

O CONTEXTO DOS ESTUDOS DO CLIMA URBANO POR MEIO DO CAMPO TERMO-HIGROMÉTRICO EM RONDON DO PARÁ

THE CONTEXT OF URBAN CLIMATE STUDIES THROUGH THE THERMO-HYGROMETRIC FIELD IN RONDON DO PARÁ

EL CONTEXTO DE LOS ESTUDIOS DEL CLIMA URBANO POR MEDIO DEL CAMPO TERMO-HIGROMÉTRICO EN RONDON DO PARÁ

Abraão Levi dos Santos Mascarenhas¹ <https://orcid.org/0000-0003-0546-8836>

Matheus Martins Miranda² <https://orcid.org/0000-0002-8141-1711>

Maria Rita Vidal³ <https://orcid.org/0000-0002-3392-3624>

RESUMO

O desenvolvimento e aprimoramento de técnicas de sensoriamento remoto são cruciais nos estudos de clima urbano, pois a qualidade das áreas urbanas tem se mostrado inadequada para as populações por não levar em consideração as características geoambientais das cidades. Objetivava-se analisar as variações das temperaturas de superfície do solo da cidade de Rondon do Pará, por meio dos estudos de clima urbano, observando os campos térmicos e higrométricos. Para tanto, foram utilizados sensores termais e multiespectrais do satélite Landsat 5, 7 e 8, com escala temporal de 1980 a 2020. Os levantamentos das imagens de satélite foram extraídos do site earthexplore/Nasa, com processamento destas no software Qgis, com a ajuda do plugin SCP. Os principais produtos gerados foram os mapas de temperatura da superfície, SAVI, NDWI e perfil termográfico. Os resultados apontam para médias de 26,6 graus em 1980 e média relativa de 27,8 em 2020, indicando um aumento de temperatura de $\pm 1,2$ °C superior. Todos os esforços de mapeamento resultaram em percepções de que a alteração do uso do solo pelos processos urbanos influencia diretamente no campo térmico e higrométrico local (ilhas de calor), que representam pontos de altas temperaturas no mapa termal.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto. Temperatura de superfície. Ilhas de calor.

ABSTRACT

The development and improvement of remote sensing techniques are crucial in studies of urban climate, because the quality of urban areas has proven to be inadequate for the populations for not taking into account the geoenvironmental characteristics of cities. The study aims to analyse the variations of the Ground Surface Temperatures (GST) of the city of Rondon do Pará, by means of urban climate studies, observing the thermal-hygrometric parameters. Thermal and multispectral sensors from the Landsat 5, 7 and 8 satellites were used with a time scale of 1980

¹ Docente da Faculdade de Geografia e do Mestrado em Geografia da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará. E-mail: abraaolevi@unifesspa.edu.br

² Bolsista de iniciação científica e discente da Faculdade de Geografia. E-mail: matheus.martins@unifesspa.edu.br

³ Docente da Faculdade de Geografia e do Mestrado em geografia da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará. E-mail: ritavidal@unifesspa.edu.br

to 2020. The surveys of satellite images were extracted from the earthexplore/Nasa site, by processing of these images in the Qgis software, as well as with the SCP plugin. The main products created were the maps of surface temperature, SAVI, NDWI and thermographic profile. The results pointed to averages of 26.6 degrees in 1980 and relative average of 27.8 in 2020, thus indicating a temperature increase by ± 1.2 °C. All mapping efforts resulted in perceptions that land use change by urban processes directly influences the local thermal and hygrometric field (heat islands), which represent high temperature points on the thermal map.

Keywords: Remote Sensing. Surface temperature. heat Islands.

RESUMEN

El desarrollo y perfeccionamiento de técnicas de teledetección son cruciales en los estudios de clima urbano, pues la calidad de las áreas urbanas seha mostrado inadecuada para las poblaciones por no tener en cuenta las características geo-ambientales de las ciudades. El objetivo es analizar las variaciones de las temperaturas de superficie del suelo de la ciudad de Rondon do Pará, por medio de los estudios de clima urbano, observando los campos térmicos e higrométricos. Para este propósito, fueron utilizados sensores termale y multiespectrales del satélite Landsat 5, 7 y 8, con escala temporal de 1980 a 2020. La recopilación de las imágenes de satélite en el sitio web earthexplore/Nasa, con procesamiento de estas en el software Qgis, con la ayuda del plugin SCP. Los principales productos generados fueron los mapas de temperatura de la superficie, SAVI, NDWI y perfil termográfico. Los resultados apuntan para medias de 26,6 grados en 1980 y media relativa de 27,8 en 2020, indicando un aumento de temperatura de $\pm 1,2$ °C superior. Todos los esfuerzos de mapeo resultaron en percepciones de que la alteración del uso del suelo por los procesos urbanos influencia directamente en el campo térmico e higrométrico local (islas de calor), que representan puntos de altas temperaturas en el mapa termal.

Palabras clave: Teledetección. Temperatura de la superficie. Islas de calor.

INTRODUÇÃO

Os processos de urbanização desordenada promovem um fenômeno peculiar nas cidades, conhecido como “ilhas de calor urbano”, que quase sempre ocorrem em locais com excesso de construção e baixas concentrações de espaços verdes, resultando em temperaturas mais elevadas do que nas áreas vizinhas ou não urbanas. Este fenômeno pode ser identificado na cidade de Rondon do Pará, na qual as ações antrópicas têm influenciado sobremaneira nas variações da temperatura.

As atividades econômicas desenvolvidas na cidade de Rondon do Pará têm implicações nos sistemas ambientais modificando os atributos do clima em escala topológica, como por exemplo, os espaços urbanizados, as florestas por sua vez foram convertidas em diversos usos que ao passar dos anos interfere nos aspectos da região. (REGO *et al.*, 2013).

A radiação solar incidente e concentrada nas cidades é denominada fenômeno do clima urbano. Este tema é desenvolvido, no Brasil, por Monteiro (1976), fundamentado

na tese do clima urbano, ou seja, o clima do espaço terrestre e sua urbanização, denominado de sistema clima urbano (SCU). Um sistema único, aberto, evolutivo, dinâmico, adaptativo e autorregulado, que inclui clima local (aspectos geoambientais) e cidades (fatos sociais), já descrito por Monteiro (1976).

O clima na cidade pode ser atenuado com a presença da vegetação, que funciona como regulador da temperatura urbana, pois absorve mais prontamente a radiação solar utilizada nos processos biológicos (fotossíntese e/ou transpiração), reduz a poluição atmosférica e tende a apresentar temperaturas mais amenas quando próximo à temperatura dos corpos d'água, reduzindo o efeito ilha de calor (GOMES e AMORIM, 2003).

Sabe-se que as ilhas de calor são normalmente vinculadas às grandes cidades, muito por conta do grau de evolução dos perímetros urbanizados e em função do adensamento populacional, no qual vai ocorrendo alteração do clima em escala topológica. As altas temperaturas são denominadas ilhas de calor, mas deve-se atentar para essa dinâmica no contexto das pequenas e médias cidades, já que estas vêm apresentando acúmulo de energia em áreas urbanas e periurbanas, ocasionando desconforto térmico (OKE, 1978; OKE et al., 2017).

