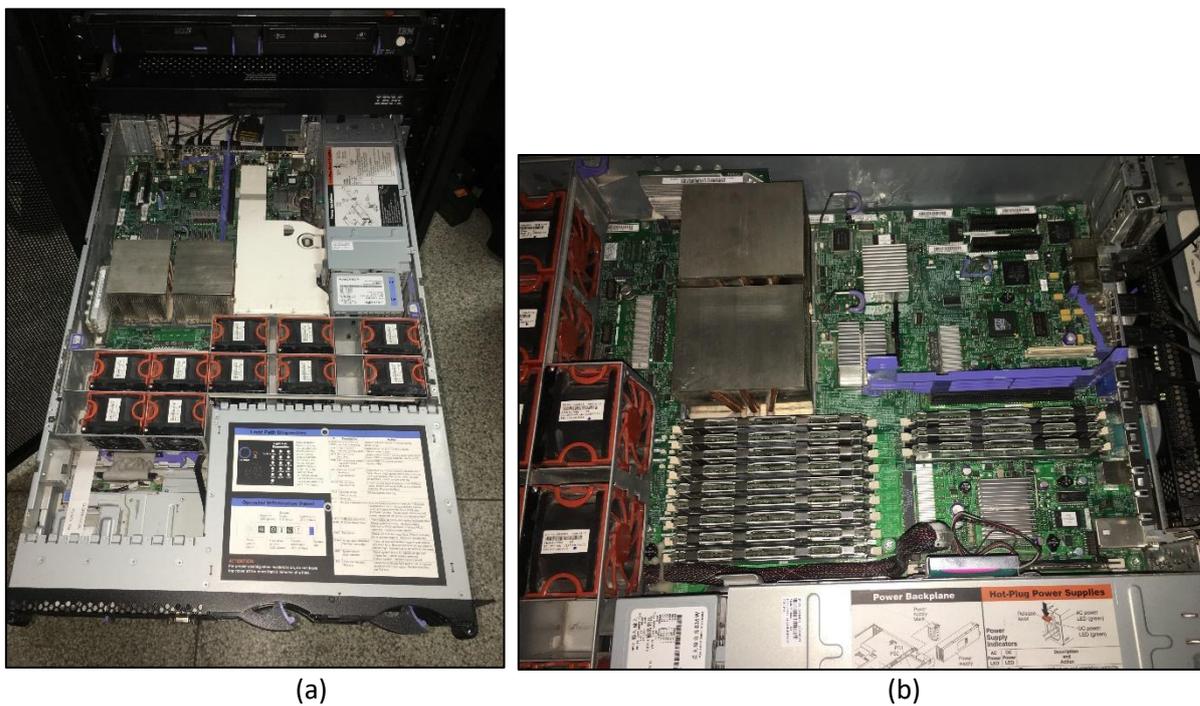
Figura 120 – Instalação de banco de baterias nos servidores realizado no dia 18/02/2020.

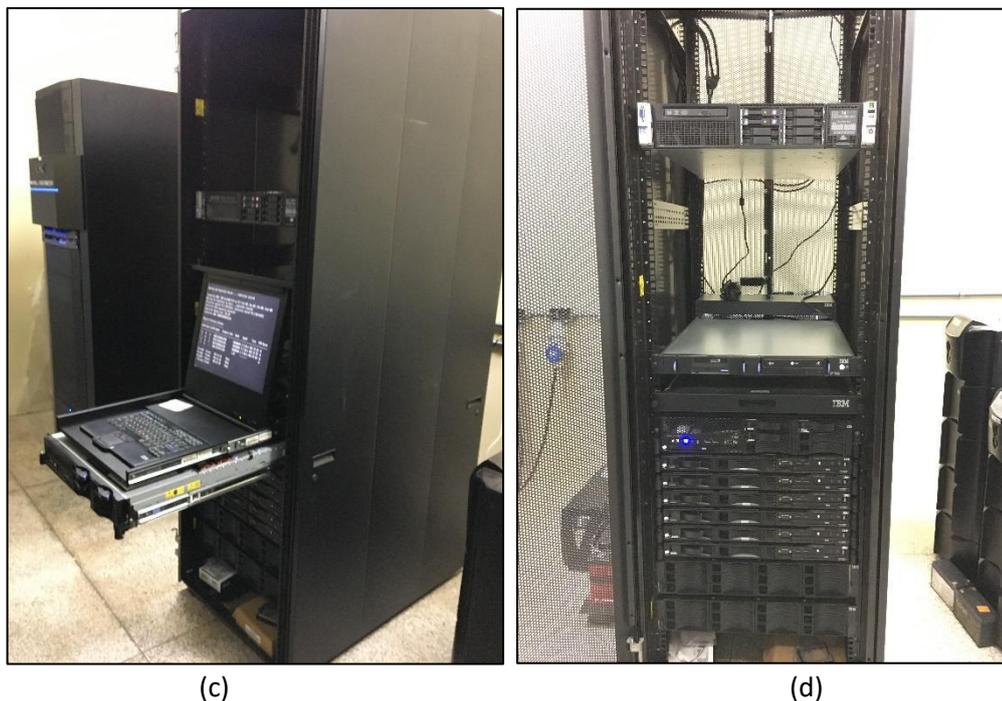


Fonte: Acervo pessoal.

