

**Índice de vegetação e Temperatura da superfície na cidade de Manaus,
Amazonas**

Vegetation index and surface temperature in the city of Manaus, Amazonas

Índice de vegetación y temperatura superficial en la ciudad de Manaus, Amazonas

Danilo Fernandes de Brito

Graduando em Geografia pela Universidade Federal do Amazonas
Bolsista pelo CNPQ. Manaus, Brasil
danilobrito.38833@gmail.com
ORCID 0009-0001-0140-3886

João Cândido André da Silva Neto

Professor da Universidade Federal do Amazonas
Laboratório HIDROGEO DEGEO- PPGEOG UFAM. Manaus, Brasil
joaocandido@ufam.edu.br
ORCID 0000-0001-7313-9837

RESUMO: O objetivo da presente proposta foi analisar a relação do índice de vegetação e temperatura da superfície sua influência na formação de ilhas de calor urbanas na cidade de Manaus-AM. A relevância da proposta se dá, por abordar uma das principais metrópoles do Brasil, que segundo o IBGE (2020), teve um crescimento populacional significativo nas últimas décadas, e acompanhado desse processo deve-se considerar às áreas de expansão e ocupação urbana, que muitas vezes ocorrem de modo inadequado, levando à supressão de áreas florestadas. Assim, é importante compreender a vegetação como um dos principais elementos de ambientes estáveis, refletindo na qualidade ambiental urbana, amenizando a temperatura do ar e superfície. Foram utilizadas ferramentas como as geotecnologias, visando à elaboração de mapas temáticos de índice de vegetação (NDVI) e temperatura de superfície (TST), estas utilizando imagens do satélite de diferentes períodos, como Landsat-8 TIRS (Thermal Infrared Sensor), e Sentinel 2, disponibilizadas gratuitamente pelo site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), todas estas atividades foram realizadas pelo software gratuito QGIS 3.10, no intuito de avaliar as áreas correspondentes aos índice de vegetação e temperatura observadas nos mapeamentos produzidos. A partir dos resultados obtidos verificou-se na cidade de Manaus apresentou os menores valores em torno de 30,5 °C, estes estão concentrado nas áreas de maior índice de vegetação e menor taxa de área construída, como as áreas de verdes apresentam temperaturas mais amenas. As maiores de temperatura da superfície foram superiores a 41 °C, localizadas em bairros densamente ocupados, e com empreendimentos industriais.

Palavras-chave: Índice de Vegetação; Temperatura da superfície; Ilhas de calor; Manaus.

SUMMARY: *The objective of this proposal was to analyze the relationship between the vegetation index and surface temperature and its influence on the formation of urban heat islands in the city of Manaus-AM. The relevance of the proposal is due to it addressing one of the main metropolises in Brazil, which, according to IBGE (2020), has had significant population growth in recent decades, and accompanied by this process, areas of urban expansion and occupation must be considered, which They often occur inappropriately, leading to the suppression of forested areas. Therefore, it is important to understand vegetation as one of the main elements of stable environments, reflecting on urban environmental quality, softening air and surface temperatures. Tools such as geotechnology were used, aiming to create thematic maps of vegetation index (NDVI) and surface temperature (TST), using satellite images from different periods, such as Landsat-8 TIRS (Thermal Infrared Sensor), and Sentinel 2, made available free of charge on the United States Geological Survey (USGS) website, all these activities were carried out using the free software QGIS 3.10, with the aim of evaluating the areas corresponding to the vegetation index and temperature observed in the mappings produced. From the results obtained, it was verified that the city of Manaus presented the lowest values of around 30.5 °C, these are concentrated in areas with the highest vegetation index and lowest rate of built area, as the green areas present higher temperatures. The highest surface temperatures were above 41 °C, located in densely occupied neighborhoods and with industrial enterprises.*

Keywords: *Vegetation Index. Surface Temperature. Heat Islands.*

RESUMEN: *El objetivo de esta propuesta fue analizar la relación entre el índice de vegetación y la temperatura superficial y su influencia en la formación de islas de calor urbanas en la ciudad de Manaus-AM. La relevancia de la propuesta se debe a que aborda una de las principales metrópolis de Brasil, que, según IBGE (2020), ha tenido un crecimiento poblacional significativo en las últimas décadas, y acompañado de este proceso, se deben identificar áreas de expansión y ocupación urbana. considerados, que a menudo se producen de forma inadecuada, lo que lleva a la supresión de zonas boscosas. Por lo tanto, es importante entender la vegetación como uno de los principales elementos de los ambientes estables, reflejándose en la calidad ambiental urbana, suavizando las temperaturas del aire y de las superficies. Se utilizaron herramientas como la geotecnología, con el objetivo de crear mapas temáticos de índice de vegetación (NDVI) y temperatura superficial (TST), utilizando imágenes satelitales de diferentes épocas, como el Landsat-8 TIRS (Sensor Térmico Infrarrojo) y el Sentinel 2, puestos a disposición de forma gratuita en el sitio web del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), todas estas actividades se realizaron utilizando el software libre QGIS 3.10, con el objetivo de evaluar las áreas correspondientes al índice de vegetación y temperatura observadas en los mapeos elaborados. De los resultados obtenidos, se verificó que la ciudad de Manaus presentó los valores más bajos, alrededor de 30,5 °C, estos se concentran en las zonas con mayor índice de vegetación y menor índice de área construida, ya que las áreas verdes presentan temperaturas más altas. agradable. Las temperaturas superficiales más altas superaron los 41 °C, en barrios densamente poblados y con empresas industriales.*

Palabras clave: *Índice de Vegetación. Temperatura de la superficie. Islas de calor.*

1. INTRODUÇÃO

O processo de urbanização e o adensamento das cidades são os principais fatores relacionados a formação de fenômeno de ilhas de calor. Todavia, seu conceito só veio no século XIX nos estudos de clima urbano, em razão da preocupação com o aumento da população no mundo (FIALHO, 2012).

Segundo a ONU (Organizações das Nações Unidas, 2019), cerca de 55% da população mundial vive em áreas urbanas e a expectativa é de que em até 2050 essa proporção aumente de 70%, resultado esse derivado de políticas descentralizadas. O processo países subdesenvolvidos. As áreas urbanas são, atualmente, o local de residência de metade da população do planeta. A cidade, ao se tornar a maior expressão das modificações realizadas pelo ser humano, reflete a conturbada relação entre o homem e a natureza (COSTA; RIBEIRO, 2018).

Segundo IBGE (2020), a população de Manaus apresentou um aumento significativo a partir dos anos 60, isso ocorreu pela aumento do fluxo migratório que ocorreu quando foi implantado o modelo econômico Zona Franca de Manaus no âmbito da política regional de integração nacional.

As mudanças trazidas pelo processo de industrialização afetam rapidamente a vida cotidiana dos amazonenses. O espaço urbano ganha outra visibilidade com o crescimento populacional decorrente do processo migratório que ocorre com a formação de inúmeros bairros que passam a constituir a periferia da cidade (ASSAD, 2006).

Porém, é a partir do crescimento populacional desordenado e acelerado que as paisagens vão sendo alteradas para adaptação humana, nessas mudanças incluem-se a supressão de áreas verdes, a impermeabilização do solo e pavimentação asfáltica, bem como coberturas de materiais predominantemente de fibrocimento e alumínio que intensificam a absorção de radiação ultravioleta, acelerando o aquecimento e configurando formações de ilhas de calor (ALEIXO e NETO, 2019).