Na região amazônica, os estudos de Souza e Avalá (2014) colocam em tela as ilhas de calor na cidade de Manaus, usando dados do satélite MODIS. Corrêa *et al.* (2016), usando dados de 2002-2005, também do satélite MODIS, reafirmam a tendência de clima antropogênico em Manaus, recentemente Silva *et al.* (2021), analisando a região metropolitana de Belém, utilizando vários índices geoestatísticos para definir índices biogeofísicos, traz contribuições aos estudos de clima urbano para a região amazônica.

Aleixo *et al.* (2019) mostram que a urbanização em cidades de pequeno e médio porte na Amazônia está associada à perda de cobertura vegetal e ao adensamento de áreas construídas, com baixos níveis de saneamento básico e alta repelência à água das mantas asfálticas. Para avaliar e analisar as ilhas de calor, o emprego de imagens de satélite é a técnica mais utilizada, e para os estudos de grandes áreas, o sensoriamento remoto é a ferramenta mais adequada, uma vez que possibilita ao pesquisador obter informações dos alvos da superfície terrestre a partir do registro da interação entre a energia eletromagnética e esses alvos (CASTRO, 2009).

Assim, este trabalho visa demonstrar o funcionamento do campo térmico na cidade de Rondon do Pará, analisando as dinâmicas e mudanças de temperatura da superfície com o uso do sensoriamento remoto, estabelecendo a escala temporal entre as

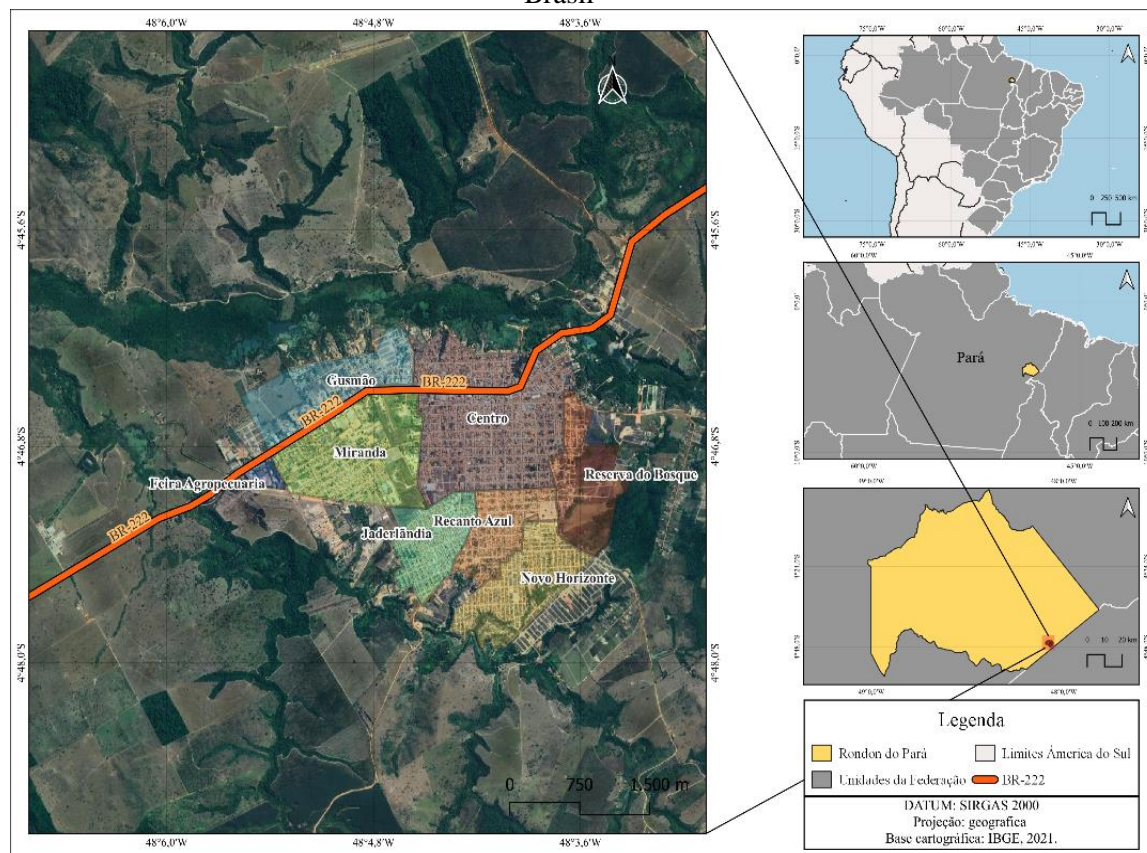
décadas de 1980 e 2020. A presente metodologia permitir complementar os dados de estações meteorológicas inexistente ou muito distantes nos municípios paraenses.

ÁREA DE ESTUDO

A cidade de Rondon do Pará localiza-se na região sudeste do estado do Pará. A 540 quilômetros da capital Belém, com 195 metros de altitude, Rondon do Pará faz parte de integração da mesorregião do Sudeste Paraense e da microrregião de Paragominas. A rodovia BR-222 interliga os municípios de Rondon, Abel Figueiredo e Bom Jesus com outras cidades do Sudeste Paraense. A cidade originou-se no final de 1962 com a consolidação de assentamentos a partir do programa de ocupação e construção da rodovia (PA-70) durante o governo militar, no Projeto Rondon, em meados de 1968 (IBGE, 2017).

A configuração espacial do sítio urbano de Rondon do Pará está atualmente dividida em oito zonas: Centro, Miranda, Reserva do Bosque, Recanto Azul, Novo Horizonte, Jaderlândia, Feira Agropecuária e Gusmão (Figura 1).

Figura 1 - Mapa de localização geográfica da zona urbana do município de Rondon do Pará-Brasil