c. Reconfiguração do IBM System x3650 com aumento de memória RAM no dia 02/06/2020

Figura 121 – Reconfiguração do IBM System x3650 realizado no dia 02/06/2020.





Fonte: Acervo pessoal.

3. RETIRADA DOS ABRIGOS METEOROLÓGICOS NO CENTRO COMERCIAL

A retirada dos abrigos no Centro Comercial ocorreu no dia 18/11/2019 e sua desmontagem no dia 19/11/2019 para ter acesso ao *datalogger* Hobo MX2301. As imagens a seguir mostram as condições que se encontravam e o corte interno dos abrigos utilizados. Será possível observar que os pontos com tráfego intenso impregnaram o equipamento de fuligem.

Figura 122 – Abrigos meteorológicos usados na pesquisa de campo. (a) Antes da instalação no dia 18/10/2019 e (b) Após sua retirada no dia 18/11/2019



Fonte: Acervo pessoal.

Figura 123 – Desmontagem do abrigo instalado no P1 – Praça Floriano Peixoto.



(a)

(b)

(c)



(d)

(e)

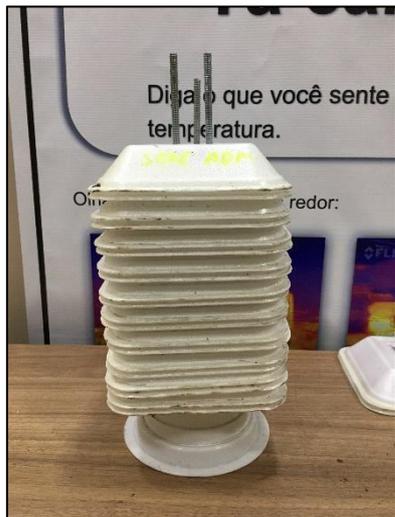
(f)



(g)

Fonte: Acervo pessoal.

Figura 124 – Desmontagem do abrigo instalado no P2 – Sede Administrativa da Assembleia de Deus.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)

Fonte: Acervo pessoal.

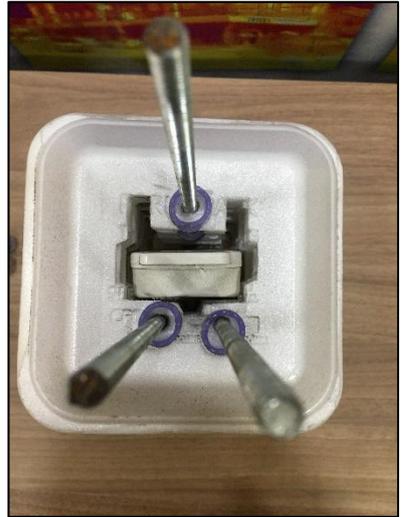
Figura 125 – Desmontagem do abrigo instalado no P3 – Caixa Econômica Federal.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)

Fonte: Acervo pessoal.

Figura 126 – Desmontagem do abrigo instalado no P4 – Supermercado Fortaleza.



(a)



(b)



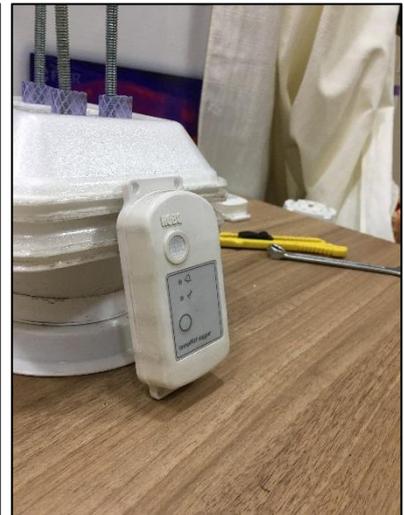
(c)



(d)



(e)



(f)