Assim, afetando condições essenciais para a vida, pois a formação das Ilhas Calor Urbana se caracteriza pelo aumento na temperatura do ar, na temperatura de superfície, logo na alteração do clima local, que por consequência causam desconforto térmico na população e geram riscos de doenças respiratórias.

Para isso, o uso de geotecnologia pode ser aliado na busca dos resultados, dentre elas o uso de dados obtidos por meio de técnicas de sensoriamento remoto, como temperatura da superfície e índice de vegetação (NDVI) para auxiliar na identificação de ilhas de calor, bem como as inferências sobre o conforto térmico.

Segundo Silva et al (2017), o uso de sensoriamento remoto torna possível a utilização de imagens de satélites para diagnóstico da existência de ilhas de calor, além de possibilitar análise de características térmicas, ambientais e espaciais da superfície, tais como informações de temperatura de superfície e o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).

Tais mudanças serão determinantes na alteração do clima local, que segundo Monteiro (1976), a cidade gera um próprio clima que é resultado da influência de vários fatores que agem sobre a malha urbana e alteram o clima em escala local, sendo a qualidade do ar, o impacto das chuvas e o conforto térmico, os efeitos mais sentidos pela população.

Nascimento (2011), também cita o clima urbano como a alteração do clima local, decorrente do processo de urbanização, que é produto da ação do homem sobre o meio ambiente, principalmente no que diz respeito à alteração da superfície, no tocante a impermeabilização do solo e retirada da cobertura vegetal; a concentração de construções e atividades antrópicas, que armazenam e geram mais calor. Neste contexto, as geotecnologias podem ser consideradas uma ferramenta importante em que é possível se estabelecer aplicações, tais como o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), que são recorrentes nos estudos ambientais e de clima urbano. Outra ferramenta muito utilizada é a temperatura de superfície, estimada por meio de imagens de satélites.

Segundo Rosembach et al. (2005), os dados obtidos por sensoriamento remoto podem ser essenciais nos estudos ambientais, incluindo a supressão da vegetação, mudanças do uso da terra que representam análises importantes para planejamento e gestão urbana.

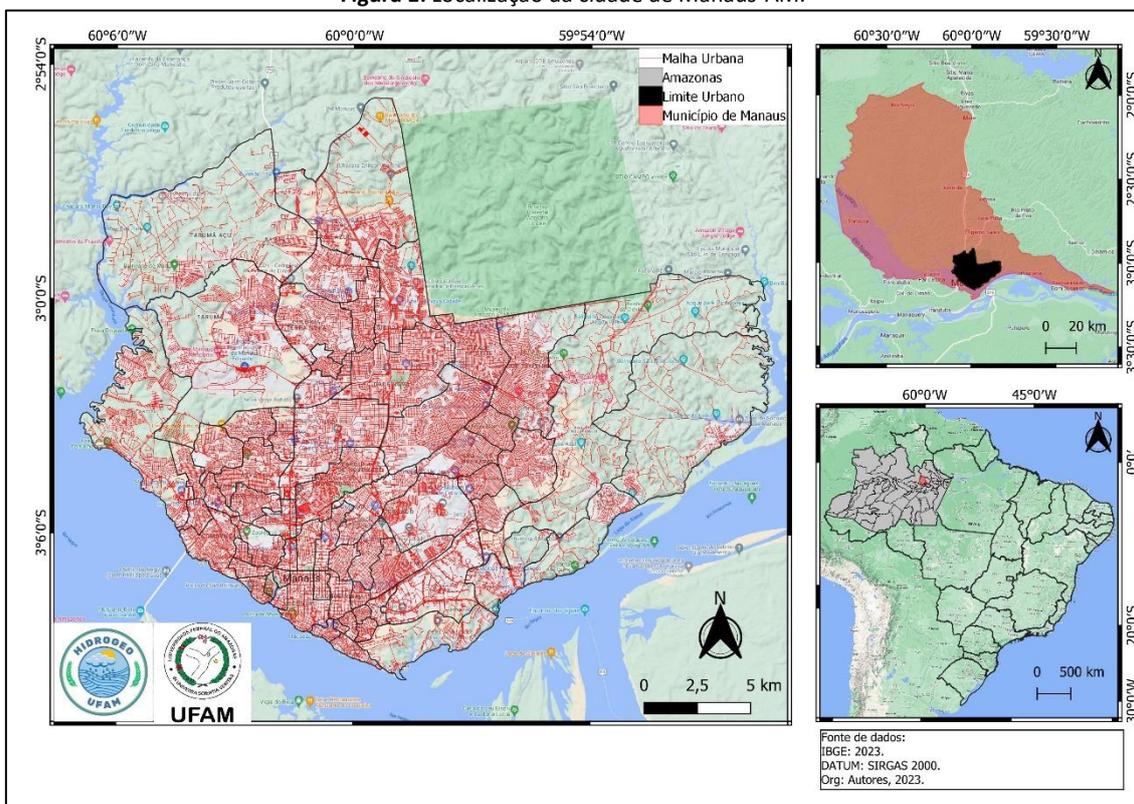
Para Bezerra et al. (2018), os processos de urbanização também afetam a temperatura de superfície (TST) que tem grande importância nos estudos sobre centros urbanos, pois seu papel é essencial no balanço energético da superfície, que resulta numa visão mais ampla sobre a influência da temperatura no conforto térmico dos cidadãos. Portanto, o uso do sensoriamento remoto é um dos meios mais frequentes de estudar o clima urbano, que também deve ser feito longe dos centros das cidades, pois estes são de grande relevância para compreender a qualidade de vida da sociedade, que conforme a sua condição financeira será mais afetada ou não pelos efeitos do clima urbano.

Nesse contexto, os objetivos do presente artigo foram analisar influência do índice de vegetação na formação de ilhas de calor superficiais na cidade de Manaus, caracterizar a temperatura de superfície na área de estudo, classificar o índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), e por fim verificar a relação entre índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), e temperatura de superfície.

3. METODOLOGIA

O presente projeto tem como área de estudo a cidade de Manaus, capital do Estado do Amazonas, localizada na microrregião denominada Médio Amazonas, (Figura 1).

Figura 1: Localização da cidade de Manaus-AM.



Org: Elaborado pelos autores (2023).

Segundo o IBGE (2020), a cidade de Manaus apresenta uma população estimada em 2020, de 2.219.580 (duas milhões duzentas e dezenove mil quinhentas e oitenta pessoas (IBGE, 2020).

O processo de ocupação e urbanização dos bairros de Manaus se intensificam principalmente após a instalação da Zona Franca de Manaus, em que vários bairros surgiram de forma desordenada, originando as ocupações inadequadas que reflete conseqüentemente no processo de uso e ocupação do solo urbano. Com o aumento da urbanização em bairros não planejados na cidade se acumula uma diferença de temperatura constante em certos pontos da cidade de Manaus com isso se acumula alterações de temperatura em pontos da cidade formando ilhas de calor.