Fonte: Autores, 2023

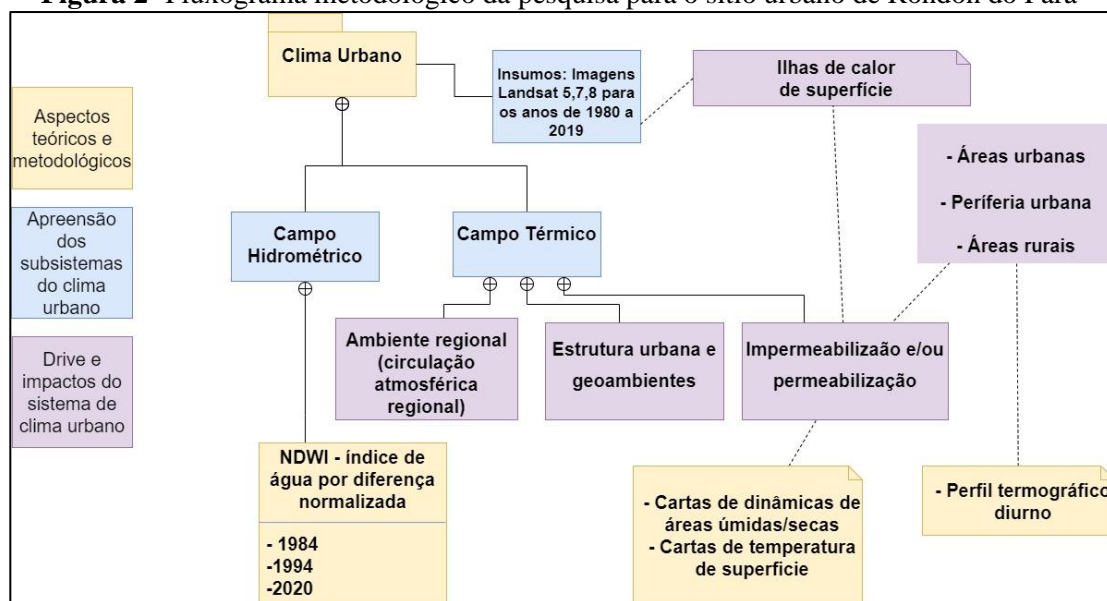
Em relação aos aspectos físicos, o clima da região onde se encontra a cidade de Rondon do Pará, de acordo com a classificação de Köppen, é do subtipo Aw que pertence ao clima de savanas, caracterizado por apresentar temperatura média do ar de todos os meses maior que 18 °C (megatérmico); diferencia-se pelo fato de a quantidade de precipitação pluviométrica média anual ser 10 vezes menos que a precipitação pluviométrica média do mês mais seco, e a precipitação do mês mais seco menor que 60 mm (SILVA *et al.*, 2005a).

Com relevos que se apresentam dissecados nas formações sedimentares (Barreiras e Itapecuru), encontra-se entalhada pelos vales e rios que seguem a direção NE (rio Gurupi) e N-NW (rio Capim e rio Guamá). Predominam formações florestais: a floresta equatorial subperenifólia e a floresta equatorial higrófila de várzea, do município de Rondon do Pará (SILVA; VALENTE e RODRIGUES, 2005b), e as classes de solos são expressas por latossolos e argilossolos (EMBRAPA, 2006), intercortados pela ação fluvial do rio Ararandeua.

MATERIAIS E MÉTODOS

Através das cartas termográficas usando as bandas termais do Landsat 5, 7 e 8, foi possível demonstrar as principais mudanças no comportamento termal da cidade nos últimos anos (figura 2).

Figura 2- Fluxograma metodológico da pesquisa para o sítio urbano de Rondon do Pará



Fonte: Org.: Autores, (2024).

Para os estudos, foram realizadas aquisição de imagens de satélite e dados cartográficos vetoriais em uma escala temporal de 1980 a 2020. Em relação à escala espacial, foram analisados os fatores geoambientais pelos índices de vegetação ajustado ao solo (SAVI) e o índice normalizado de água (NDWI).

Este trabalho é moldado na teoria do Sistema Clima Urbano (SCU) de Monteiro (1976), que segundo o referido autor pode ser organizado em graus de hierarquia denominados de canais de percepção humana, ou seja, o clima urbano é sentido e observado (percepção) pela variabilidade de temperatura em horas, dias, meses, anos, décadas, etc à essa observação empírica, o autor supracitado denomina de subsistema termodinâmico.

A qualidade do Ar entra como um segundo e importante canal de percepção já que o aspecto físico-químico do sistema clima urbano e as delicadas questões condições do ar nas cidades proporcionar conforto ou desconforto, associados aos efeitos bioclimáticos, assim, em espaços arborizados e com ventilação a sensação provocadas por brisas frias gera a percepção de conforto, do contrário, tende a provocar desconforto, hierarquicamente faz parte do subsistema físico-químico.

As precipitações e a velocidades dos ventos em espaços urbanos densamente povoado, com pouca ou inexistência de infraestrutura de saneamento, modificações dos canais fluviais produzem um terceiro canal de percepção denominado de Impactos meteóricos, esse por sua vez é hierarquizado como subsistema hidromecânico.

As perturbações humanas no meio ambiente levam a alterações no balanço energético envolvendo o sistema superfície-atmosfera, o que produz um clima peculiar caracterizado por altas temperaturas da superfície e do ar em relação ao ambiente circundante (BARBOSA; VECCHIA, 2009).

É importante compreender não apenas as características dos recursos que compõem o planeta, mas também o impacto da relação do homem com a natureza. O uso do sensoriamento remoto permite que tais observações sejam feitas com destaque no estudo do espaço, do tempo e da física, devido à sua capacidade de transmitir, receber, armazenar e processar dados da própria superfície.

Sensoriamento remoto e o geoprocessamento dos dados orbitais

O sensoriamento remoto é um termo utilizado na área das ciências aplicadas que se refere à obtenção de imagens à distância sobre a superfície terrestre. Estas imagens são

adquiridas por meio de aparelhos denominados sistemas de sensores. Por sua vez, esses sensores ou câmeras são colocadas a bordo de aeronaves ou de satélites de sensoriamento remoto – também chamados de satélite de observação da Terra (ROSA, 2005).

Uma grande vantagem do uso de sensoriamento remoto em estudos de ilha de calor de superfície é a capacidade de visualizar temperaturas em grandes áreas. No entanto, apenas uma visão panorâmica da temperatura da superfície é possível, “as temperaturas das paredes sob a vegetação não são detectadas”, segundo os estudos de Voogt e Oke (2003). Outra limitação das imagens de satélite tem a ver com o tempo que leva para capturar a imagem. As imagens do satélite Landsat 8 foram obtidas às 10:22 hora local (13:22 GMT) na área onde o estudo foi realizado. Este horário não coincide com a maior intensidade da ilha de calor urbana, pois geralmente ocorre à noite, cerca de três horas após o pôr do sol (AMORIM, 2017; 2018; 2019).

Com o uso da técnica de sensoriamento remoto, foi possível o levantamento das imagens de satélites que serviram para o preparo das cartas de análise estáticas dos mapas de Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (sigla em inglês SAVI) e o Índice de Água por Diferença Normalizada (sigla em inglês NDWI), além do uso das bandas espectrais para a formulação dos mapas de calor de superfície. Para o processamento destas, foram utilizadas as imagens de satélite advindas do site do Serviço Geológico do Governo dos Estados Unidos (USGS), dos sensores TM; TM+ e TIRS, que fazem parte da família Landsat 5, 7 e 8, na qual se obteve como quesito para a escolha a baixa incidência de nuvens na imagem.

A utilização de bandas térmicas em sensoriamento remoto permite o estudo do comportamento térmico de diferentes tipos de cobertura do solo processados por meio de dados de temperatura de superfície (BARBOSA; VECCHIA, 2009).

Com aquisição de cerca de 360 imagens, tornar-se-ia inviável a formulação do trabalho, visto que a grande maioria das imagens não fornecia a qualidade necessária para o prosseguimento da pesquisa. Sendo assim, foram selecionadas 60 imagens de boa qualidade, distribuídas da seguinte forma: para análise da década de 1980, foram usadas 10 imagens com baixa cobertura de nuvem, para 1990 foram usadas 13 imagens, já em 2000 a 2020 foram selecionadas 37 imagens. Diante dessa seleção, foram realizados o pré e o pós-processamento, que consistiram nas correções atmosféricas das imagens utilizando plugin SCP, extensão do software Qgis 3.22. Desenvolvido por Luca Congedo (2021), o Plugin de Classificação Semiautomática (SCP) permite a classificação

supervisionada de imagens de sensoriamento remoto, disponibilizando ferramentas para download.