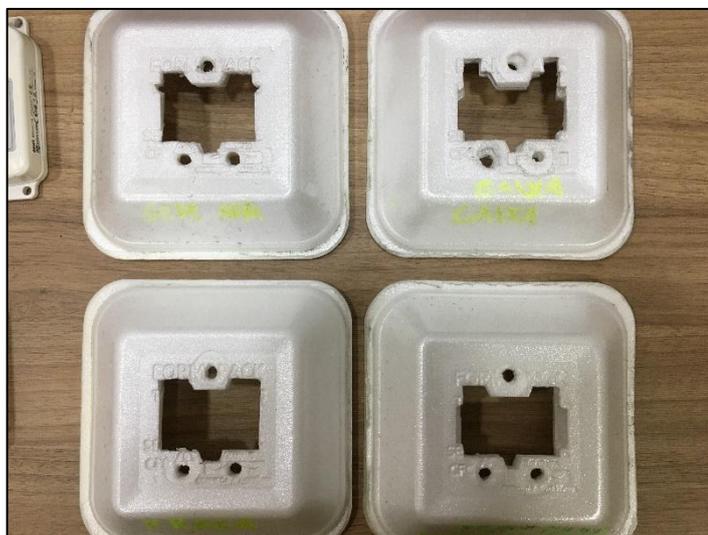
Fonte: Acervo pessoal.

Figura 127 – Abrigos abertos e ao lado dos sensores empregados. (a) Sensores posicionados sobre os pratos de EPS dos abrigos; (b) Somente os sensores posicionados próximos; e c) Corte internos dos abrigos.



(a)

(b)



(c)

Fonte: Acervo pessoal.

Figura 128 – Pratos de EPS utilizados na camada com seus cortes internos expostos. (a) Corte interno do P2; (b) Corte interno do P3, sendo o modelo 1 original da validação; (c) Corte interno do P1; e d) Corte interno do P4 com uma pequena ranhura lateral no prato superior da camada.



(a)

(b)



(c)

(d)

Fonte: Acervo pessoal.

APÊNDICE B

PESQUISA DE CAMPO

Instrumento de medição pertencente a _____ (instituição) e sob a cautela do pesquisador _____.

Em caso de quebra ou necessidade de retirada por terceiros, comunique ao responsável pelos seguintes contatos:

Email: _____

Telefone: _____

APÊNDICE C

Variáveis que compõe o arquivo climático EPW necessário na simulação dos cenários no ENVI-met (ENERGYPLUS, 2020).

	VARIÁVEL
1	Dew Point Temperature Data Source
2	Dew Point Temperature Data Uncertainty
3	Relative Humidity Data Source
4	Relative Humidity Data Uncertainty
5	Atmospheric Station Pressure Data Source
6	Atmospheric Station Pressure Data Uncertainty
7	Horizontal Infrared Radiation Data Source
8	Horizontal Infrared Radiation Data Uncertainty
9	Global Horizontal Radiation Data Source
10	Global Horizontal Radiation Data Uncertainty
11	Direct Normal Radiation Data Source
12	Direct Normal Radiation Data Uncertainty
13	Diffuse Horizontal Radiation Data Source
14	Diffuse Horizontal Radiation Data Uncertainty
15	Global Horizontal Illuminance Data Source
16	Global Horizontal Illuminance Data Uncertainty
17	Direct Normal Illuminance Data Source
18	Direct Normal Illuminance Data Uncertainty
19	Diffuse Horizontal Illuminance Data Source
20	Diffuse Horizontal Illuminance Data Uncertainty
21	Zenith Luminance Data Source
22	Zenith Luminance Data Uncertainty
23	Wind Direction Data Source
24	Wind Direction Data Uncertainty
25	Wind Speed Data Source
26	Wind Speed Data Uncertainty
27	Total Sky Cover Data Source
28	Total Sky Cover Data Uncertainty
29	Opaque Sky Cover Data Source
30	Opaque Sky Cover Data Uncertainty
31	Visibility Data Source
32	Visibility Data Uncertainty
33	Ceiling Height Data Source
34	Ceiling Height Data Uncertainty
35	Precipitable Water Data Source
36	Precipitable Water Data Uncertainty
37	Broadband Aerosol Optical Depth Data Source
38	Broadband Aerosol Optical Depth Data Uncertainty
39	Snow Depth Data Source

40	Snow Cover Data Uncertainty
41	Days Since Last Snowfall Data Source
42	Days Since Last Snowfall Data Uncertainty

APÊNDICE D

DOUTORADO INSTITUCIONAL UNIFAP-UFRJ-CAPES (FELIPE MONTEIRO) QUESTIONÁRIO DE PERCEPÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO

Data: _____ Hora: _____

Temperatura: _____ Umidade: _____ Vento: _____ (Velocidade)
 _____ (Direção)

Parte I - Dados do respondente:

Sexo: M() F() Idade: _____ Altura: _____ Peso: _____

Como você classifica sua cor de pele? (Classes adotadas pelo Censo do IBGE.)

- (1) Branca.
- (2) Parda.
- (3) Preta.
- (4) Amarela.
- (5) Indígena.