O presente estudo tem como objetivo mapear as mudanças de uso e cobertura do solo e identificar essas ilhas de calor, além de mostrar os elementos que influenciaram na formação dessas ilhas. Nesse contexto iremos utilizar o uso de sensores remotos e Sistemas de Informação Geográfica – SIG. Segundo Delgado (2012), o uso de tecnologias SIG auxiliam nos estudos envolvendo as alterações do ambiente e climas locais, com isso facilitando na compreensão e solução dos problemas envolvendo as interações de espaço urbano, natureza e sociedade.

Quanto aos principais trabalhos que tomaram como base o uso de geotecnologias, Fitz (2008), afirma que o uso de geotecnologias é caracterizado como novas tecnologias ligadas às geociências e áreas correlatas, as quais trazem avanços significativos em pesquisas científicas, em ações de planejamento, em processos de gestão, manejo e em tantos aspectos relacionados à estrutura do espaço geográfico.

Para Rosa (1996), as geotecnologias são o conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e oferta de informações com referencial geográfico. Além de envolver quatro categorias de técnicas relacionadas ao tratamento da informação espacial, a exemplo das técnicas para coleta de informações espaciais (cartografia, sensoriamento remoto, GPS, topografia, levantamentos de dados alfanuméricos); técnicas de armazenamento de informação espacial (banco de dados - orientado a objetos, relacional, hierárquico, etc.); técnicas para tratamento e análise de informação espacial (modelagem de dados, geoestatística, lógica, funções topológicas, redes, etc.); técnicas para o uso integrado informações espacial, como os sistemas GIS - Geographic Information Systems, LIS - Land Information Systems, AM/FM - Automated Mapping/Facilities Management, CADD - Computed-Aided Drafting and Design.

Outros autores como Rosa (2005), considera as geotecnologias como uma tecnologia, ou um conjunto de tecnologias que possibilitam a manipulação, análise e oferta de informação com referência geográfica, podendo ser composta por soluções em hardware, software e peopleware que juntas constituem poderosas ferramentas para tomadas de decisão.

Por fim, Burroughs et al. (1987) menciona que, o geoprocessamento é o conceito mais abrangente e representa qualquer tipo de processamento de dados georreferenciados, enquanto um SIG ou GIS processa dados gráficos e não gráficos (alfanuméricos) com ênfase em análises espaciais e modelagens de superfícies.

Outro fator fundamental para analisar e entender a pesquisa foi a utilização do sensoriamento remoto e suas aplicações, aonde foram adicionados estudos de vários autores, com suas diferentes interpretações sobre sensoriamento remoto e suas aplicações.

Os estudos como de Novo (2010), conceituam sensoriamento remoto como sendo “ a aquisição de informações sobre os objetos a partir da detecção e mensuração de mudanças que estes impõem ao campo eletromagnético.

Novo (2010), também destaca que o sensoriamento remoto é a tecnologia que fornece grande parte dos dados para estudo dos fenômenos espaciais. A maioria dos pacotes de SIG possui módulos para tratamento e manipulação de imagens, além dos recursos usuais para geração de dados secundários. Um ponto importante a se destacar sobre os aspectos do sensoriamento remoto refere-se aos tipos de resoluções, tais como.

Outra ferramenta utilizada na pesquisa foi o sistema SIG (sistema de informações geográficas). Essa ferramenta, segundo Fitz (2008), no campo do geoprocessamento espacial, pode-se definir o Sistema de informação (SIG) como um sistema que é composto por um conjunto de programas computacionais, bem como, equipamentos e pessoas com o objetivo de

coletar, armazenar, recuperar, manipular, visualizar e analisar dados espacialmente referenciados a um sistema de coordenadas conhecido.

Nesse modo, a importância do uso do SIG se dá no auxílio de análises espaciais, contextos urbanos e aplicações socioambientais. Por se caracterizar como um sistema, podemos entendê-lo em sua estrutura da seguinte forma: dados de entrada (input), processamentos e dados de saída (output). O gerenciamento de dados em SIG deve ocorrer de forma clara e concisa, detalhando a aquisição, armazenagem, edição, conversão, importação de arquivos de dados.

Para Rosa (1996), o SIG vai além de ferramentas computacionais (equipamentos e programas) que se aliados a técnicas, permite a integração de dados e instituições tornando possível a coleta, o armazenamento, o processamento, a análise e a oferta de informação georreferenciada produzida por meio de aplicações disponíveis, que visam maior facilidade, segurança e agilidade nas atividades humanas referentes ao monitoramento, planejamento e tomada de decisões relativas ao espaço geográfico.

Nesse sentido, autores como Novo (2010), citam que a utilização do SIG se dá pela realização de estudos de caráter espacial, além de exigir procedimentos de investigação vinculados a critérios bem definidos.

Quanto aos procedimentos metodológicos, será feito através do QGIS a elaboração de mapas temáticos de índice de vegetação (NDVI) e temperatura da superfície (TST), estas utilizando imagens do satélite Landsat-8 TIRS (Thermal Infrared Sensor), disponibilizados gratuitamente pelo site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), todas estas atividades serão realizadas pelo software gratuito QGIS.

Para análise de temperatura de superfície serão processadas imagens do satélite Landsat 8 TIRS (Thermal Infrared Sensor), em que será processada a banda 10, do canal do Infravermelho Vermelho Thermal (Figura 2).

Para a elaboração do produto da temperatura de superfície, é necessário realizar o processamento na banda 10, do satélite Landsat 8 TIRS, utilizando metadados da imagem e os aplicando em uma equação para redimensionar os níveis digitais (ND), para radiância TOA (topo da atmosfera), que seria:

$$\text{Equação 1: } La = MI \times Qcal + AI$$

La - é a radiação espectral de TOA.

MI - o fator de redimensionamento multiplicativo específico da banda dos metadados.

Qcal - são os valores de pixel do produto padrão (DN) quantizados e calibrados, ou seja, a banda dos metadados.

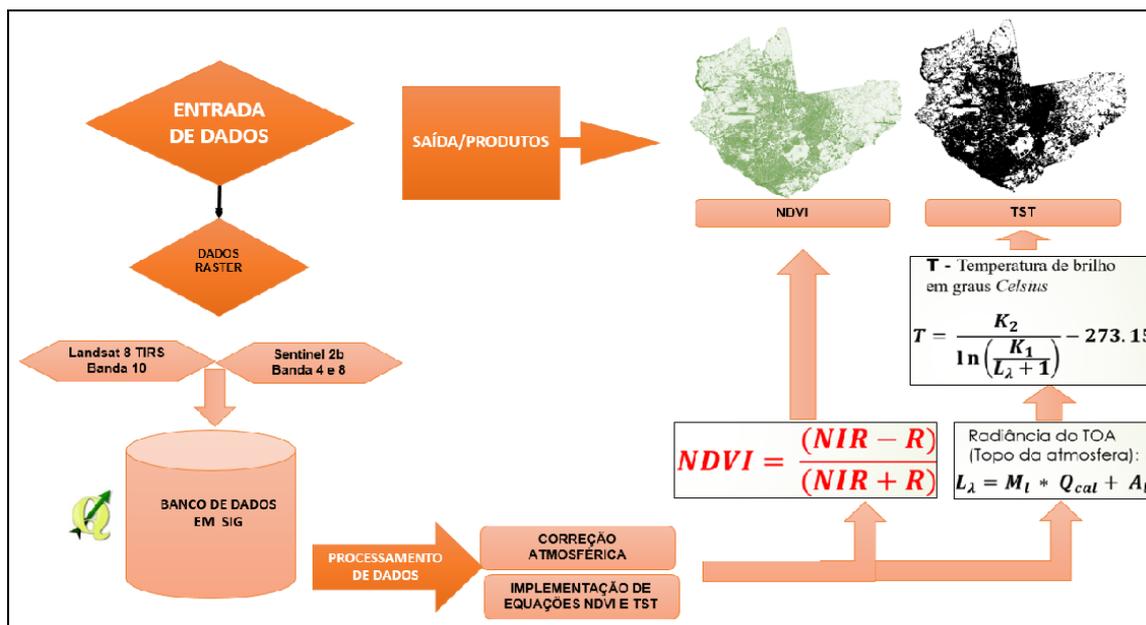
AI = sendo o fator de redimensionamento aditivo específico da faixa dos metadados.