A análise espectral ocorreu por meio de fórmulas matemáticas e combinação de imagens que geraram o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) e o Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI). Para as imagens termais, aplicou-se o processo de falsa cor, a fim de realçar os fenômenos, onde foi colocada uma pseudo cor na imagem resultante, para melhor identificação do comportamento da temperatura do alvo na imagem.

Geração de Cartas de SAVI, NDWI, temperatura de superfície e perfil termográfico

Em 1988, Huete propôs o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI), um índice adaptado do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), uma melhoria que se adapta ao solo de várias regiões do mundo. No caso do SAVI, foi proposta a aplicação de uma constante L, com a finalidade de minimizar os efeitos do solo no cálculo do índice vegetativo. Esta constante varia de 0,25 a 1, de acordo com a densidade da vegetação, sendo que para áreas com pouca cobertura vegetal adota-se o valor de 1 para L, áreas com uma cobertura intermediária L recebem o valor de 0,5 e áreas muito densas, o valor de 0,25. Quando L é nulo, o SAVI torna-se igual ao NDVI (HUETE, 1988).

O Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI), um método desenvolvido por McFeeters (1996), é projetado para caracterizar a presença de água em ambientes aquáticos e destacar a sua presença de água na imagem. Segundo Gao (1996), o NDWI mede o teor de umidade na vegetação, calculado a partir da reflectância no infravermelho próximo e no infravermelho médio, correspondendo às bandas 2 e 4 do sensor TM (Equação 4), respectivamente.

Para o caso de monitoramentos através do NDWI em local com infraestruturas construídas como cidades, fica sujeito a erros de correlação dos sensores na hora da distinção por cores, uma vez que o índice tem a desvantagem de ser sensível às estruturas construídas. Porém, mesmo com esse possível erro de correlação, ainda sim o índice pode ser aplicado no meio urbano, onde o aplicador pode relevar e adequar a análise. Esse processo de NDWI foi utilizado neste trabalho para caracterizar como estão distribuídos os bolsões e acúmulos de água na cidade e nas suas adjacências através das décadas de estudo.

De acordo com Jensen (2009), as informações sobre a temperatura superficial podem ser obtidas por sensoriamento remoto, tendo em vista que o calor interno de um alvo é convertido em energia radiante, e para a maioria dos alvos existe uma alta correlação positiva entre a temperatura cinética verdadeira do alvo e o fluxo radiante proveniente destes. Nessa perspectiva, a temperatura da superfície, que envolve o fluxo de calor em função da energia que entra e sai de um alvo, é fundamental para entender a interação entre a superfície e a atmosfera.

Para extrair as médias de temperaturas da superfície do solo foi usada a médias aritmética dos dados (temperatura no pixel da imagem em resolução de 30mx30m) contidos nas imagens do sensor termal Landsat, assim foi possível analisar dez imagens para a década de 1980, treze imagens para a década de 1990 para a década de 2000 foram utilizadas 15 imagens e por fim para a década de 2010 foram usadas dezessete imagens.

A disponibilidade de imagens do satélite da série Landsat para o Brasil depende das estações do ano, levantamentos dessa disponibilidade com dados de reflectância de superfície entre 1981 e 2019, realizados por Mas et al. (2020), já revelavam a baixa disponibilidade de imagens para os anos 1980 e o aumento dessa disponibilidade para a década de 1990. Assim, a opção pelo levantamento junto ao banco de dados da *Earth Explore da USGS* (earthexplore.usgs.gov) confirmou esse baixo quantitativo de imagens, apresentando as dificuldades de imagens com poucas nuvens ou fumaças, fato esse que nos levou a optar por imagens de datas disponíveis entre as estações de inverno/primavera do Hemisfério Sul.

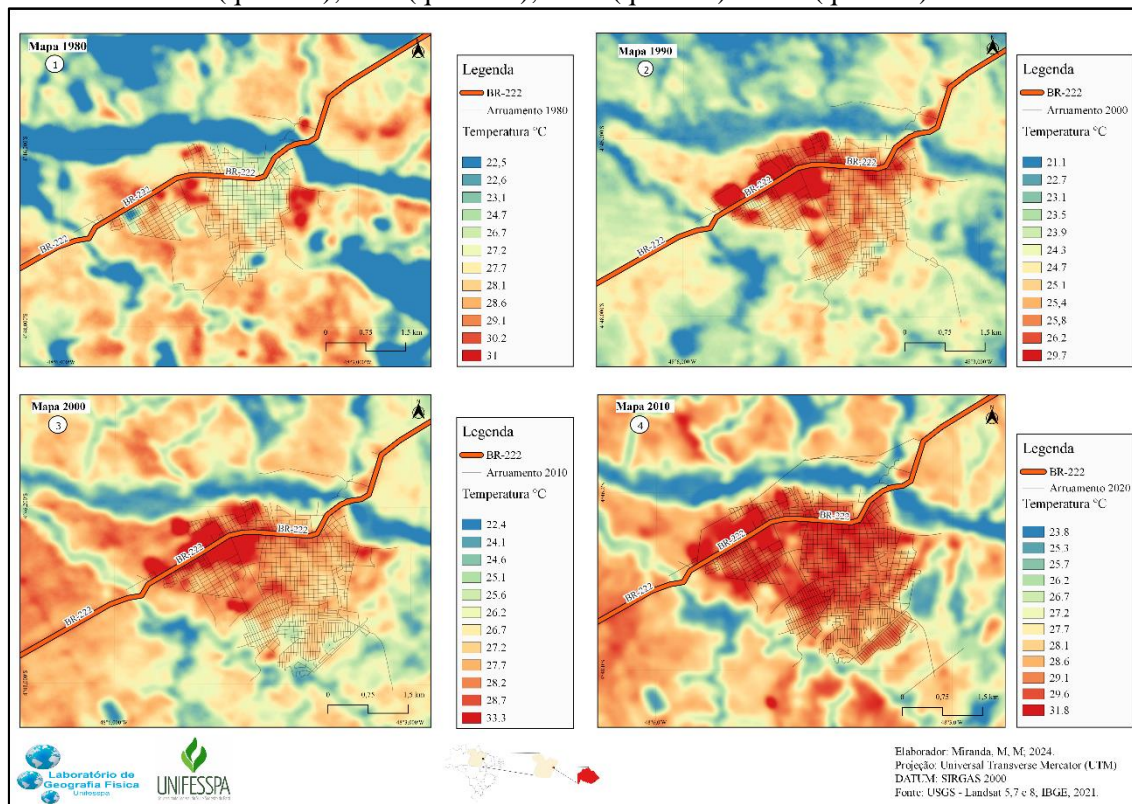
Para a construção do perfil termográfico, foram usadas as imagens termais das décadas de 1980, 1990, 2000, 2020, novamente foi retirada a média aritmética das décadas resultando em um raster com os dados para as quatro décadas supracitadas, na sequência foi usado a ferramenta *profile Tool* do Qgis para traçar um transecto na imagem com as médias das quatro décadas gerando um transecto com as variações de temperaturas. Posteriormente o transecto foi exportado para o software Inkscape (software de desenho) para que fosse trabalhado os aspectos das feições urbanas e rurais capaz de demonstrar as ilhas de calor da cidade de Rondon do Pará.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A cidade de Rondon do Pará apresenta clima tropical com invernos secos e verões chuvosos, o processo de produção do espaço urbano da cidade de Rondon do Pará

ocasionou mudanças no ambiente natural, as quais são dignas de consideração em termos de aspectos relacionados ao clima. A cidade cresceu em torno das margens da Rodovia BR-222 e, a variabilidade da temperatura está correlacionada à expansão em torno da referida rodovia, que dentro do perímetro urbano se torna a Avenida Marechal Rondon (Figura 3).