Vestimenta: Clo - _____

1. Há quanto tempo mora na cidade de Macapá ou região (Macapá, Santana e Mazagão)?

| () mais de 6 meses | () menos de 6 meses | () Mora em outra cidade: _____ |

2. Em qual bairro reside? _____

3. Você usa Ar Condicionado em casa ou no trabalho? () Casa () Trabalho

4. Você usa Chuveiro Elétrico em casa? _____

5. Há quanto tempo você está na rua? _____ hora (s) _____ minuto (s)

Parte II – Percepção e sensação térmica

1. Neste exato momento, você está sentindo:

() muito frio	() frio	() um pouco de frio	() nem frio nem calor	() um pouco de calor	() calor	() muito calor
-------------------	-------------	----------------------------	------------------------------	-----------------------------	--------------	--------------------

2. Com relação à temperatura, neste exato momento, você está se sentindo:

() confortável	() um pouco desconfortável	() desconfortável	() muito desconfortável
--------------------	--------------------------------	-----------------------	-----------------------------

3. Com relação à temperatura, neste exato momento, você preferiria estar sentindo:

() muito mais frio	() mais frio	() um pouco de frio	() Sem mudanças	() um pouco de calor	() mais calor	() muito mais calor
---------------------------	------------------	----------------------------	------------------------	-----------------------------	-------------------	----------------------------

APÊNDICE E

CERTIFICADO
DE CALIBRAÇÃO

27.718-2019

DADOS DO CLIENTE:

Nome: Felipe Monteiro.
Endereço: Avenida Dois, N° 174 - Jardim Marco Zero - Macapá/AP.

DADOS DO INSTRUMENTO CALIBRADO:

Descrição: Medidor de Stress Térmico Nº Série: 19060199
Fabricante: Criffer Tag: ---
Modelo: Protemp 4 Nº OS: ----
Data de Calibração: 03/10/2019 Procedimento de Calibração Pt-06-rev.00
Data de Emissão: 03/10/2019

CONDIÇÕES AMBIENTAIS

Temperatura: 25°C

Umidade Relativa: entre 35% e 70% ur

RASTREABILIDADE:

Identif.	Nº. Cert.	Validade
Medidor de Temperatura e Umidade	WA1F9918	08/11/2020

RESULTADO DA CALIBRAÇÃO:

	VR	VI	EI	± U	K
Globo(°C)	20,1	20,0	-0,1	1,4	2,0
	35,1	35,0	-0,1	1,4	2,0
	45,0	45,1	0,1	1,4	2,0
Bulbo Seco(°C)	VC	VI	EI	± U	K
	20,1	20,1	0,0	1,4	2,0
	35,1	35,1	0,0	1,4	2,0
45,0	45,2	0,2	1,4	2,0	
Bulbo Úmido(°C)	VC	VI	EI	± U	K
	20,1	19,9	-0,2	1,4	2,0
	35,1	35,1	0,0	1,4	2,0
45,0	45,2	0,2	1,4	2,0	

NOTAS:

- VR: Valor Convencional, valor correspondente ao padrão utilizado.
VI: Valores de Indicação, resultado obtido da média aritmética na unidade da grandeza correspondente ao instrumento sob calibração.
EI: Erro de Indicação, (VI - VR).
U: A Incerteza expandida de medição relatada é declarada como a Incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência k, que para uma distribuição t-Student correspondente a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95,45%.
A incerteza padrão da medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.

- Os resultados deste certificado refere-se exclusivamente ao instrumento submetido a calibração específicas, não sendo extensivo a quaisquer lotes.
- Este certificado não tem valor para fins de metrologia legal e se limita exclusivamente ao instrumento calibrado.
- Os resultados são válidos somente para o estado do instrumento no momento da calibração.

Assinado de forma digital por DAIANE
TRINDADE COSTA:00087748037
DN: c=BR, o=ICP-Brasil, ou=Secretaria da
Receita Federal do Brasil - RFB, ou=RFB e-CPF
A1, ou=(EM BRANCO), ou=Autenticado por AR
CNB CF, cn=DAIANE TRINDADE
COSTA:00087748037

Signatário Autorizado

Página 1/1

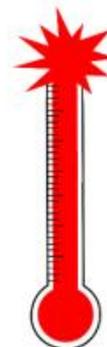
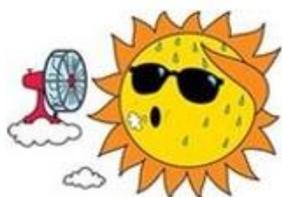
APÊNDICE F



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ – UNIFAP
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

PESQUISADOR: PROF. FELIPE MONTEIRO

TEMA: **CONFORTO AMBIENTAL E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO CENTRO COMERCIAL DE MACAPÁ, AMAPÁ.**



Tá calor?

Diga o que você sente em relação a temperatura.

Olha como está ao nosso redor:

