

**O CLIMA URBANO NA METRÓPOLE MANAUARA: DIFERENÇAS
TERMOHIGROMÉTRICAS NO BAIRRO DO COROADO, MANAUS-AM**

**THE URBAN CLIMATE IN THE METROPOLIS MANAUARA:
THERMOHYGROMETRIC DIFFERENCES IN THE NEIGHBORHOOD
COROADO, MANAUS-AM**

**EL CLIMA URBANO EN LA METRÓPOLI MANAUARA: DIFERENCIAS
TERMOHIGROMÉTRICAS EN EL BARRIO COROADO, MANAUS-AM**

Bruno Sarkis Vidal¹<https://orcid.org/0000-0001-8782-3197>

Kemyla de Oliveira França Andrade²<https://orcid.org/0000-0003-4692-3575>

Bianca Silva de Souza³<https://orcid.org/0000-0003-2018-7899>

Leandro Félix de Castro⁴<https://orcid.org/0000-0002-3883-5930>

RESUMO

O processo de urbanização acelerado e sem planejamento prévio provoca distúrbios climáticos, com potencial significativo para prejudicar a qualidade de vida da população urbana. Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo avaliar as variações de temperatura e umidade relativa do ar no bairro Coroadó, Manaus/AM; além de correlacionar com dados de temperatura de superfície e NDVI. Utilizou-se do transecto móvel como principal metodologia de coleta de dados de temperatura e umidade, com auxílio do instrumento termo-higrômetro. As coletas ocorreram de 15 a 19 de julho de 2022 no período de 13 às 14 horas, e os dados foram tabulados, tratados estatisticamente e analisados a partir dos condicionantes do bairro Coroadó, bem como, foram interpolados e mapeados. A partir disso, é possível inferir que a área densamente urbanizada e as características do uso e cobertura da terra são fatores responsáveis pela distribuição térmica no âmbito do espaço intraurbano, propiciando assim, a ocorrência de ilhas de calor. Dessa maneira, as condicionantes do espaço urbano estão diretamente relacionadas com o comportamento térmico da atmosfera circundante, de forma que o índice de vegetação detém maior capacidade de modular o campo térmico do bairro, e por sua vez, influencia na qualidade de vida dos residentes.

Palavras-chave: Transecto móvel. Clima Urbano. Ilhas de Calor. Manaus.

¹ Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGEOG) da Universidade Federal do Amazonas (UFAM). E-mail: bruno.sarkis.v@gmail.com

² Mestranda do Geografia pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGEOG) da Universidade Federal do Amazonas (UFAM). E-mail: kofaandrade@gmail.com

³ Mestranda do Geografia pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGEOG) da Universidade Federal do Amazonas (UFAM). E-mail: biancasilvadesouza31@gmail.com

⁴ Doutorando do Geografia pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGEOG) da Universidade Federal do Amazonas (UFAM). E-mail: leandrofelix27@gmail.com

ABSTRACT

The accelerated and unplanned urbanization process causes climatic disturbances, with significant potential to harm the quality of life of the urban population. In this sense, this work aimed to evaluate the variations of temperature and relative humidity of the air in the Coroadó neighborhood, Manaus/AM. In addition to correlate with data of surface temperature and NDVI. The mobile transect was used as the main methodology for collecting temperature and humidity of the air data, with the aid of the thermo-hygrometer instrument. The collections occurred on July 15 to 19, 2022 in the period from 13 to 14 hours, the data were tabulated, statistically treated and analyzed from the constraints of the Coroadó neighborhood, as well as were interpolated and mapped. From this, it is possible to infer that the densely urbanized area and the characteristics of land use and coverage are factors responsible for the thermal distribution within the intra-urban space, thus providing the occurrence of heat islands. In this way, the conditioning factors of the urban space are directly related to the thermal behavior of the surrounding atmosphere, so that the vegetation index has greater ability to modulate the thermal field of the neighborhood, and in turn, influences the quality of life of residents.

Keywords: Mobile transects. Urban climat. Heat island. Manaus.

RESUMEN

El proceso de urbanización acelerado y sin planificación previa provoca perturbaciones climáticas, con potencial significativo para perjudicar la calidad de vida de la población urbana. En este sentido, este trabajo tuvo como objetivo evaluar las variaciones de temperatura y humedad relativa del aire en el barrio Coroadó, Manaus/AM. Además de correlacionarlas con datos de temperatura superficial y NDVI. Se utilizó el transecto móvil como metodología principal para la colecta de datos de temperatura y humedad, con el auxilio del instrumento termo-higrómetro. Las colectas ocurrieron en los días 15 a 19 de julio de 2022 en el período de 13 a 14 horas, y los datos fueron tabulados, tratados estadísticamente y analizados a partir de las restricciones del barrio de Coroadó, así como, fueron interpolados y mapeados. A partir de esto, es posible inferir que el área densamente urbanizada y las características de uso y cobertura del suelo son factores responsables por la distribución térmica dentro del espacio intraurbano, propiciando así la ocurrencia de islas de calor. De esta forma, las condiciones del espacio urbano están directamente relacionadas con el comportamiento térmico de la atmósfera circundante, por lo que el índice de vegetación tiene mayor capacidad de modular el campo térmico del barrio, y a su vez, influye en la calidad de vida de los residentes.

Palabras clave: Muebles de transectos. Clima urbano. Islas de calor. Manaus.

INTRODUÇÃO

O clima urbano despertou forte interesse na comunidade científica a partir da metade do século XIX. O intenso processo de urbanização atrelado a complexidade das redes das cidades, tornaram críticas às problemáticas referentes ao ambiente urbano. Um dos principais fatores foi a intensa degradação ambiental que assolava as cidades já industrializadas.

À medida que o crescimento das sociedades urbanas introduz elementos físicos e químicos na atmosfera, modificando os ambientes naturais, origina o clima urbano (LIMA, PINHEIRO, MENDONÇA, 2012).

Segundo Monteiro (2003), o clima urbano é um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização. Para Hidore e Oliver (2002), o clima de uma área urbana é uma modificação substancial de um clima local. No entanto, ainda não é possível estabelecer com exatidão qual o número de habitantes, concentração populacional, grau de impermeabilização ou densidade de edificações em que essa perturbação do clima local se inicia (ASSIS, 2010).

O clima de um local pode ser modificado pela inserção dos elementos que compõem as cidades, por meio das alterações de superfície que transformam o meio, tal alteração da superfície urbanizada contribui para o aumento de temperatura, modifica o fluxo dos ventos, diminuindo a umidade relativa do ar, reduzindo a infiltração da água das chuvas, em virtude da impermeabilização do solo causada pela pavimentação asfáltica, pelas novas construções, calçamentos, entre tantas outras interferências no ambiente natural (OLIVEIRA, 2011).

O clima interfere significativamente na vida do homem, desta forma, se torna necessário conhecer os dados climáticos da região em que se pretende desenvolver pesquisas que possam ser influenciadas por estas variáveis (OLIVEIRA, 2011).

A interferência pode ser entendida como as inter-relações de variáveis climáticas que contribuem e atuam na qualidade de vida. Nessa perspectiva, as cidades apresentam uma dinâmica climática singular em relação ao ambiente de seu entorno, caracterizando um tipo de microclima.

Nas grandes metrópoles, na escala microclimática, mais sensível à percepção humana, nota-se larga ocorrência das ilhas de calor (LOMBARDO, 1985), gerando maior desconforto devido à sensibilidade do corpo humano aos fatores termodinâmicos.

A ilha de calor é um fenômeno que ocorre nas porções do espaço urbano onde existem construtos antrópicos em grande volume, como áreas habitacionais com pouca vegetação e larga cobertura do solo, ou centros com numerosos prédios em proximidade.

Corresponde então, aos espaços urbanos onde os materiais de construção das edificações absorvem e retém mais calor do que áreas menos urbanizadas ou rurais, gerando um estresse e desconforto térmico quando a temperatura do ar se mantém elevada por mais tempo. Além do exposto, a radiação solar durante o início da noite, ou seja, após o pôr do sol quando a temperatura naturalmente tende a arrefecer, se mantém (GARTLAND, 2010).