Figura 3 - Mapa termal da cidade de Rondon do Pará, expressos nas décadas de 1980 (quadro1); 2000(quadro 2); 2010 (quadro3) e 2020(quadro4)



Fonte: Landsat 5, 7 e 8 anos, 1984 a 2020
Org.: Autores, (2023).

O fenômeno identificado como ilha de calor, desencadeado pela impermeabilização do solo, redução da cobertura vegetal e pela modificação dos canais fluviais ao redor da cidade criam um cenário tendencial que afeta o subsistema físico-químico.

Em um primeiro momento, a energia emitida das estradas e de suas adjacências demonstram as alterações ocorridas na superfície urbana. Entre as décadas de 1980 e 1990, a temperatura média mínima da superfície de Rondon do Pará era de 22,5 °C e 21,1 e as máxima respectivamente eram de 31,0 °C e 29,7 °C (Figura 3, Quadro 1), podendo-se notar o aumento das temperaturas de superfície, em tons avermelhados, concentradas em uma área próxima ao eixo da rodovia BR 222 e, outra alta concentração de temperatura

nas bordas onde se concentra a malha urbana (arruamentos) que pode ser advinda de fonte de calor por incêndios e exposição do solo.

Na década de 2000, figura 3, quadro 2, as manchas em tons de azul tem concentração de temperatura mínima de 22,4 °C da qual caracteriza-se como as ilhas de frescor, nelas encontram-se áreas mais arborizadas, em relação as temperaturas encontradas no eixo da BR 222. As ilhas de frescor apresentam pequenos rios intermitentes, os quais fazem com que a temperatura seja mais amena.

Ainda as informações contidas na figura 3 do quadro 2, foram observadas temperaturas médias de superfície do solo de 22,4 °C (mínima) e 33,3 °C (máxima), com os pontos mais quentes destacados em vermelho associados à rodovia e suas áreas adjacentes, bem como as construções do sítio urbano (Figura 3, Quadro 2).

Verifica-se que ao longo das décadas houve variações expressivas nos valores mínimos e máximos da temperatura, da qual se observa que a década de 2010 (Figura 3, Quadro 3) foi a que mais variou, média mínima de 23,8 °C e máxima de 31,8 °C, podendo ter como causa a significativa expansão das atividades humanas sobre o meio natural.

Para a década de 2010, Figura 3, Quadro 4, o gradiente térmico ficou entre 23,8 °C para as mínimas e as máximas ficaram em 31,8°C em comparação com a década de 1980 há um aumento bastante significativo.

Com o objetivo de sistematizar os dados contidos na figura 3, a tabela 1, permite verificar as variações do comportamento da temperatura dos períodos em tela, usando o recurso da cor azul para a menor temperatura encontrada e a cor vermelha para pontuar a máxima temperatura encontrada durante as décadas do estudo.

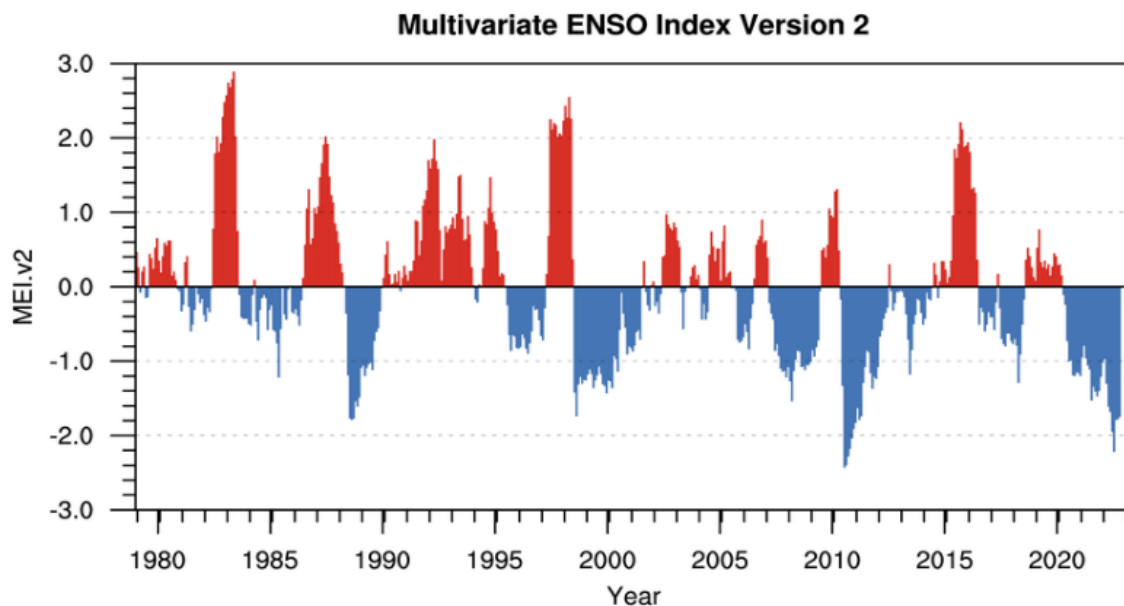
Tabela 1 - Dinâmica termográfica para as diferentes décadas estudadas

Décadas	Temp. Mínima em °C	Temp. Máxima em °C	Temp. Médias em °C	Desvio Padrão
1980	22,5	31,0	26,6	1.7
1990	21,1	29,7	25,4	1.0
2000	22,4	33,3	27,8	1.7.6
2020	23,8	31,8	27,8	2.2

Fonte: Landsat 5, 7 e 8 décadas 1980 a 2020
Org. Autores, 2023

As alterações na temperatura podem ser relacionadas aos eventos de El Niño e La Niña, que afetam a temperatura na superfície terrestre através do aquecimento ou resfriamento dos mares, com grandes consequências para as áreas urbanas no leste amazônico, no caso do estado do Pará. E o efeito maior recai sobre a região Sudeste, por causa das sazonalidades bem diferentes ao longo do ano (Figura 4).