Outra variável importante será o índice de vegetação da diferença normatizada (NDVI - Normalized Difference Vegetation Index), que resulta num parâmetro para se estabelecer a os níveis de reflectância da vegetação sadia, permitindo a análise de áreas de vegetação densa e dispersa, bem como as alterações ao longo do tempo de áreas de floresta para áreas de desmatamento.

Para elaboração e a análise do NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), serão processadas imagens do satélite Sentinel 2, cuja a resolução espacial é de 10 metros, cujas bandas processadas serão do vermelho (R) e Infravermelho Próximo (NIR), respectivamente, por possuírem resolução espectral compatível com os produtos que se pretende obter, como mapas de índice de vegetação. Dessa forma, Jensen (2009), descreve para o cálculo do NDVI a seguinte equação:

$$\text{Equação 2: } NDVI = (NIR - R) / (NIR + R).$$

Figura 2: Procedimentos para o cálculo do NDVI



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

4. RESULTADOS

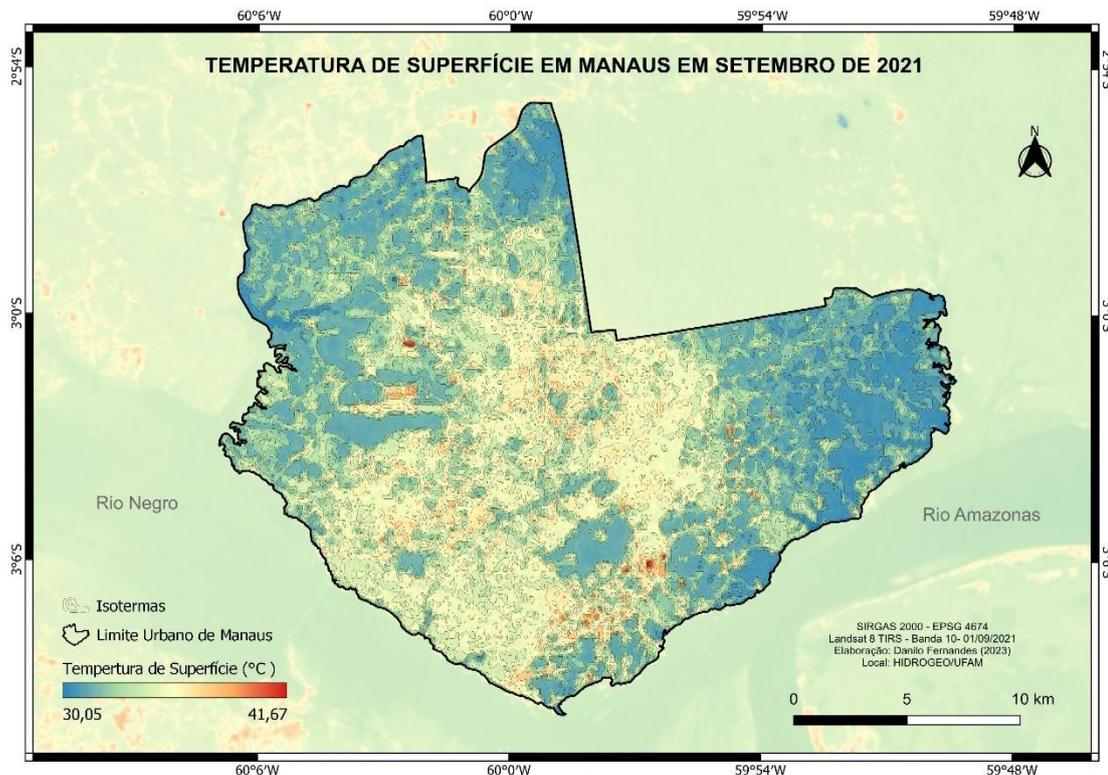
4.1 Temperatura da superfície

Por meio do mapeamento da temperatura da superfície da cidade de Manaus, foi possível compreender a dinâmica de variação térmica junto ao índice de vegetação que influencia diretamente na temperatura da cidade. Observa-se que nas regiões de maior frescor e temperaturas mais amenas foram identificadas em áreas com maior índice de vegetação, como fragmentos florestais urbanos, parque e áreas verdes em geral, já nas áreas como menor índice de vegetação, área densamente urbanizadas apresentaram temperaturas mais elevadas.

Para Bezerra et al. (2018), os processos de urbanização também afetam a temperatura de superfície (TST) que tem grande importância nos estudos sobre centros urbanos, pois seu papel é essencial no balanço energético da superfície, que resulta numa visão mais ampla sobre a influência da temperatura no conforto térmico dos cidadãos.

Foram identificados em dois pontos, diferenças de temperatura de superfície que se destacou pela alta concentração de pontos de temperatura elevada, na qual se formou ilhas de calor. As ilhas de calor identificadas na Figura 3, ocorrem em setores onde se tem um forte setor industrial atrelado com moradias não planejadas causando uma temperatura superior a 41 °C.

Figura 3: Mapa de temperatura de superfície



Fonte: Autores (2023)

Os resultados obtidos a partir do mapeamento de temperatura da superfície de 2021 no município de Manaus, apresentou os menores valores em torno de 30,5 °C, estes estão concentrado nas áreas de maior vegetação e menor taxa de área construída.