É neste contexto que o bairro do Coroadó está inserido, e para verificar as diferenças térmicas na área de estudo, é necessário ir além das ferramentas oficiais de caracterização e análise do clima, visto que há uma carência de uma rede de estações meteorológicas automáticas fixas para coleta dos dados na cidade de Manaus.

Por essa razão, se justifica a utilização da metodologia a partir de Transectos Móveis, tendo em vista a necessidade de observar e analisar dados pontuais no espaço urbano, com valores de temperatura e umidade coletados no horário exato a ser investigado, com percurso previamente determinado, diferindo da estação fixa que é um ponto fixo que acaba homogeneizando as características singulares da cidade de Manaus.

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho destina-se a avaliar as variações de temperatura e umidade relativa do ar no bairro Coroadó, Manaus/AM, a partir da metodologia dos transectos móveis, classificando os ambientes urbanos do bairro a partir de aspectos geocológicos, correlacionando com os produtos de temperatura de superfície e índice de vegetação.

1.1 O CLIMA URBANO DE MANAUS E O PROCESSO DE URBANIZAÇÃO

O crescimento da cidade de Manaus, acelerado e não planejado, é resultado de uma intensa expansão urbana associada ao crescimento demográfico. Tal processo refletiu em impactos no ambiente, como a retirada da cobertura vegetal, poluição dos cursos d'água e alteração do microclima local.

A partir do ano de 1967, ocorre uma intensa ocupação do solo, com o aumento populacional e urbano devido a implantação da Zona Franca de Manaus - ZFM, ocasionando assim, importantes modificações de uso e ocupação do solo nas décadas seguintes.

Oliveira (2003), afirma que os limites da cidade perduraram próximos a área central (centro histórico) região mais antiga da cidade, durante o período que compreende os anos 50 até o início dos anos 60, sendo até então pouco alterados, porém, em 1967, quando foi criada a zona franca de Manaus, os limites da cidade foram significativamente modificados.

Manaus tem contribuído para as diversas transformações ocorridas nos últimos anos em termos do avanço da urbanização na região central da Amazônia (BRICENO, CÂNDIDO, 2016). A velocidade de crescimento das cidades propiciou múltiplos espaços interdependentes, todavia, repletos de disparidades socioeconômicas e deterioração ambiental, onde a degradação atmosférica está também inserida neste contexto (MENDONÇA, 2003).

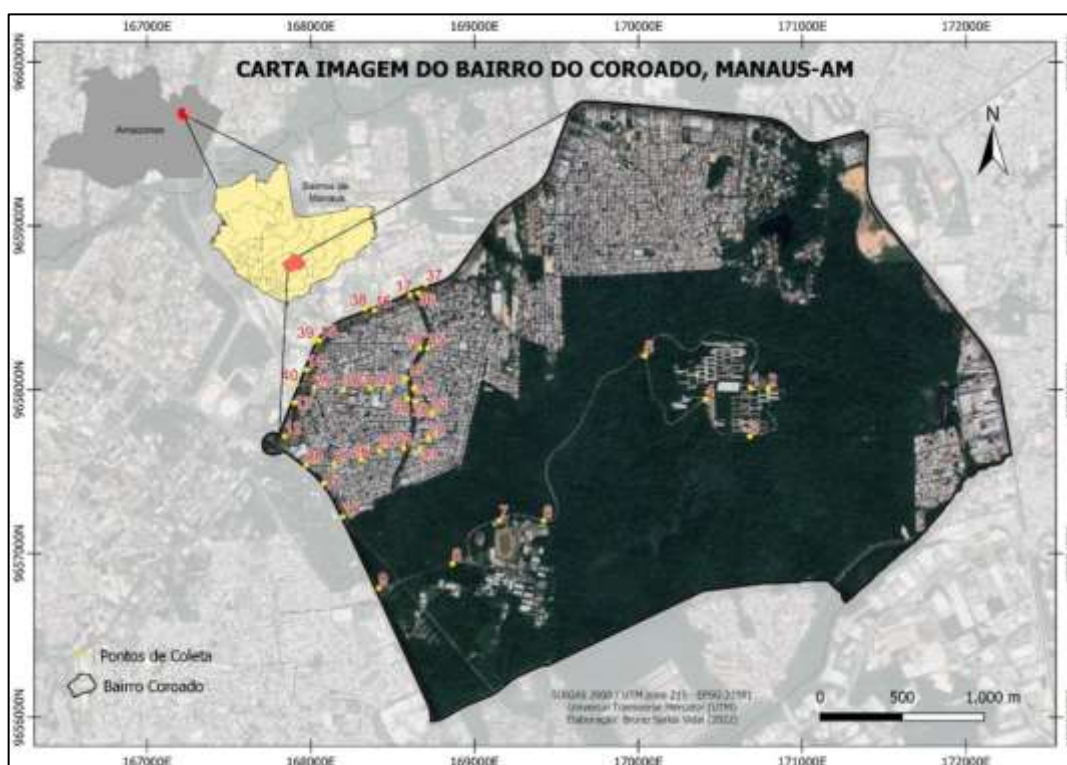
A atmosfera sobre a cidade de Manaus é caracterizada pelo clima equatorial quente úmido, predominante da Região Norte, apresentando índices de temperatura elevados. Entretanto, as altas temperaturas da cidade não ocorrem apenas por estar inserida em uma região naturalmente quente, mas por ser uma cidade densamente urbanizada e ocupada (NIMER, 1989).

Isto posto, o processo de verticalização da cidade de Manaus, a impermeabilização do solo, os materiais construtivos, pavimentação de vias, tráfego de veículos e a redução de áreas verdes geram ilhas de calor na cidade, aumentando assim a temperatura no meio urbano.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O bairro do Coroado está localizado na Zona Leste da cidade de Manaus, Amazonas, Brasil (Figura 1). Surgiu na década de 1970 resultante de aglomerados subnormais na área pertencente, até então, a Área de Proteção Ambiental (APA) da Universidade Federal do Amazonas (UFAM) (SILVA, VIDAL, MELO, 2021).

Figura 1 - Localização do bairro Coroado, Manaus-AM



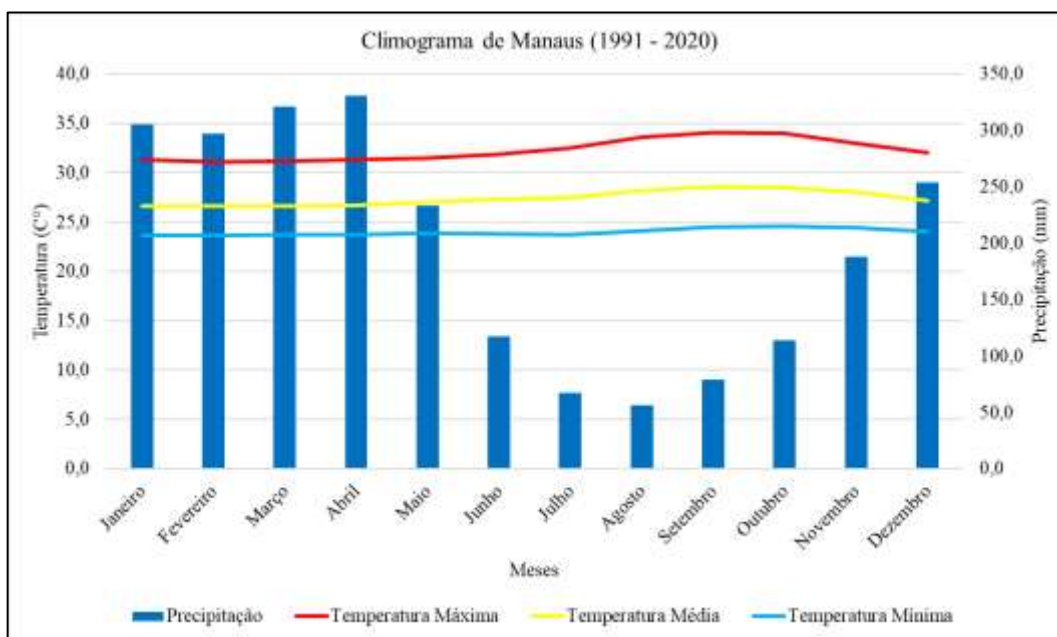
Elaboração: Autores (2022). **Fonte:** IBGE (2021), PMM (2022) e Base dos autores (2022).