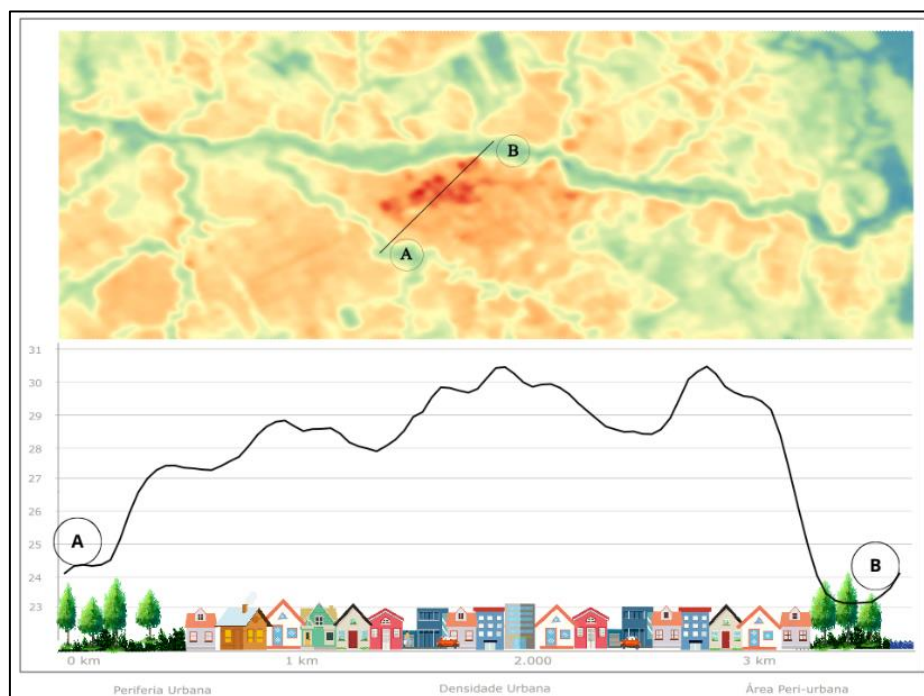
Figura 4 - Variações El-ñino/La ñina entre os anos de 1980 a 2020



Fonte: NOAA, (2020)

O ENSO, ou El Niño/Oscilação Su, é um estado anômalo natural de condições acopladas à oceano-atmosfera no Oceano Pacífico. É o principal preditor de distúrbios climáticos em todo o mundo, que podem durar várias estações antes de ter efeitos significativos em outras regiões. Sempre que o status do ENSO muda, é importante acompanhar os dados climáticos em tempo real, pois a segurança pública, a segurança alimentar, a saúde e o abastecimento de água podem ser influenciados.

A fim de encontrar relações entre os anos de ENSO para as décadas de El Niño quentes e La Niña para décadas frias é possível algumas ponderações para a cidade de Rondon do Pará da qual os efeitos segue um padrão de variabilidade ligado ao ENSO e, isso combinado às modificações humanas no meio urbano, traduzidas em picos de energia que estão se transformando em ilhas de calor, dinâmica do calor atmosférico através das décadas e a expansão da cidade tem reflexo no calor distribuído na cidade de Rondon do Pará (Figura 5).

Figura 5 - Perfil termográfico da cidade de Rondon do Pará dos anos de 1980 a 2020

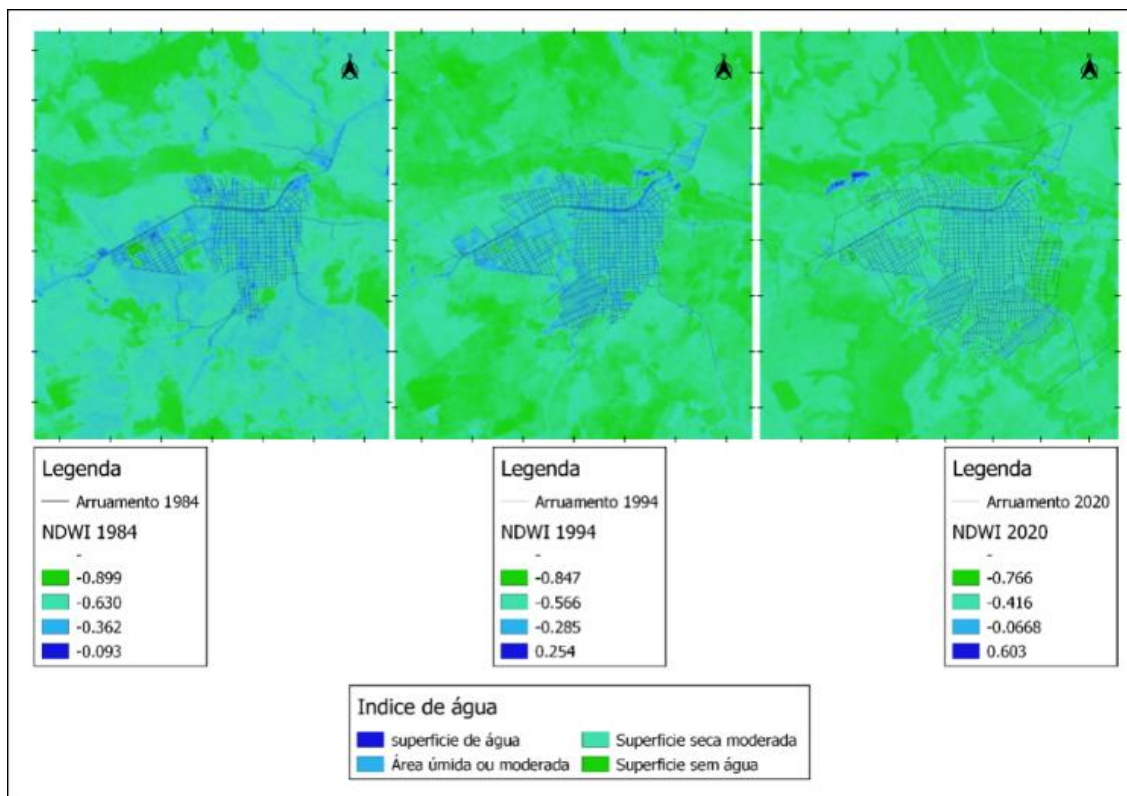
Fonte: Landsat 5, 7 e 8 anos, 1980 a 2020
Org.: Autores, (2023)

A Figura 5 demonstra o adensamento urbano na área central de Rondon do Pará com a diferenciação de temperatura mais alta (Ilhas de Calor) e nas áreas fora do centro urbano cercada por matas ciliares em borda dos corpos d'água e mais distantes do centro as ilhas de frescor.

O perfil termográfico representado na Figura 5 aponta que entre os pontos A e B localizam-se as bolsas de ar quente (energia térmica) ao longo da rodovia e como esses picos energéticos acabam se expandindo para as áreas adjacentes, criando pequenas zonas de calor que influenciam a temperatura térmica da cidade e o conforto térmico.

Outro elemento importante a se considerado é o campo higrométrico, assim optamos em realizar uma comparação com o componente de umidade do solo por meio do Índice de Água de Diferença Normalizada (NDWI). O índice NDWI, mesmo contendo uma significativa interferência de áreas construídas pela impermeabilização e/ou ressecamento do solo é possível ver que as áreas em azuis (presença de umidade do solo ou corpos d'água) têm indicativo de mudanças ambientais ao longo das décadas como pode ser vista na Figura 06.