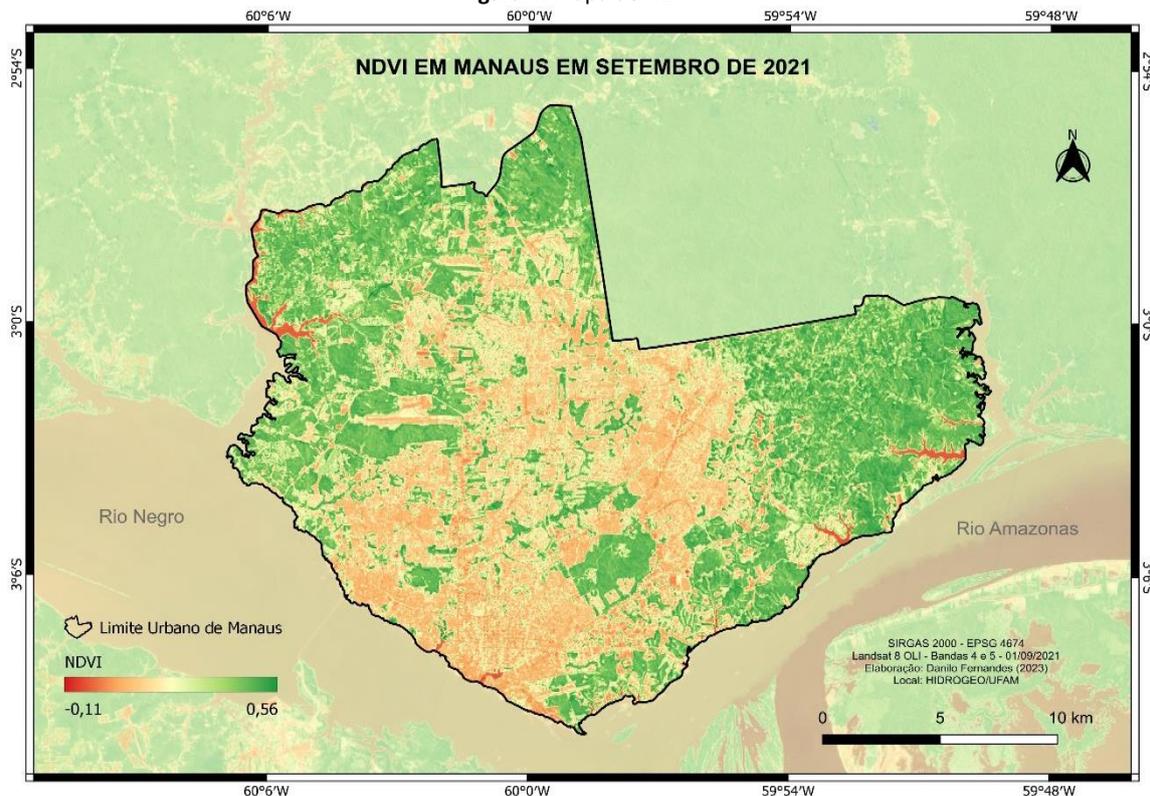
Os valores intermediários, aqueles que estão entre as máximas e as mínimas apresentados na Figura 3, pela cor amarela são áreas de ocupação urbana, os valores da temperatura dessas áreas variam de acordo com alguns fatores, como as áreas de verdes que possibilita as ilhas de frescor que apresentam temperaturas mais amenas.

Os maiores valores de temperatura da superfície foram superiores a 41 °C e formam pontos de calor acumulado que delimitou a formação de ilhas de calor. As áreas onde se acumulou essa alta temperatura está localizado em um setor industrial, diretamente na formação dessas ilhas de calor causando um aumento significativo na temperatura se comparado a outras áreas da Figura 3.

4.2 NDVI

A utilização do NDVI, facilita a obtenção e modelagem de parâmetros de vegetação, com isso é possível diferenciar a parte da vegetação da parte urbana. De acordo (ROSENDO, 2005), os valores de NDVI quanto mais próximo de 1, mais densa é a vegetação, enquanto que valores a -1 ou iguais são denominados como superfície sem cobertura vegetal. Em Manaus, observa-se que os valores de NDVI variaram entre -0,11 a 0,56, para setembro de 2021, como mostrado na Figura 4.

Figura 4: Mapa de NDVI



Fonte: Autores (2023)

Os resultados obtidos a partir do mapeamento de NDVI de 2021 para área urbana de Manaus, observou-se que as áreas que apresentam valores próximos a 0,56 de NDVI, verifica-se área de maior densidade de vegetação. Os valores próximos a -0,11, indicam áreas de menor densidade de vegetação, corpos d'água ou áreas construídas sem cobertura vegetal. Se observa nas áreas do perímetro urbano algumas áreas com vegetação com isso fazendo uma mudança na paisagem e na densidade de vegetação e influenciando também na temperatura e na sensação térmica da cidade.

4.3 Ilhas de Calor

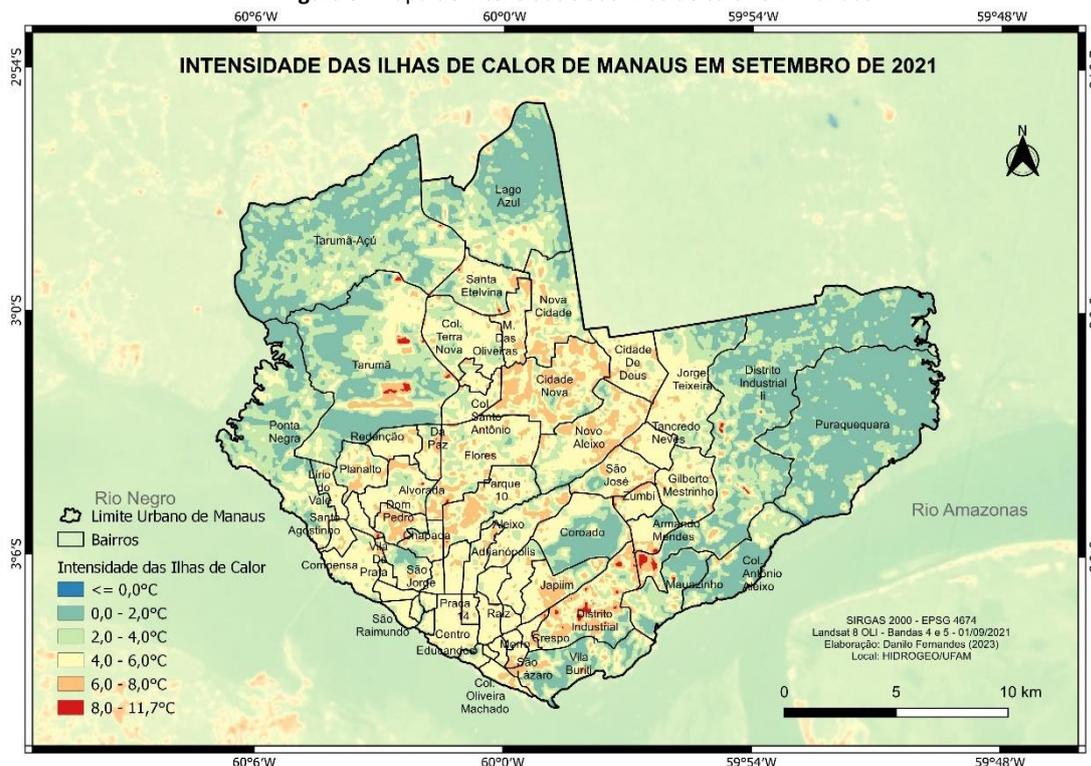
A formação de ilhas de calor tem como principal causa o processo de urbanização e o adensamento das cidades, devido ao aumento da população urbana, outro fator que influencia na formação de ilhas de calor são os fatores climáticos como a poluição atmosférica e alteração das amplitudes térmicas. De acordo com (FIALHO, 2012), as ilhas de calor começaram a ter importância em vários estudos voltado ao clima urbano.

Com o aumento da população urbana e conseqüentemente a expansão urbana, tornou-se necessário o aumento da relevância nos estudos voltados para ilhas de calor, e para isso Sistemas de Informação Geográfica e Sensoriamento Remoto tem sido de total importância para coleta de dados e mapeamento desses fenômenos.

Oke (2003), afirma que o advento da tecnologia do sensoriamento remoto termal, através de satélites e de plataformas em aeronaves, permitiu novas possibilidades de observações sobre as ilhas de calor urbano, bem como a compreensão de suas causas e combinações como os arranjos urbanos.