O clima de Manaus é considerado tropical úmido de monção, do tipo Am segundo a aplicação da classificação de Köppen realizada por Dubreuil et al. (2018). Observa-se uma

baixa amplitude térmica anual na área de estudo, característica específica do clima equatorial. De acordo com os dados da última normal climatológica (1991-2020) disponibilizada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a temperatura mínima anual do ar de Manaus é de 24°C, enquanto a média anual é 27,4°C, e a temperatura máxima média anual de 32,3°C.

Ao observar o climograma, os meses de julho a novembro apresentam os maiores valores de temperatura, já os meses de dezembro a maio correspondem ao período com as temperaturas mais baixas. Nesta região, os valores de temperatura estão associados a ocorrência de precipitação, que demonstra um elevado volume durante maior parte do ano, indicando uma longa estação chuvosa no período de dezembro a abril, e estação seca nos meses de junho a outubro (Figura 2).

Figura 2 - Climograma da cidade de Manaus-AM



Fonte: INMET (2022).

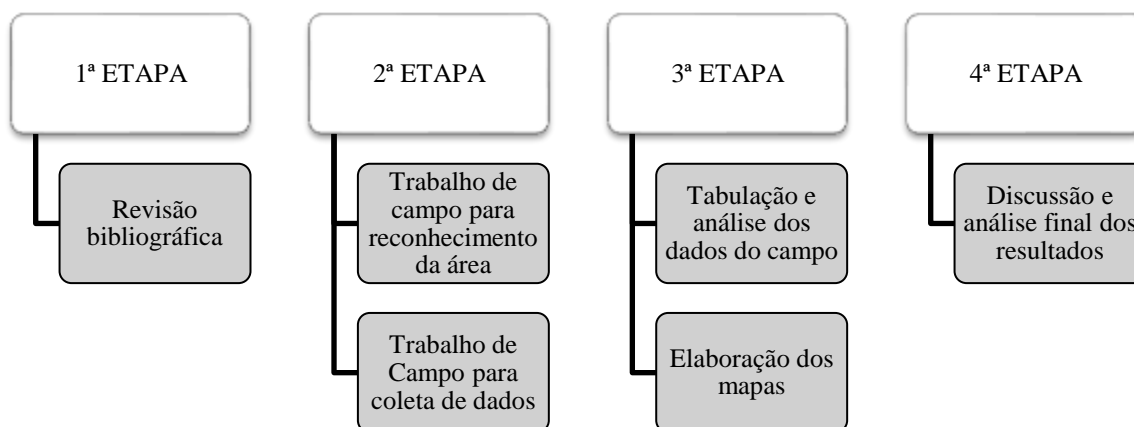
Os sujeitos sociais que residem na área de estudo, são oriundos de diferentes regiões do país, e também, do interior do estado do Amazonas, a fim de encontrar oportunidades de emprego na Zona Franca de Manaus e melhores condições de vida na capital amazonense.

É importante destacar que, o processo de ocupação do bairro Coroadó marcou a expansão da cidade de Manaus para a Zona Leste. De início, suas áreas eram utilizadas para fabricação de carvão por moradores das adjacências, e atualmente abrange uma população de 51.354 habitantes, equivalente a 2,85% da população da cidade de Manaus (SOUZA et al. 2013).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A elaboração do presente trabalho baseou-se no tipo de pesquisa quali-quantitativa, que possibilita a análise de indicadores qualitativos e quantitativos em um mesmo estudo. A partir disso, os procedimentos metodológicos (Figura3) adotados ao longo da pesquisa foram: revisão bibliográfica, trabalho de campo, análise espacial e processamento digital de imagens.

Figura 3 - Procedimentos metodológicos adotados para a realização do trabalho



Elaboração: Autores (2022).

A revisão bibliográfica foi a etapa inicial, que procurou reunir informações acerca dos elementos climáticos e dos fatores atmosféricos. Isto, levando em consideração a proposta do Sistema Clima Urbano (SCU) de Monteiro (1976), que introduz o tratamento do clima através de uma perspectiva sistêmica. Utilizou-se das plataformas científicas: Periódicos Capes, Scielo e Google Scholar para realizar uma revisão sistemática utilizando as palavras chaves do estudo.

3.1 TRANSECTOS MÓVEIS

O transecto móvel é o método de coleta de dados climáticos bastante utilizado em estudos climatológicos intraurbanos, principalmente para a verificação de modificações entre os parâmetros climáticos nas áreas com diferentes processos de uso e cobertura da terra (VALIN JUNIOR, SANTOS, 2020).

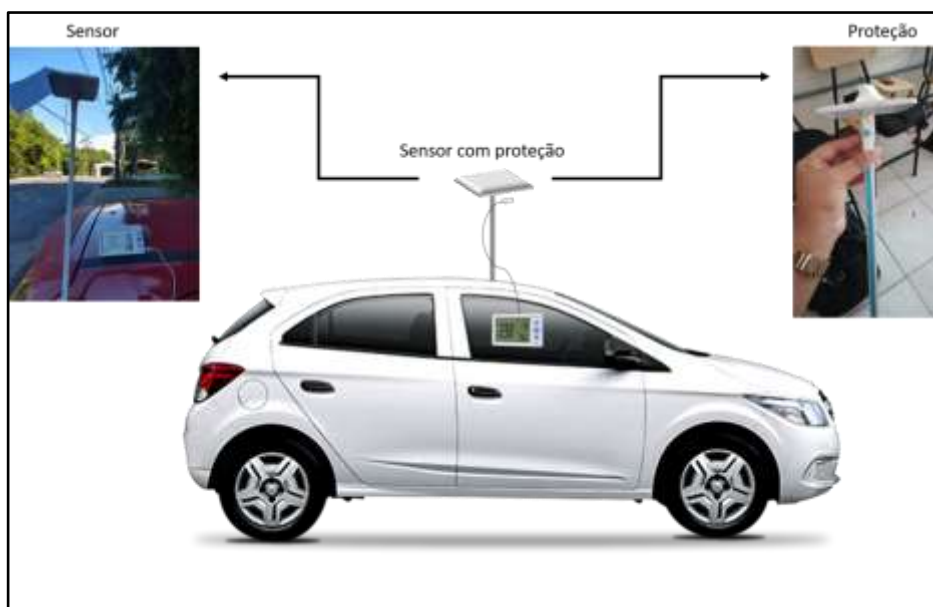
Realizou-se um trabalho de campo prévio no dia 14 de junho de 2022 para identificar e registrar as coordenadas geográficas dos locais de coleta do transecto móvel, com o auxílio de um sensor de GPS foram selecionados e registrados 40 pontos de coleta de dados de temperatura, umidade e condicionantes intraurbanas na área de estudo.

As condicionantes intraurbanas definidas foram densidade de construção no entorno de cada ponto de coleta e características da vegetação em alta, média e baixa. Além da morfologia do terreno em platô, vertente e fundo de vale.

Nos dias 15 a 19 de junho de 2022 foram coletados os dados termo-higrométricos, ressalta-se que o tempo de coletar foi inferior 1 (uma) hora, com o automóvel não ultrapassou a velocidade de 35 km/h. A área de estudo possui características distintas, o lugar de partida foi o ponto de ônibus do Instituto de Filosofia, Ciências Humanas e Sociais (IFCHS), da Universidade Federal do Amazonas (UFAM) e como ponto final, o Posto BR, localizado na Avenida Cosme Ferreira, nº 357.

Para a realização das coletas pelo transecto móvel, foi utilizado o instrumento digital termo-higrômetro MT-241A, da marca Minipa do Brasil. Este equipamento de temperatura e umidade possui sensor externo de aço inoxidável com precisão de $\pm 1,0^{\circ}\text{C}$. A fim de evitar o contato direto com os raios solares, foi instalado em uma haste de PVC, com aproximadamente 1 (um) metro, uma cobertura de PVC para proteger o sensor (Figura 4).

Figura 4 - Proteção utilizada para o sensor de temperatura e umidade



Elaboração: Autores (2022).