Figura 6 - NDWI da cidade de Rondon do Pará, anos de 1984, 1994, 2020



Fonte: Landsat 5, 7 e 8 anos, 1984; 1994 e 2020
Org.: Autores, (2022)

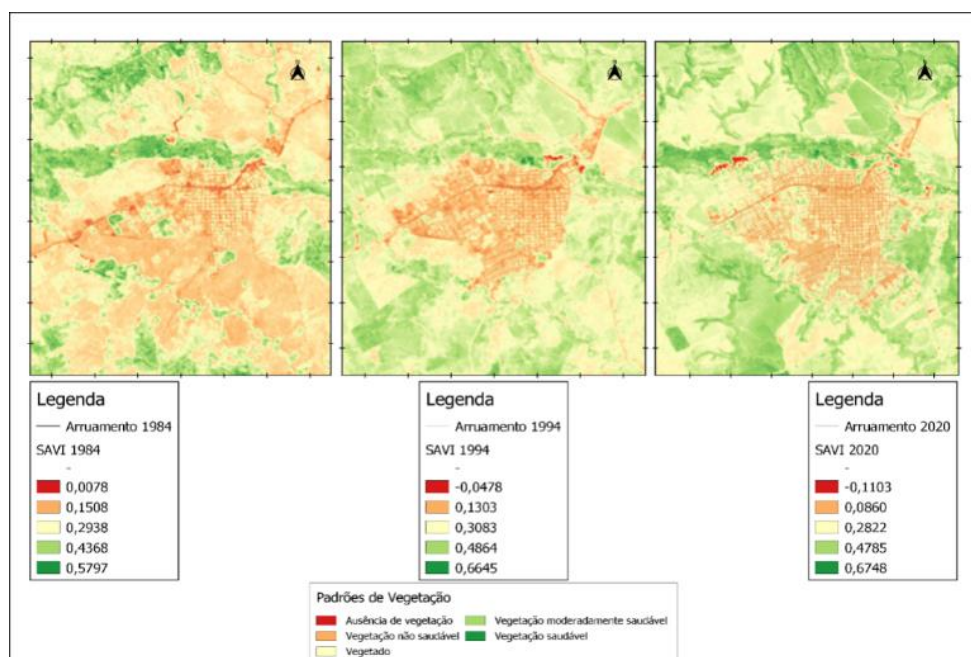
Para o ano de 1984 a figura 6 o NDWI apresenta déficit de umidade no solo ao comparar com os eventos ENSO da figura 4 é possível extrapolar que os efeitos de El Niño reflete bem a falta de umidade no ambiente outros fatores como a cobertura vegetal afeta as temperaturas no espaço urbano, os estudos de Fisch, Marengo e Nobre (1998), Marengo et al (2009), bem como os trabalhos de Saha et al. (2022), Wang et al. (2019) e Cavalcanti e Silveira (2013) têm permitido compreender tais influências dos fenômenos La Niña e corroboram com os aspectos de umidade e ressecamento solo encontrado em Rondon do Pará.

Outra variável importante diz respeito a mudanças significativas na cidade em relação ao seu tecido urbano por volta de 1994, na qual se verifica concentração de áreas sem umidade do solo. Para o ano de 2020, na Figura 6, as modificações estruturais ocasionadas pela urbanização da cidade demonstram bolsões de umidade superfície em meio a superfície sem água, muito provavelmente em função da cobertura vegetal que ainda fornece água para o ambiente.

Outro elemento muito importante que afeta a temperatura dentro do sistema clima urbano é a cobertura vegetal, assim optamos pela análise da cobertura da vegetação por meio do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) ver figura 7. Os resultados do SAVI representam a configuração da vegetação através das décadas com representação para os anos de 1984, 1994 e 2020.

Em 1984, podem ser analisadas áreas de vegetação não saudável, o que possivelmente nessa época deveriam ser áreas com desmatamento ou queimadas. E essas condições aumentam a temperatura e prejudicam os padrões das demais vegetações da área.

Figura 7 -Índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI), anos de 1984 a 2020



Fonte: Landsat 5, 7 e 8 anos, 1984; 1994 e 2020
Org.: Autores, (2022)

Para o ano 1994, Figura 7, os indicadores de SAVI apresenta a evolução do perímetro urbano e uma redução das queimadas na área, podemos inferir uma redução na vegetação que aumentou nessa década as áreas de vegetação secundária e fragmentos de vegetação primária, sobretudo nas proximidades das matas ciliares, espaços públicos e nos trechos ao redor do rio Ararandeuá. A arborização ajuda a reduzir a temperatura bloqueando a luz do sol, limpando poluentes do ar por meio de correntes de vento e exposição à luz solar, bem como outras radiações solares. Além disso, a evapotranspiração atenua as ilhas de calor.

Essa alteração muito possivelmente ocorreu pela consolidação do crescimento dos limites urbanizados da cidade. Para o ano de 2020 (Figura 7), desenha-se um retrato estável, se comparado com os anos anteriores, em que os índices identificados que dentro do perímetro urbanizado e ao longo da rodovia apontavam para a ausência da vegetação.

A partir do uso das imagens termais pode-se perceber que nas décadas de 1980, 1990, 2000, 2010 as temperaturas na cidade de Rondon do Pará vem passando por consideráveis variações, apresentando maiores picos térmicos nas áreas ao redor do eixo da BR-222, nos bairros Centro, Gusmão, Miranda e na Feira Agropecuária, já áreas com maior fragmentos florestais apontados pelo SAVI e mesmo o perfil termográfico vem apresentando os menores graus térmicos, a zona da Reserva do Parque e nos trechos ao redor do rio Ararandeua.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Frente ao avanço da urbanização, faz-se necessário o uso de técnicas capazes de subsidiar a análise dos elementos que mais interferem na qualidade dos ambientes urbanos e temperatura. Dessa forma, os estudos de clima urbano, especialmente o diagnóstico da variação de temperatura para estabelecimento das ilhas de calor urbanas, por meio de técnicas do geoprocessamento e sensoriamento remoto, ganham um forte aliado para o detalhamento que levam a contribuições de medidas mitigadoras para amenizar as temperaturas elevadas.

O sensoriamento remoto da superfície de certo por meio da criação de cartas como NDWI, SAVI e o uso das bandas termais, auxiliou no entendimento dos aspectos do clima de Rondon do Pará sobre a temperatura de superfície. Estes incluem uma relação entre a temperatura da superfície e a cobertura vegetal, bem como o crescimento urbano. A cobertura florestal com copas amplas e densas confirma-se como um aspecto importante para a manutenção do ecossistema de frescor da cidade, considerando a análise dos dados do SAVI e da carta de calor.

Todo o trabalho de mapeamento teve como resultado alterações perceptíveis na zona urbana da cidade, primeiro no tocante à temperatura ao longo desses quarentas anos, quando em 1980 a média de temperatura era de 26,6 graus e em 2020 a média relativa era de 27,8. Isso demonstra uma elevação termal de 1,2 °C, ou seja, traz uma média 0,3 grau de elevação para o período de estudo.

A alteração do uso do solo por processos urbanos influencia diretamente no campo térmico local (ilhas de calor), que representam pontos de altas temperaturas no mapa termal. Identificou-se, a partir da análise têmporo-espacial, que as características físicas dos arquipélagos de calor estão associadas às áreas de queimadas e terrenos com solo exposto normalmente abandonados, essas são duas características particulares presentes na abordagem de uma pequena cidade amazônica.