Com base nisto, foi elaborado um mapa representado na Figura 5, feito no programa QGIS 3.26.0. O mapa mostra a intensidade das ilhas de calor na cidade de Manaus no ano de 2021, e mostra a diferença da temperatura em áreas urbanas e áreas com maior vegetação.

Figura 5: Mapa de intensidade das ilhas de calor em Manaus



Fonte: Autores (2023)

A partir do mapeamento da intensidade das ilhas de calor em Manaus, observou-se que as áreas com maior densidade de ocupação, que possuem uma temperatura mais elevada, e se percebe que a questão do planejamento urbano na cidade tem uma grande influência na temperatura e sensação térmica uma vez que a maioria dos bairros de Manaus não foram planejados. Lombardo (1985), esclarece que uma metrópole sem planejamento adequado do uso do solo, com ausência de parâmetros adequados de verticalização e ocupação, sobretudo onde ela cresce a uma velocidade rápida e com poucos recursos técnicos, que pode colocar a qualidade de vida dos habitantes em risco.

Outro fator que se destaca no mapeamento das ilhas de calor em Manaus da Figura 5, são os aumentos de temperatura de superfície nas áreas urbanas por consequência das ações humanas, e nas áreas rurais tende a ter uma temperatura de superfície mais baixas. Para Arya (2001), o aumento da temperatura da superfície ou do ar sobre uma área urbana em relação às áreas rurais ou suburbanas vizinhas é denominado ilhas de calor.

O mapeamento de intensidade das ilhas de calor em Manaus com os bairros, observa-se que as intensidades das ilhas de calor são mais elevadas em alguns bairros, especificamente em bairros não planejados ou que possuem forte setor industrial como é o caso do Distrito Industrial 1. O fator social influencia diretamente no clima da cidade, uma vez que bairros não planejados possuem pouca vegetação e predomina mais superfícies pavimentadas e edificações mais densas, o que ajuda na formação de ilhas de calor. Nesse ponto, os aspectos estruturais se fazem presente na formação do clima urbano e na formação das ilhas de calor.

De acordo com Sant’anna Neto (2012), a necessidade de se avançar e enriquecer as análises incorporando-se a dimensão social na interpretação do clima urbano. Desse modo, essa perspectiva aborda a ideia de que a compreensão dos efeitos dos fenômenos atmosféricos na terra está ligada diretamente ao contexto social, econômico e político, e que esses fatores são percebidos e utilizados de forma desigual, dependendo dos interesses dos diferentes grupos sociais.

Outro bairro que se destaca na Figura 5, é o Coroado que possui uma vasta área de vegetação tendo assim uma temperatura menos elevada se tornando uma ilha de frescor. Por

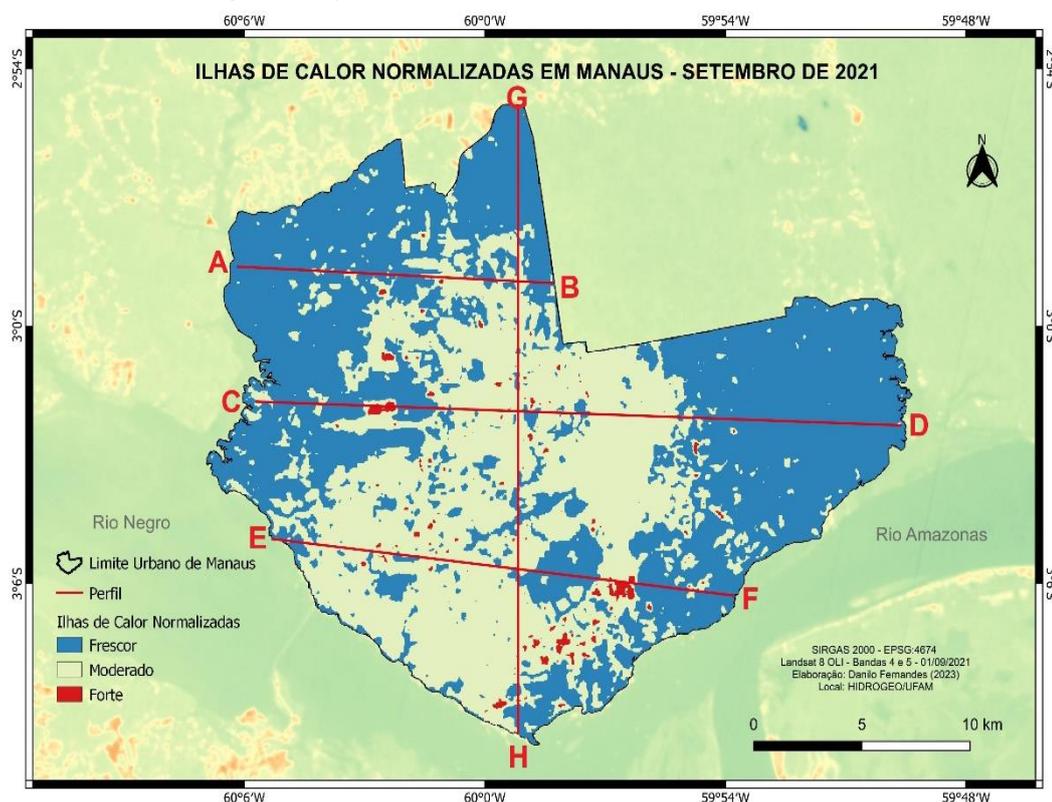
outro lado, o mapeamento apresenta um bairro planejado representado pela Cidade Nova que possui uma alta temperatura, porém a falta de vegetação acaba influenciando diretamente na intensidade do calor e aumentando a temperatura. O aumento da expansão urbana nas cidades e diminuição da vegetação tende a ter uma influência significativa nas taxas de temperatura. De acordo com Jensen (2009), o surgimento das ilhas de calor urbanas está relacionado ao desflorestamento e a substituição da superfície do solo por materiais não evaporativos e não porosos como cimento e asfalto.

4.4 Ilhas de Calor Normalizadas

O mapeamento de ilhas de calor normalizadas tem como objetivo analisar os perfis junto com o NDVI, e identificar as ilhas de frescor, e intensidade das ilhas de calor na cidade.

Com base nisso, foi elaborado um mapa representado na Figura 6, que apresenta as ilhas de calor normalizadas na cidade de Manaus no ano de 2021, e mostra a delimitação das áreas de frescor, moderado e forte das ilhas de calor normalizadas.