3.2 ANÁLISE ESPACIAL E INTERPOLAÇÃO DOS DADOS

Após a aquisição dos dados, realizou-se a tabulação e tratamento estatístico dos dados de campo no software Excel. Etapa primordial para transformação dos dados tabulares em pontos para possibilitar a elaboração de superfícies com a finalidade de estimar a temperatura do ar de forma realista para pontos não amostrados, procedimento realizado através da interpolação.

O método de interpolação escolhido foi o Inverso da Distância Ponderada (IDW), devido à quantidade de pontos de coletas em relação ao tamanho da extensão a ser interpolada. O IDW determina os valores utilizando uma combinação linear ponderada de um conjunto de dados de amostras (FERREIRA, 2013). Sendo assim, o peso atribuído a essa superfície criada é uma função da distância inversa. Murara (2019) verifica que os produtos gerados por IDW partem do pressuposto de que as coisas mais próximas entre si são mais parecidas do que as mais distantes.

Para organização dos dados geográficos e superfícies interpoladas, elaborou-se um Banco de Dados Geográficos em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) no software QGIS 3.26 para confecção dos produtos finais. Utilizou-se do Sistema de Coordenadas Métricas (UTM) e o Datum SIRGAS 2000, zona 20 sul como parâmetros cartográficos.

3.4 TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE

Para elaboração do mapa de temperatura de superfície, utilizou-se a banda termal (B10) do satélite Landsat 8 TIRS (*ThermalInfrared Sensor*) com data de passagem em 26 de agosto de 2021, a característica espectral desta banda é de operação no infravermelho termal na resolução espectral de 10,6 μm – 11,9 μm e resolução espacial de 100 metros, porém processadas e tratadas para o tamanho de pixel de 30 metros pela *United States Geological Survey*(USGS).

O tratamento desta banda seguiu a metodologia proposta por Cook (2014), onde se realiza a conversão dos níveis de cinza (NC) da banda 10 para radiância, com as seguintes equações e parâmetros a seguir:

$$L\lambda = MLQ_{cal} + AL \quad (1)$$

Onde:

$L\lambda$ = Radiância do topo da atmosfera (Watts/(m²*srad/ μm));

ML = Fator multiplicativo de redimensionamento da banda 10 (Radiance_Mult_Band_10);

AL = Fator aditivo de redimensionamento da banda 10 (Radiance_Add_Band_10);

Qcal = Valores de pixel quantificados e calibrados do produto padrão (DN)

Posteriormente após a aplicação da fórmula 1, aplicou-se a equação 2 para converter os valores em temperatura Kelvin e finalmente para graus Celsius.

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L\lambda} + 1\right)} - 273,15 \quad (2)$$

Onde:

T = Temperatura em Kelvin

K2 = Constante de calibração 2 (1321,08)

K1 = Constante de calibração 1 (774,89)

L = Radiância espectral

273,15 = Conversão de Kelvin para graus Celsius.

3.5 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI)

Para o mapeamento do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) utilizou-se as bandas do vermelho (R) e infravermelho próximo (NIR) do satélite PlanetScope, que possui resolução espacial de 3 metros, objetivando analisar a vegetação sadia da área de estudo, o que possibilitou avaliar as áreas de vegetação densa, ausência de vegetação e vegetação com estresse.

O NDVI normaliza a razão simples para o intervalo de -1 a +1, onde as áreas de vegetação mais intensa aproximam-se dos maiores valores, o índice é calculado como a relação entre a refletividade média das porções do vermelho e infravermelho do espectro eletromagnético através da seguinte fórmula (JENSEN, 2009).

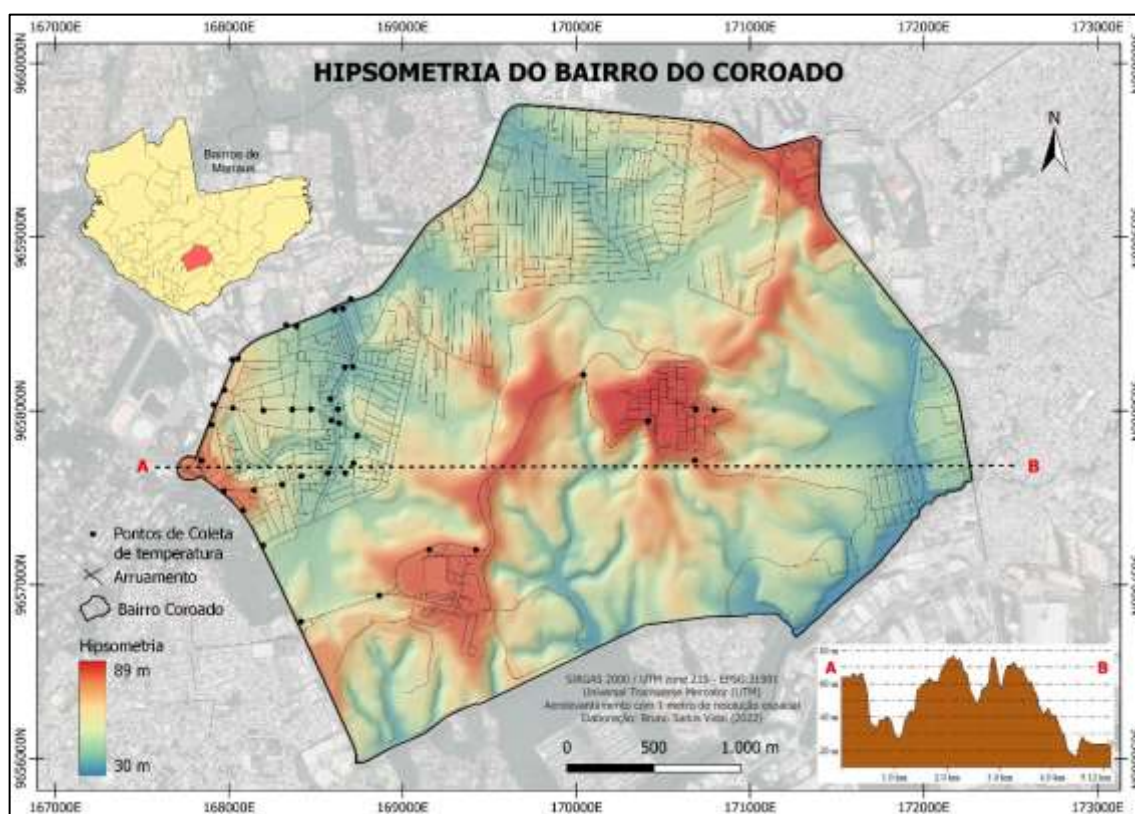
$$NDVI = \frac{(NIR-R)}{(NIR+R)} \quad (3)$$

Desta maneira, os produtos gerados foram discutidos em conjunto para compreensão do campo higró-termico do bairro do Coroadó, Zona Leste da cidade de Manaus-AM.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A representação do relevo por meio de dados altimétricos do bairro Coroadó (Figura 5), apresentou uma cota mínima de 30 metros de altitude e uma máxima de 89 metros de altitude. As áreas densamente construídas da área de estudo estão localizadas nas menores cotas altimétricas, principalmente no fundo de vale do igarapé da Beira-Rio⁵, enquanto os pontos que estão localizados na APA UFAM encontram-se sob platores geomorfológicos.