Portanto, na Amazônia brasileira, os esforços de planejamento precisam considerar a natureza do clima urbano, a efeito comparativo tanto em Rondon do Pará, uma cidade menor, quanto em Belém (capital do estado), cidade de grande porte, que enfrentam problemas significativos com seus ambientes, por serem cercadas por densa floresta tropical, vivenciam mudanças climáticas causadas pela intensificação da urbanização e diminuição das árvores nos espaços urbanos.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas do Pará pelo aporte financeiro pelo convênio de Cooperação Técnica e Financeira N° 023/2021, junto ao projeto em execução no âmbito o Instituto de Estudos em Desenvolvimento Agrário e Regional – IEDAR (Registro 07/2021)

REFERÊNCIAS

ALEIXO, N.; NETO, J. O campo térmico em área urbana na Amazônia Brasileira: análise episódica na cidade de Tefé-Am. **Geo UERJ**. n.34.2019. e40949. DOI:<https://doi.org/10.12957/geouerj.2019.40949>

AMORIM, M. C. C. T. Ilhas de Calor Urbanas: métodos e técnicas de análise. **Revista Brasileira de Climatologia**. 2019. p. 22 a 44. DOI:<http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v0i0.65136>

AMORIM, M. C. C. T. Spatial variability and intensity frequency of surface heat island in a Brazilian city with continental tropical climate through remote sensing. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**. 9, p. 10–16, 2018. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.rsase.2017.11.001>

BARBOSA, R.V.R.; VECCHIA, F. A. S. Estudos de ilha de calor urbana por meio de imagens do Landsat 7 ETM+: estudo de caso em São Carlos (SP). **Revista Minerva**, v. 6, n. 3, p. 273-278, 2009 Tradução. Disponível em: [http://www.fipai.org.br/Minerva%2006\(03\)%2007.pdf](http://www.fipai.org.br/Minerva%2006(03)%2007.pdf). Acesso em: 10 fev. 2023.

BRASIL. Cidades. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. «<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/rondon-do-para/historico-historia-da-cidade>. Acesso em 12 fev. 2023».

CASTRO, A. R. C. **Aplicação de Sensoriamento Remoto na Análise Espaço-temporal das Ilhas de Calor e Ilhas de Frescor Urbanas no Município de Belém/PA, nos Anos de 1997 e 2008.** Belém: 2009. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Pará.

CAVALCANTI, I. F. A.; SILVEIRA, V. P. Influência das TSM dos oceanos Pacíficos e Atlântico nos eventos de seca. In: BORMA, L de S.; NOBRE, C. A. Secas na Amazônia. São Paulo: Oficina de Textos, p. 78-88, 2013.

CONGEDO, L. Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. **Journal of Open Source Software**, 2021. Vol. 6, n° 64, 3172. DOI: <https://doi.org/10.21105/joss.03172>

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. – Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006.

GAO, B. C. NDWI: A Normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, v. 58, p.257- 266, 1996. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)

GOMES, M. A. S.; AMORIM, M. C. C. T. Arborização e Conforto Térmico no Espaço Urbano: estudo de caso nas praças públicas de Presidente Prudente (SP). **Revista Caminhos de Geografia**, v. 7, n. 10, p. 94-106, set. 2003.

DOI: <https://doi.org/10.14393/RCG41015319>

FISCH, G.; MARENGO, J. M. e NOBRE, C. A., Uma Revisão Geral sobre o Clima da Amazônia. **Acta Amazonica**, v.28, n.2, 1998, p. 101-126. <https://doi.org/10.1590/1809-43921998282126>

HUETE, A.R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v.25, p.295309. 1988.

JENSEN J. R., Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres, 2da Edição traduzida pelo **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE**, São Paulo, Parêntese, 672 p., 2009.

MARENGO, J. A.; JONES, R.; ALVES, L. M.; VALVERDE, M. C. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. **Journal Int. J. Climatol**, Royal Meteorological Society, p. 1-15, 2009. DOI: 10.5902/2236499461324/10.1002/joc.1863

MAS, J. F., SOPCHAKI, C. H., BRAZ RABELO, F. D., ARAÚJO, F. S. de; SOLÓRZANO, J. V.; Análise da disponibilidade de imagens Landsat e Sentinel para o Brasil. **Geografia Ensino & Pesquisa**, v.24, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5902/2236499461324>

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. Climatologia: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: **Oficina de Texto**, 2007. 206 p.

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

OKE, T. R. Boundary Layer Climates. London: Methuem & Ltd. A. Halsted Press Book, John Wiley & Sons, New York, 1978. 372p. DOI: <https://doi.org/10.4324/9780203407219>

OKE, T. R., Mills, G., Christen, A., Voogt, J. A. Urban Climates. Cambridge: Cambridge University Press, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781139016476>

REGO, A. G. et al. Evaluation of sustainability in the use of water within the Amazon deforestation area: a case study in Rondon do Pará, Pará State, Brazil. *Acta Scientiarum. Technology*, v. 35, n. 2, p. 237-245, 2013. DOI: 10.4025/actascitechnol.v35i2.13820

ROSA, Roberto. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, 16. 2005. p. 81-90 DOI: <https://doi.org/10.7154/RDG.2005.0016.0009>

VOOGT, J. A.; OKE, T. R. Thermal remote sensing of urban areas. **Remote Sensing of Environment**, 86, p. 370 - 384, 2003.

SAHA, J.; PRICE, C. G.; PLOTNIK, T.; GUHA, A. Impact of the El Niño–Southern Oscillation on upper-tropospheric water vapor. **Atmospheric Research**, v.280, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2022.106422>

SILVA, J. M. L.; VALENTE, M. A.; RODRIGUES, T. E. Zoneamento agroecológico do Município de Rondon do Pará - Estado do Pará. Belém, PA: **Embrapa Amazônia Oriental**, 2005a. Documentos, 173. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/408057>. Acesso em 11 de jan. 2023

SILVA, J. M. L.; VALENTE, M. A., RODRIGUES, T.E. Solos do Município de Rondon do Pará. Boletim Emílio Goeldi. **Ciências Naturais**. Belém. v. 1. n. 2. p. 157-186. 2005b

WANG, B. et al. Historical change of El Niño properties sheds light on future changes of extreme El Niño. **PNAS**, v. 116, 2019. <https://doi.org/10.1073/pnas.191113011>

WOLTER, K., and M.S. Timlin, 1993: Monitoring ENSO in COADS with a seasonally adjusted principal component index. Proc. of the 17th Climate Diagnostics Workshop, Norman, OK, NOAA/NMC/CAC, NSSL, Oklahoma Clim. Survey, CIMMS and the School of Meteor. **Univ. of Oklahoma**, 52-57. DOI: [10.4236/ajcc.2016.51009](https://doi.org/10.4236/ajcc.2016.51009)

Artigo recebido em: 09 de abril de 2023.

Artigo aceito em: 27 de abril de 2024.

Artigo publicado em: 15 de junho de 2024.