Figura 6: Mapa de ilhas de calor normalizadas em Manaus



Fonte: Autores (2023)

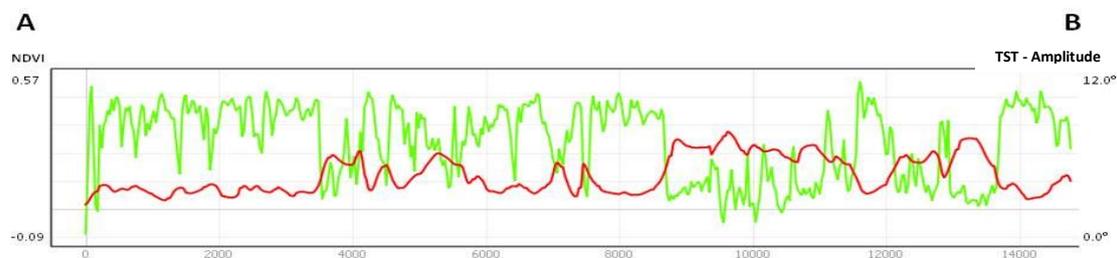
Os resultados obtidos a partir do mapeamento das ilhas de calor normalizadas de 2021 no município de Manaus, mostra a diferença das áreas de frescor representada pela cor azul, as áreas moderadas representada pela cor amarela e as áreas vermelhas que possui o maior percentual de temperatura denominada ilhas de calor forte. As áreas de frescor representada na Figura 6, representa as áreas de maior vegetação e baixa densidade construtiva e consequentemente temperaturas mais amenas. As áreas moderadas são as que englobam a parte urbana da cidade de Manaus e consequentemente por não conter muita vegetação, tende a ter uma temperatura mais elevada em comparação a área de frescor.

As áreas fortes representada pela cor vermelha na Figura 6, denomina as áreas com maior temperatura na cidade de Manaus, e dois pontos se destaca por se acumular uma grande área de calor. Esses dois pontos que se destaca são áreas que possuem um setor industrial, e o

calor gerado pelas empresas em um curto espaço acaba acumulando calor e consequentemente aumentando a temperatura. Brandão (2009), considera que a ilha de calor representa o fenômeno mais significativo do clima urbano e sua intensidade depende das condições micro e mesoclimáticas locais de cada cidade.

Nesse sentido, foram traçados 4 perfis pelo mapa da Figura 6, para identificar com detalhes a temperatura em diferentes pontos da cidade de Manaus e analisar os perfis das ilhas de calor normalizadas junto com o NDVI. As linhas verdes correspondem ao NDVI e as linhas vermelhas correspondem as intensidades das ilhas de calor normalizadas e a temperatura da superfície (Gráfico 1).

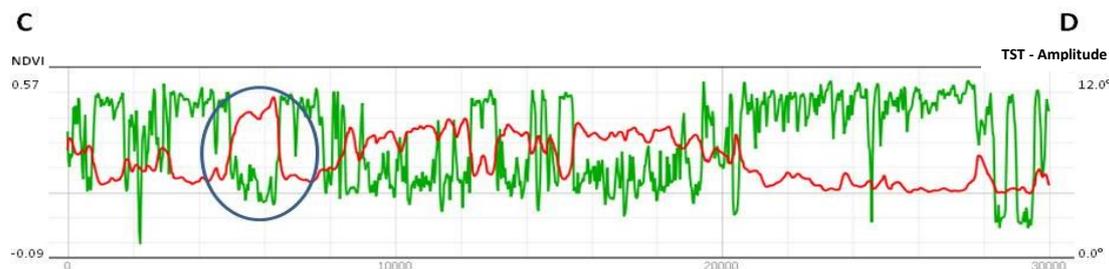
Gráfico 1: perfil A – B.



Fonte: Autores (2023)

Os perfis de A até o B foram traçados horizontalmente na Figura 8, apresentam um predomínio na vegetação ao longo do perfil e a partir do intervalo de 8.000 ao 14.000 metros se tem uma pequena elevação na temperatura em que se encontra área densamente construída (Gráfico 2).

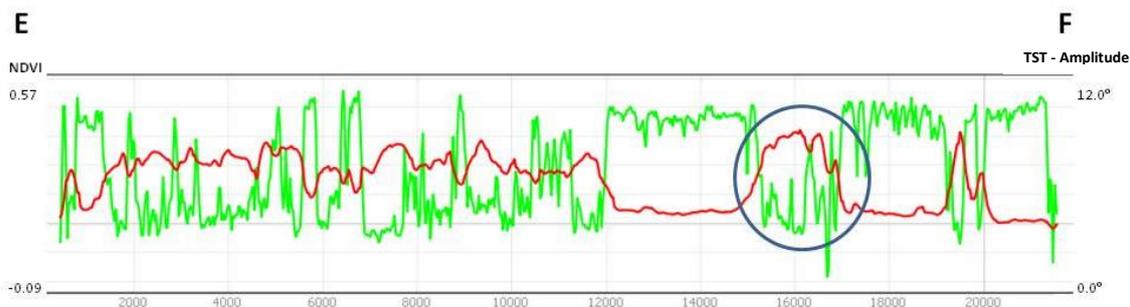
Gráfico 2: Perfil C-D



Fonte: Autores (2023)

Os perfis de C até o D foram traçados horizontalmente na Figura 6, identificam a primeira ilha de calor (destacada no perfil) na qual o perfil de ilhas de calor normalizadas ou temperatura da superfície representado pela linha vermelha se sobressai em um longo intervalo pelo perfil, além de apresentar um predomínio sobre o NDVI no intervalo de 10.000 a 20.000 metros. A explicação para formação dessa ilha de calor seria pela consequência da cobertura do solo uma vez que essa área possui um aeroporto e empresas que ocupam aquela área afetando diretamente na temperatura do local. (Gráfico 3).

Gráfico 3: Perfil E - F

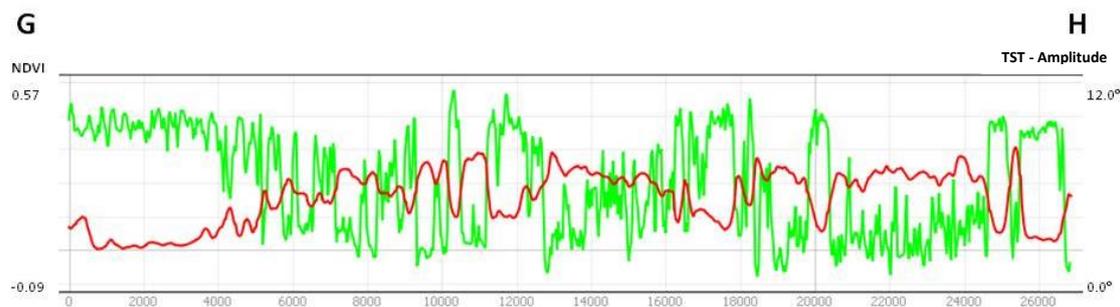


Fonte: Autores (2023)

Os perfis de E até o F também foram traçados horizontalmente na Figura 8, e identificam a segunda ilha de calor (destacada no perfil) na cidade de Manaus durante o intervalo de 14.000 a 18.000 metros. O aumento de temperatura está relacionado ao grande número de indústrias nessa região do perfil, afetando diretamente na temperatura do local e ocasionando essas ilhas de calor nessa área. A ilha de calor urbana é verificada em condições de estabilidade atmosférica com menores velocidades do vento e pouca nebulosidade (AMORIM, et al 2009). Segundo os autores:

A intensidade e a extensão espacial da ICU dependem da localização da cidade, da morfologia urbana (forma e densidade das construções), do tipo de materiais construtivos, das atividades industriais, das condições climáticas e da sucessão das situações sinóticas e tipos de tempo. A ICU é especialmente importante sob condições atmosféricas estáveis (sistemas anticiclônico), que caracterizam pela baixa velocidade do vento e pela ausência de nebulosidade (AMORIM, et al 2009, p. 2)

Gráfico 4: Perfil G - H



Fonte: Autores (2023)