Figura 5 - Hipsometria do bairro Coroadó, Manaus-AM

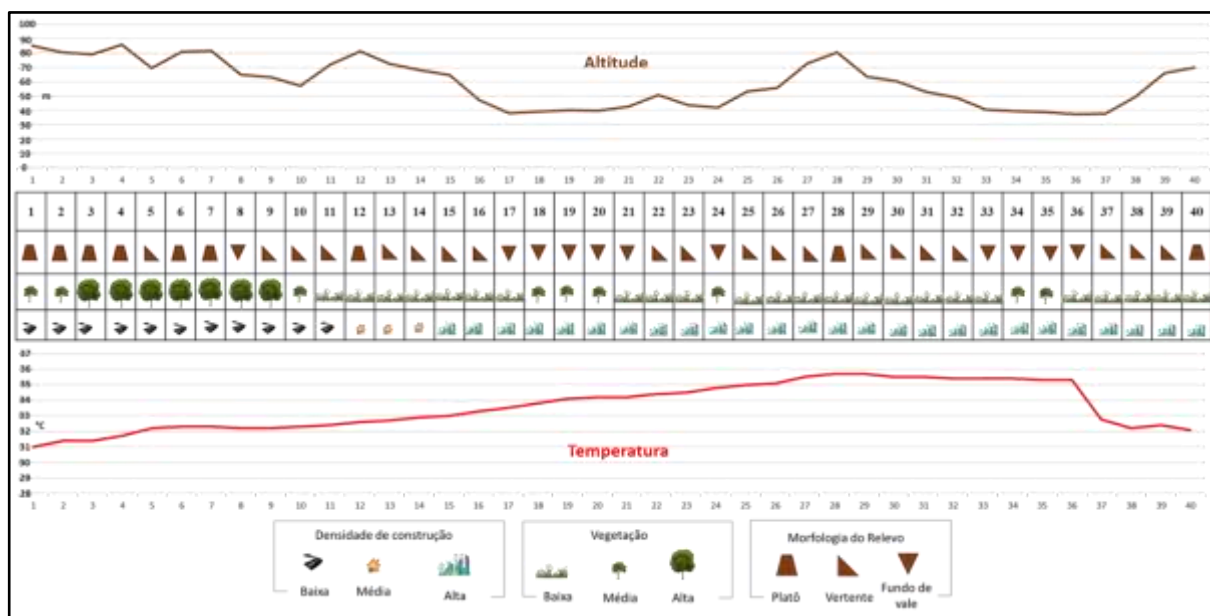


Elaboração: Autores (2022). **Fonte:** IBGE (2021) PMM (2022) e Base dos autores (2022).

Os resultados alcançados com a realização deste trabalho permitiram a classificação das condicionantes urbanas a partir da observação dos diferentes tipos de uso e cobertura da terra (Figura 6) na área estudada, que envolve desde o ponto de ônibus do Instituto de Filosofia Ciência Humanas e Sociais (IFCHS), da UFAM ao Posto BR, localizado na Avenida Cosme Ferreira, nº 357.

⁵ Na toponímia do lugar, na região Amazônica, são “cursos d’água amazônicos de primeira ou segunda ordem, componentes primários de tributação de rios pequenos, médios e grandes” (AB’SABER, 1953).

Figura 6 - Caracterização dos condicionantes urbanos



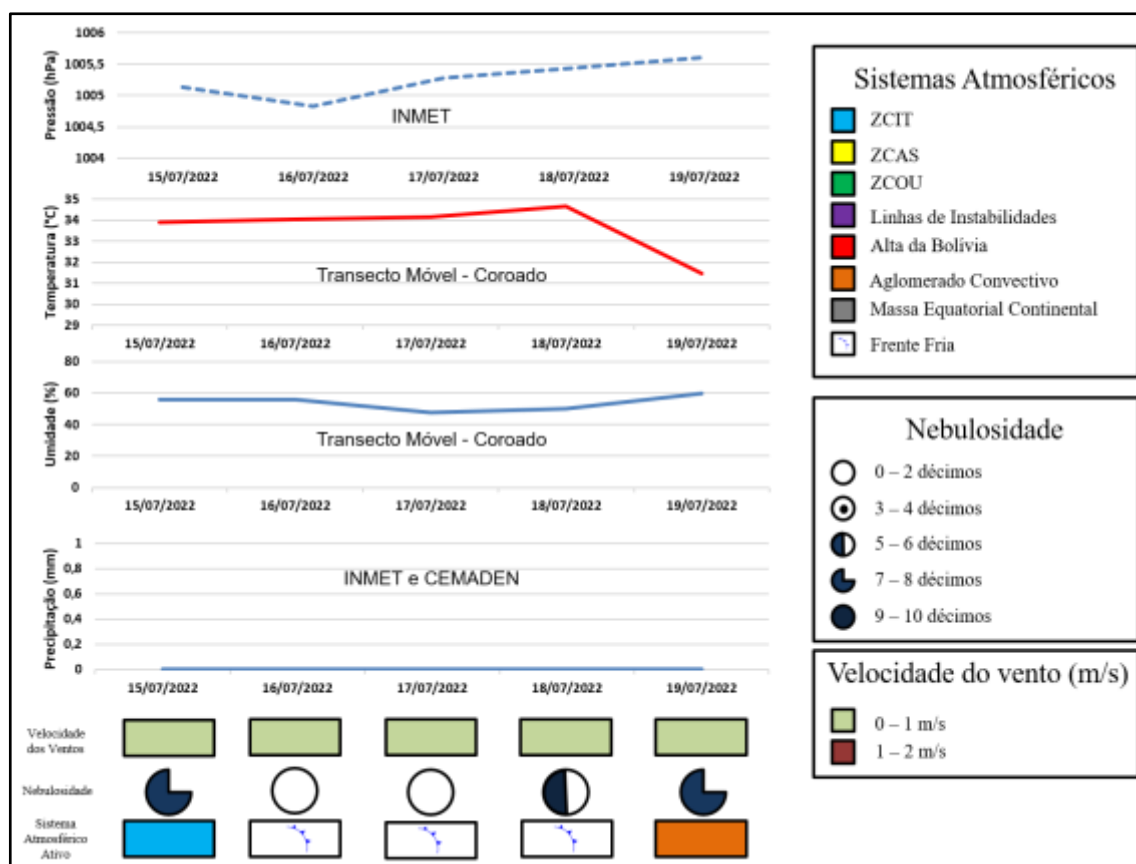
Elaboração: Autores (2022).

Tais características do uso e ocupação do solo (Figura 6) também influenciam na distribuição térmica do espaço urbano. Desse modo, a partir dos pontos coletados é possível perceber consonância entre as condicionantes e o comportamento de temperatura do ar, especialmente no que diz respeito à vegetação e densidade construtiva, que tendem a ser inversamente proporcionais no ambiente urbano. O arranjo de baixo índice de vegetação e alta densidade construtiva promove espaços urbanos com temperaturas mais elevadas e umidade reduzida.

Ao analisar o ritmo climático na escala diária com objetivo de compreender a contínua sucessão dos estados atmosféricos, o que possibilita a caracterização do tempo atmosférico através da dinâmica da circulação regional, avaliou-se as condições climáticas para os 5 dias de análise.

Com o auxílio dos dados diários da estação automática de Manaus do INMET e do transecto móvel, foi possível construir a matriz da análise rítmica proposta por Monteiro (1976). Observou-se que não houve precipitação em todos os dias analisados, em virtude disto, a nebulosidade do céu foi baixa, colaborando para as altas temperaturas observadas entre os dias 15 a 18 de julho. A partir do dia 16 de julho a atuação de uma frente fria no Sul/Sudeste brasileiro propiciou a formação de aglomerados convectivos na Amazônia, o que refletiu na alta nebulosidade e temperatura mais baixa no dia 19 de julho (Figura 7).

Figura 7 - Análise rítmica para área de estudo

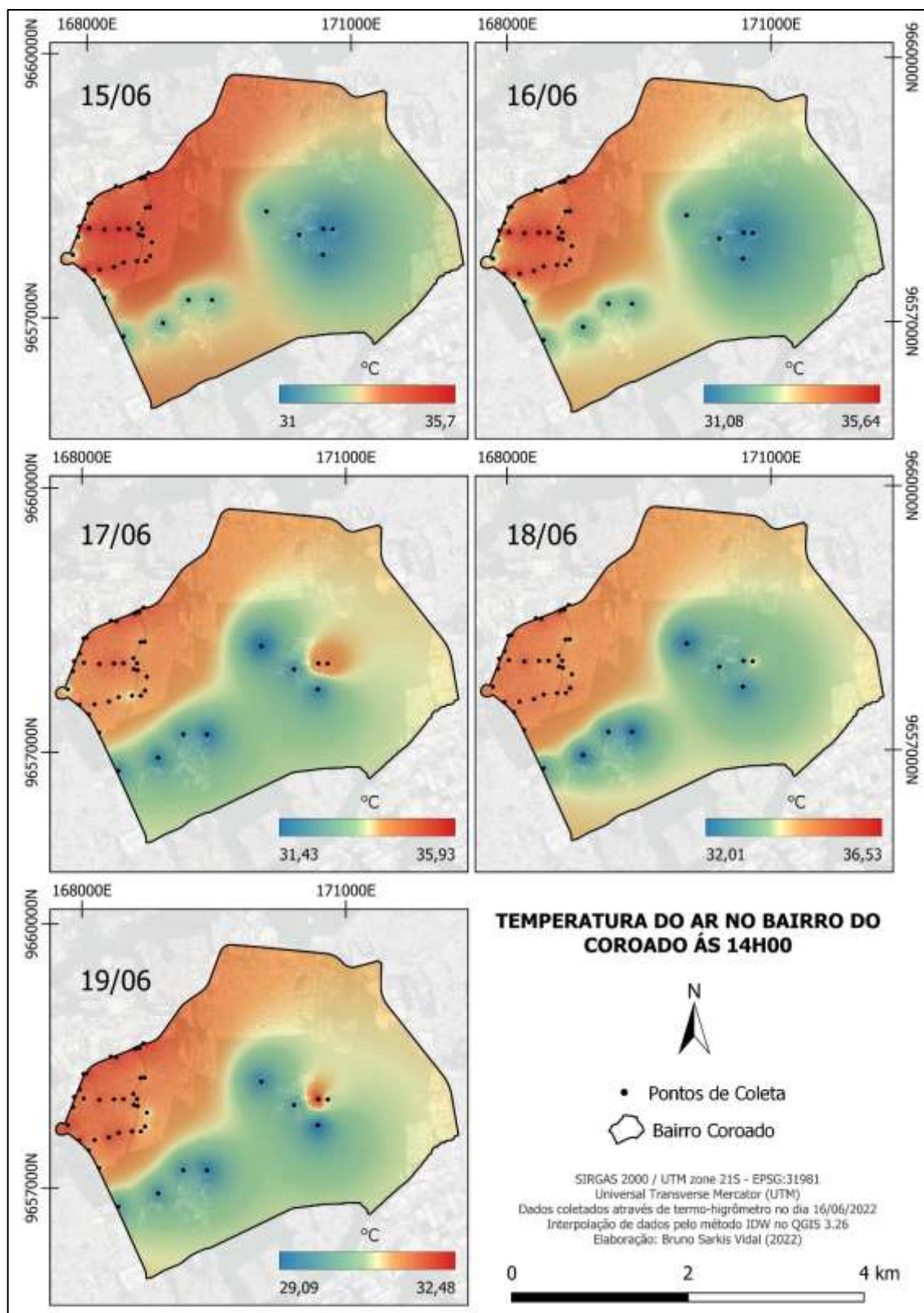


Elaboração: Autores (2022). Fonte: INMET (2022), Cemaden (2022).

4.1 TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AR DO BAIRRO COROADO

O resultado da coleta de dados registrados no período de cinco dias está demonstrado na figura 8. Diante disto, foi possível observar que durante o turno vespertino no bairro do Coroadó, a temperatura mais baixa foi registrada no dia 19 de julho, marcando 29,90 °C, enquanto a temperatura mais alta foi de 36,53 °C foi verificado no dia 18 de julho. Ambos dados diários, como pode-se notar, apresentam amplitude térmica de 4 °C.

Figura 8 - Temperatura do ar no bairro Coroado, Manaus-AM, às 14 horas



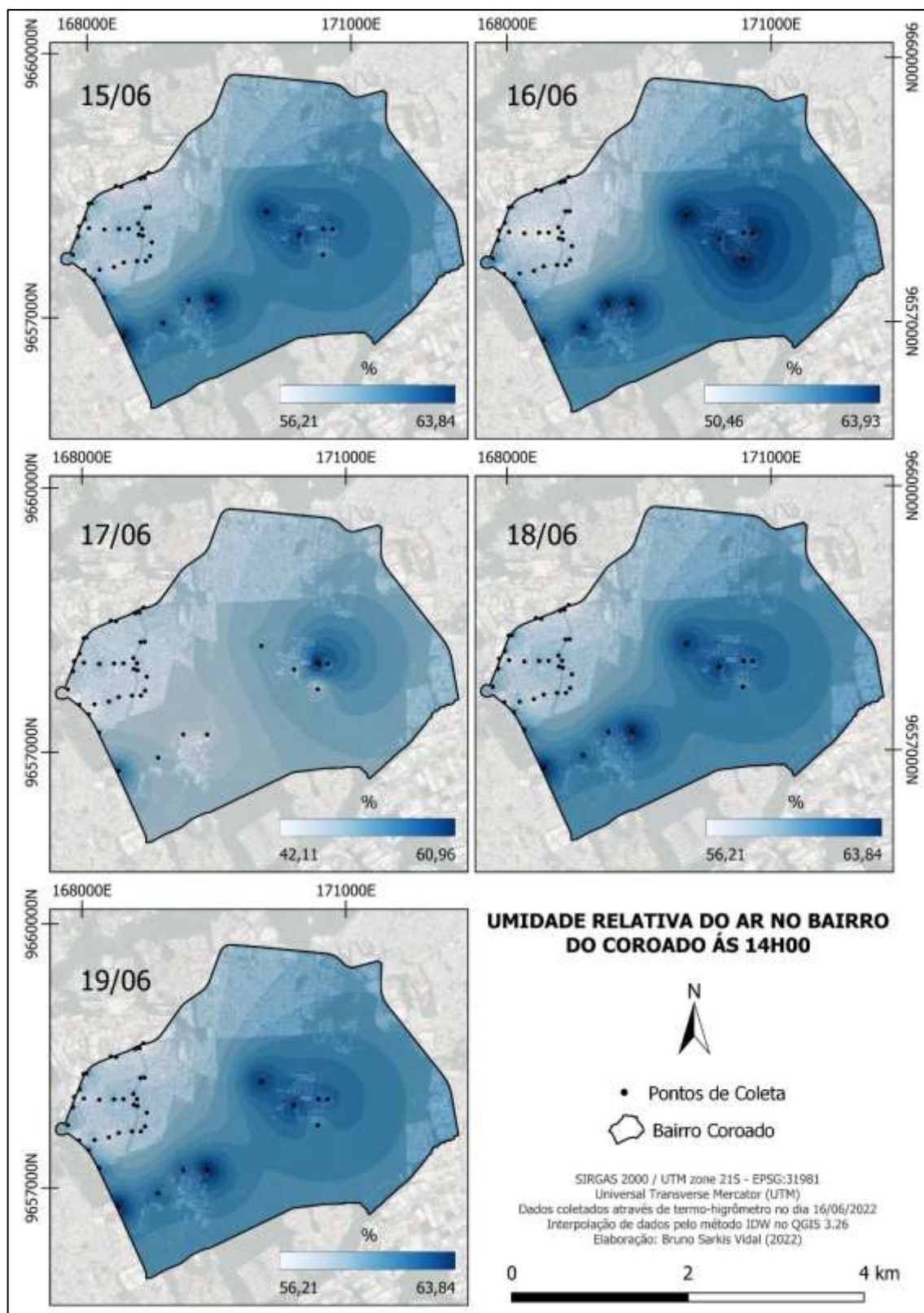
Elaboração: Autores (2022). **Fonte:** IBGE (2021) PMM (2022) e Base dos autores (2022).

Em relação às maiores temperaturas, as mesmas foram registradas onde existem alta densidade construtiva, e baixo índice de vegetação, neste caso, os núcleos urbanos do bairro do Coroadó. As regiões com os menores valores de temperatura estão localizadas nas áreas com baixa densidade construtiva e com grande índice de vegetação arbórea, neste caso, o campus universitário da UFAM.

A amplitude térmica registrada, diferença entre a máxima e a mínima, ficou em torno de 4 °C para os dados diários. De acordo com resultados, o campo térmico pela tarde, atesta a influência da urbanização no armazenamento da radiação solar, aumentando a temperatura local, gerando como consequência disto ilhas de calor.

A figura 9, demonstra o resultado da coleta de dados e a distribuição espacial da umidade relativa do ar no bairro Coroadó. Observa-se que as isolinhas com os menores valores de umidade registrados foi de 42,11% no dia 17 de julho, enquanto o maior valor de umidade registrado foi de 63,93% no dia 16 de julho. Dos cinco dias analisados, cerca de quatro dias mantiveram o mesmo valor de umidade, acima de 60%, apenas um dia dos cinco analisados manteve umidade abaixo dos 50%.