Os perfis de G até o H são traçados verticalmente na Figura 6, no sentido norte-sul da cidade de Manaus, em que se observa entre o intervalo de 0 a 6.000 metros um predomínio do perfil de NDVI onde o perfil passa por uma área rural ou de vegetação densa, a partir de 6.000 a 26.000 metros observa-se uma relação inversa entre a vegetação densa e a temperatura da superfície mais amenas, ou temperaturas mais elevadas associadas à baixos índices de vegetação (Gráfico 4). Lombardo (1985), esclarece que as cidades contribuem para a alteração do balanço de energia, gerando bolsões sobre as áreas urbanas, denominadas ilhas de calor, fenômeno este que reflete as interferências do homem na dinâmica dos sistemas ambientais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados deste trabalho, fica evidente que o NDVI e a temperatura de superfície desempenham um papel crucial na compreensão dos padrões ambientais, além de

ajudar na análise das ilhas de calor e fresco. Verificou-se a relação entre os menores valores de NDVI, temperaturas mais elevadas e ausência de vegetação ocasionando um aumento na temperatura e conseqüentemente o aparecimento de ilhas de calor, destaca a importância da vegetação na regulação térmica e no conforto da população além de um planejamento público e social na construção das cidades. A identificação das ilhas de calor em bairros como setor industrial e de baixa vegetação ressalta o impacto negativo do planejamento e dos impactos negativos ocasionado pelo desenvolvimento urbano desordenado, e materiais construtivos inadequados para o clima equatorial.

Notou-se que o aparecimento das duas ilhas de calor superficial identificadas na cidade Manaus, estão atreladas a substituição de áreas que anteriormente eram vegetadas por áreas urbanizadas, densamente construídas e área de distrito industrial, ocorrendo um aumento significativo de temperatura e um desconforto térmico para população local.

Os resultados apresentados fornecem informações que pode ajudar a contribuir com desenvolvimento de outros estudos e colaborar com diretrizes para políticas de planejamento urbano e ambiental da cidade de Manaus, contribuindo ainda com medidas de conservação ambiental, visando melhorar a qualidade de vida dos habitantes e minimizar os efeitos adversos das altas temperaturas, além de mostrar a importância da criação de espaços verdes, como estratégia para minimizar os efeitos das ilhas de calor na cidade de Manaus.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq. À FAPEAM – Fundação de Amparo à Pesquisa do estado do Amazonas.

6. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ALEIXO, N. C. R; SILVA NETO, J. C. A. O campo térmico em área Urbana na Amazônia brasileira: análise episódica na cidade de Tefé-AM. In: **Geo UERJ**, Rio de Janeiro, n. 34, e, 40949, 2019.

ARYA, S.P. **Introduction to Micrometeorology**. International Geophysics Series, v. 79. Academic Press, 2001.

ASSAD, T. M. Problemática das “invasões” da cidade de Manaus: perspectivas da legalização fundiária a luz do estatuto da cidade. In: **ANAIS... XIV Congresso Nacional de Pesquisa e Pós-graduação em Direito**. Florianópolis. 2006.

AMORIM, M.C.C.T.; DUBREUIL, V.; QUENOL, H.; SANTA'ANNA NETO, J.L. Características das ilhas de calor em cidades de porte médio: exemplos de president prudente (Brasil) e Rennes. **Confins [Online]**, 7,2009, p. 1-16, 31 out. 2009.

BURROUGH, P.A. (1987) **Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment**. Clarendon Press, Oxford. 193p.

BEZERRA, P. E. S. et al. **Análise da Temperatura de Superfície e do Índice de Vegetação no Município de Belém na Identificação das Ilhas de Calor**. In: **Rev. Bras. De Cartografia**, vol. 70, n. 3, julho/setembro, 2018. Pp. 803-818.

BRANDÃO, A. M. P. M. **O clima urbano da cidade do Rio de Janeiro**. In: Monteiro, C. A. F. Mendonça, F. **Clima Urbano**. São Paulo: Contexto, 2009. 192 p.

COSTA, A.; RIBEIRO, V. **Urbanismo: Regime jurídico da urbanização e edificação**. Editora VidaEconomic, Porto Portugal, 2018.

DELGADO, R. C. et al. Uso do sensoriamento remoto na estimativa dos efeitos de ilhas de calor. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 25, n. 9, p. 69-80, 2012.

FLORENZANO, T.G. (2002) **Imagens de Satélite para estudos ambientais**. São Paulo, Oficina de Textos.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. Editora. Oficial de textos. São Paulo. p,159. 2008).

FIALHO, E. S. Ilha de calor: reflexões sobre um conceito. **Revista Acta Geográfica**, Boa Vista, v. 1, n. 2, Edição Especial de Climatologia Geográfica, p. 61-76, 2012.

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

LOMBARDO, M. A. **Iha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**: Huccitec, 1985.

MAGUIRE, D.; GOODCHILD, M.F.; RHIND, D.W. (1993) **Geographical Information Systems**. Longman Scientific e Technical, Vol. 1 e 2, NY.

MONTEIRO, C.A.F. Clima Urbano: um projeto e seus caminhos. In Monteiro, C. A. F. e MENDONÇA, Francisco (org). **Clima Urbano**. São Paulo: Contexto, 2003.

MONTEIRO, C. A. de F. **Teoria e Clima Urbano. São Paulo**: IGEOG/USP, 1976. 181 p.

NASCIMENTO, D. T. F. **Emprego de técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento na análise multitemporal do fenômeno de ilhas de calor no município de Goiânia-GO (1986/2010)**. 2010. 98p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2011.

NOVO, E.M.L de M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. São Paulo. Editora Edgard Bucher Ltda, Vol 4. 388p.

OKE, T. R. **Thermal remote sensing of urban climates. Remote sensing of environment**, New York, v.86, n. 3,2003. pp. 371-384.

ROSA, R. e BRITO, J.L.S. **Introdução ao Geoprocessamento: Sistema de Informações Geográficas**. Uberlândia, EDUFU. 104p.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. Uberlândia, EDUFU. 5 ed. 109p.

ROSEMBACK, R.; FRANÇA, A.A.S.; FLORENZANO, T.G. 2005. Análise Comparativa dos Dados NDVI Obtidos de Imagens CCD/CBERS e TM/Landsat5 em uma Área Urbana. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, Goiânia, 2005. **Anais...** São José dos Campos, INPE, p. 1075-1082.

ROSENDO, J. C. **Índices de Vegetação e Monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na Bacia do rio Araquari – MG – utilizando dados do sensor Modis**. 2005. 130 p. Dissertação (Mestrado em Geografia e Gestão do Território) – Programa de Pós- Graduação em Geografia Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2005.

SANT'ANNA NETO, J. L. Desafios da climatologia geográfica no Brasil: da competência técnica ao compromisso social. In: SILVA, C. A.; FIALHO, E. S. (Org.). **Concepções e Ensaio da Climatologia Geográfica**. 1ed. Dourados: Editora da UFGD, 2012, v. 1, p. 13 - 38.

SILVA, P. V. C; SANTOS, J. T. S; SOUZA, A. M. L. Temperatura de superfície urbanas usando sensor TIRS – Landsat 5 e 8: estudo de caso em Belém – PA. **Revista Brasileira de Iniciação Científica**, Itapetininga, v. 4, n. 9, p. 118-132, 2017.