Figura 9 - Umidade Relativa do Ar no bairro Coroadó, Manaus-AM, às 14 horas



Elaboração: Autores (2022). **Fonte:** IBGE (2021) e Base dos autores (2022).

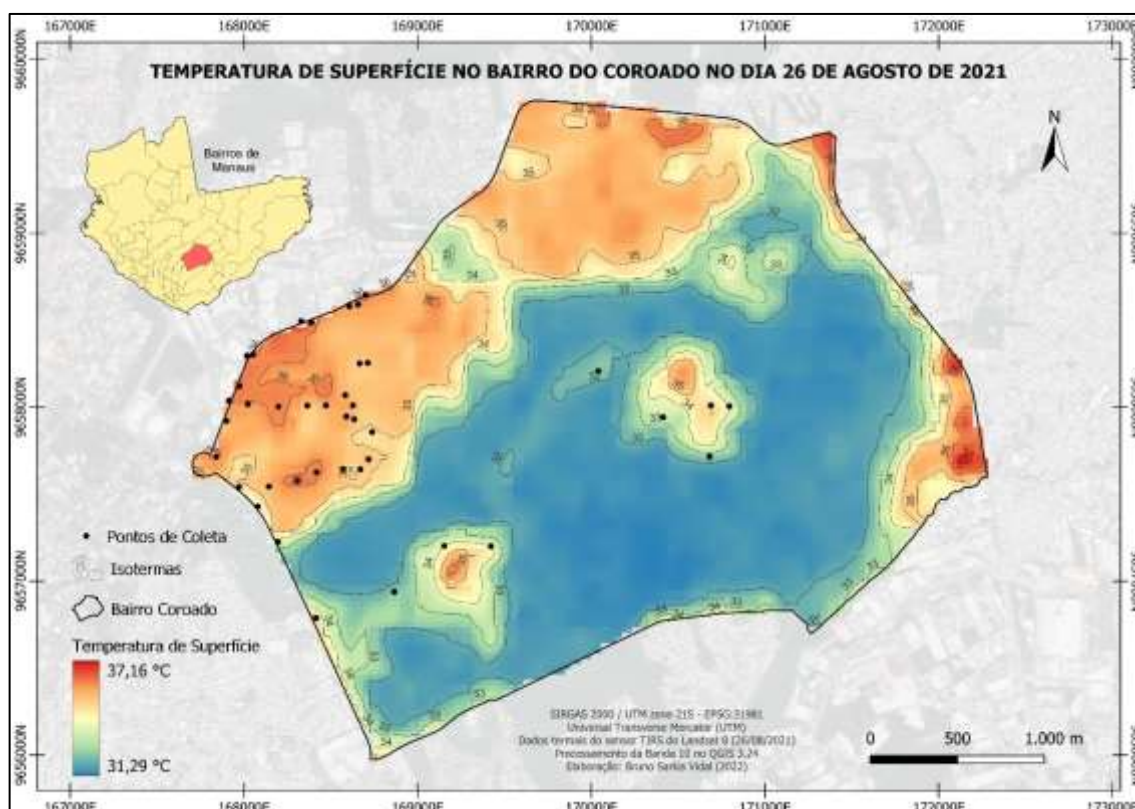
Diante dos dados registrados, pode-se observar que a umidade relativa do ar é influenciada por algumas variáveis existentes, portanto os altos índices de umidade relativa do

ar foram registrados nas áreas com maior densidade de vegetação, e os menores nas regiões mais densamente construídas.

A maior amplitude higrométrica observada foi no dia 17 de julho, na qual apresentou uma diferença de 18,85% de umidade. O mapa de umidade relativa do ar corrobora na análise da importância dos fragmentos florestais e da vegetação arbórea nas áreas urbanas das cidades, a exemplo da área de estudo, onde a APA da UFAM exerce a função de ilha de frescor, enquanto a área densamente construída do Coroadó é caracterizada com ilha de calor, com elevadas temperaturas e baixa umidade.

A temperatura de superfície (Figura 10) registrada no dia 26 de agosto de 2021, pelo satélite Landsat 8 TIRS, apesar da imagem ser de um ano anterior aos dias registrados para análise, as características urbanas permaneceram preservadas, possibilitando a análise térmica, verificou-se uma temperatura mínima de 31,29 °C e uma máxima de 37,16°C, com uma amplitude térmica de 6°C.

Figura 10 - Temperatura de superfície no bairro Coroadó, Manaus-AM, em agosto de 2021



Elaboração: Autores (2022). **Fonte:** IBGE (2021) Landsat TIRS (2021) e Base dos autores (2022).

É importante salientar que a temperatura de superfície nos mostra o fluxo de calor entre a atmosfera e superfície, demonstrado nas interações entre os alvos e suas respostas espectrais, os objetos encontrados na superfície terrestre possuem albedo diferenciados, uns

maiores que outros, sendo assim, uns absorvem mais calor do que outros, a exemplo do pavimento asfáltico e das coberturas de fibrocimento e alumínio.

A comparação da temperatura de superfície com temperatura e umidade relativa do ar analisadas anteriormente, confirma-se que as altas temperaturas e formações de ilhas de calor encontram-se em áreas densamente urbanizadas e baixíssimo índice de vegetação, e as áreas de ilhas de frescor nas áreas mais densamente vegetada.

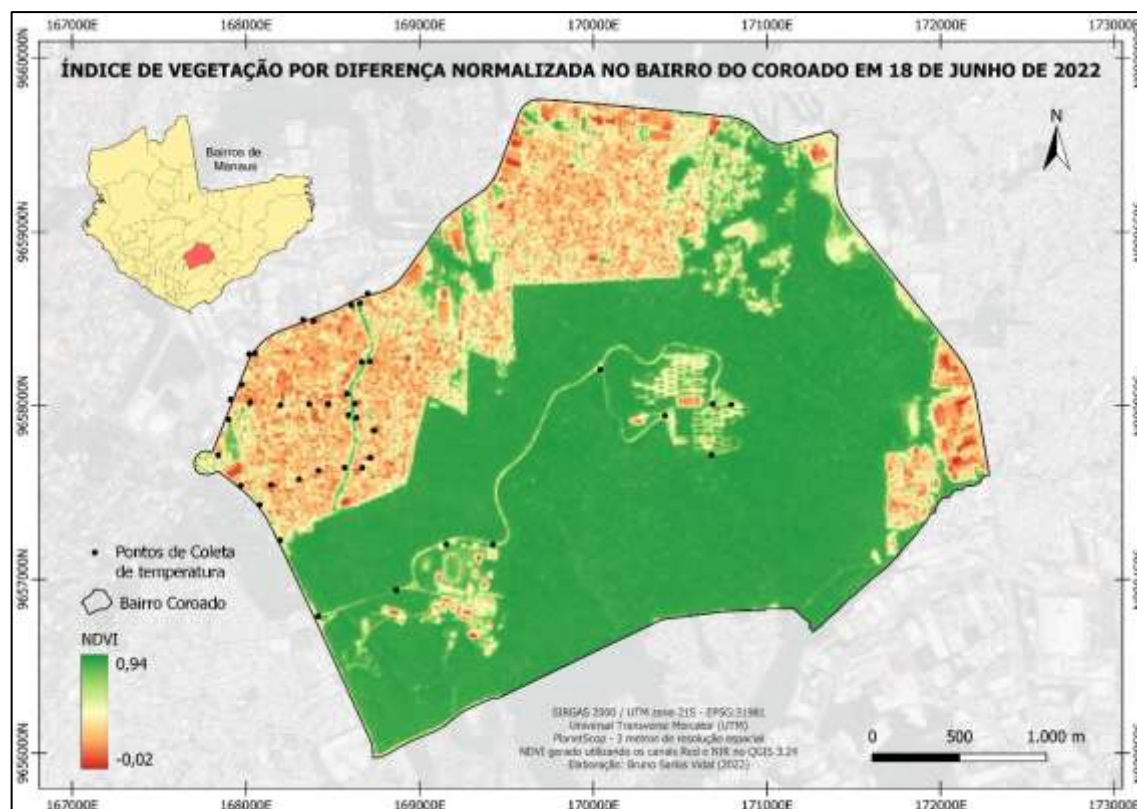
A vegetação oferece recurso essencial para que a atmosfera sobre as cidades demonstre características compatíveis com a adequada qualidade de vida urbana, (MULLER, 1998). Nesta perspectiva, ao examinar o comportamento de temperatura do ar e da superfície no bairro Coroadó, há a diferenciação notória entre a área densamente urbanizada e o campus da Universidade Federal do Amazonas (UFAM).

A distinção observada se dá a partir das características divergentes da cobertura do solo, dessa maneira, áreas com maior densidade de construtos urbanos e menor vegetação apresentam maiores valores de temperatura. Reforçando a fundamental importância da vegetação presente em ambientes urbanos para estabilidade climática e redução das amplitudes térmicas nestes espaços.

A heterogeneidade do uso e cobertura do solo afeta não somente a temperatura, mas também os valores de umidade emitidos à atmosfera circundante. A vista disso, na figura 10 é possível constatar o mesmo padrão de distribuição espacial acerca da umidade relativa do ar, de modo que apresenta taxas mais baixas nas áreas densamente construídas. Sendo assim, a manifestação da temperatura e umidade está diretamente relacionada às características de cobertura da terra e organização espacial da urbanização, que indicam prejuízos no conforto térmico da população e possíveis danos à saúde.

O mapa de NDVI do bairro Coroadó, demonstrado na figura 11, apresenta o índice de vegetação para área de estudo, na qual buscou-se apresentar as heterogeneidades do uso e cobertura do solo.

Figura 11 - Índice de vegetação por diferença normalizada, bairro Coroado, Manaus-AM



Elaboração: Autores (2022). **Fonte:** IBGE (2021), PlanetScope (2022) e Base dos autores (2022).

As classes que estão representadas em tons de vermelho e amarelo foram identificadas como edificações urbanas, avenidas e ruas pavimentadas, e solo exposto, feições que representam a ausência de vegetação, portando, os menores valores do NDVI. Enquanto, as classes com tonalidade verde e de maior extensão, representam a vegetação sadia, de porte arbóreo, e sem estresse.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dado o exposto, com a utilização da metodologia dos transectos móveis, através da realização das coletas e análises dos dados climáticos de temperatura, umidade e das condicionantes intraurbanas do bairro Coroado, Manaus-AM, avaliou-se que, a área densamente urbanizada e as características do uso e cobertura do solo são fatores responsáveis pela distribuição térmica no âmbito do espaço intraurbano, propiciando assim, a ocorrência de ilhas de calor.

Analisou-se que, as menores temperaturas e maiores valores da umidade relativa do ar, foram registrados em áreas com alta cobertura vegetal, que integram a Área de Proteção

Permanente (APA) da Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Em contrapartida, observou-se que, as maiores temperaturas e menores índices de umidade relativa do ar, foram registrados em áreas com alto grau de adensamento construtivo e com pouca cobertura vegetal, como a Avenida Cosme Ferreira e os núcleos urbanos do Coroadó.

Classificou-se os ambientes urbanos do bairro Coroadó a partir de aspectos geocológicos (densidade de construção, características da vegetação e morfologia do terreno). A partir disso, notou-se que as condicionantes e o comportamento térmico avaliados são destoantes no espaço intraurbano.

Fomenta-se ainda, que a elaboração dos mapas de temperatura do ar foi uma importante ferramenta para a avaliação dos dados alcançados. Visto que, possibilitou a espacialização dos resultados das coletas, propiciando a análise das variações de temperatura e umidade relativa do ar no bairro Coroadó.

Dessa forma, entende-se que o processo de urbanização acelerado e não planejado no município de Manaus e na área de estudo, ocasionou significativas modificações no clima intraurbano. Por sua vez, as alterações no clima afetam de forma direta a saúde, o bem-estar e a qualidade de vida dos sujeitos.

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Hidrogeografia, Climatologia e Análise Ambiental da Amazônia (HIDROGEO) por ter fornecido o termo-higrômetro utilizado no trabalho de campo dos transectos móveis.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento da bolsa de mestrado dos três primeiros autores.

REFERÊNCIAS

ASSIS, W. L. **O sistema clima urbano do município de Belo Horizonte na perspectiva tempo-espacial**. 299 f. Tese (Doutorado em Geografia). Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.

BRICENO, J. L. P.; CÂNDIDO, L. A. Avaliação da Habilidade do Modelo WRF/UCM na Simulação do Clima Urbano de Manaus. **Anais do V congresso de Iniciação Científica do INPA-CONIC**, 2016. pp. 157-161.

COOK, M. J. **Atmospheric Compensation for a Landsat Land Surface Temperature Product**. Tese (Doutorado): Instituto de Tecnologia de Rochester, 2014.

DUBREUIL, V.; FANTE, K. P.; PLANCHON, O.; SANT'ANNA NETO, J. C. Os tipos de climas anuais no Brasil: uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015. **Confins**, n. 37, 2018. DOI: <https://doi.org/10.4000/confins.15738>

FERREIRA, M. C. **Iniciação à análise geoespacial**: teoria, técnicas e exemplos para geoprocessamento. São Paulo: Editora Unesp, 2013.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor**: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. Tradução de Silvia Helena Gonçalves. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

HIDORE, J. J.; OLIVER, J. E. **Climatology: an atmospheric science**. 2. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2002. 410p.

JENSEN, J. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos: Editora Parêntese, 2009.

LIMA, N. R. de; PINHEIRO, G. M.; MENDONÇA, F. Clima urbano no Brasil: Análise e contribuição da metodologia de Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro. **Revista Geonorte**, v. 3, n. 9, 2012.

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

MENDONÇA, F. A. **O estudo do clima urbano no Brasil**. In: MONTEIRO, C. A. de F.; MENDONÇA, F. Clima urbano. 2. ed. São Paulo: Contexto, 2003. pp. 175-190.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e clima urbano**. 25. São Paulo: IGEOG/USP, 1976. 181p. (Série Teses e Monografias, 25).

MONTEIRO, C. A. de F. **Clima Urbano**. 2. ed. São Paulo: Editora Contexto, 2003.

MULLER, J. **Orientação básica para o manejo de arborização urbana**. Edições FAMURS. Porto Alegre: Nova Prova, 1998.

MURARA, P. G. Técnicas de interpolação para a pesquisa em climatologia regional e agroclimatologia. **Revista Brasileira de Climatologia**. Ano 15 – Edição Especial – XIII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v0i0.66602>

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE – Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989.

OLIVEIRA, J. A. de. **Manaus de 1920-1967**: a cidade dura e doce em excesso. Manaus: Editora Valer - Governo do estado do Amazonas (Editora da Universidade Federal do Amazonas), 2003. 176p.

OLIVEIRA, J. A. de; COSTA, D. P. da. A análise da moraria em Manaus (AM) como estratégia de compreender a cidade. **Revista Eletrônica de Geografía y Ciencias Sociales**. Universidad de Barcelona. v. XI, n. 245 (30), 2007.

OLIVER, J. E.; HIDORE, J. J. **Climatology**. An atmospheric science. Prentice Hall, 2002.

SILVA, F. B. A.; VIDAL, B. S.; MELO, F. M. Produção do espaço e ilhas de calor superficiais em Manaus: Notas sobre os bairros Dom Pedro e Coroadó. In: SANTANA, Artur Silva de et al. (Org.). **Anais do VI Encontro de Pós-Graduação**. Instituição de Ensino Superior em Marabá, out, 2021.

SOUZA, A. M. B. de et al. Ferramentas para caracterização de área urbana resultado de diferentes processos de ocupação. In: **Proceedings of Safety, Health and Environment World Congress**, 2013. pp. 309-312.

VALIN JUNIOR, M. de O.; SANTOS, F. M. de M. Levantamento bibliográfico da utilização de transectos em pesquisas de clima urbano no Brasil e recomendações de padronização nos procedimentos. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 26, abr. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v26i0.67231>

Artigo recebido em: 29 de março de 2023.

Artigo aceito em: 29 junho de 2023.

Artigo publicado em: 05 de julho de 2023.