

Sensoriamento Remoto aplicado à análise do fenômeno de Ilhas de Calor na Cidade de Juazeiro do Norte - CE

Remote Sensing applied to the analysis of the Heat Islands phenomenon in the city of Juazeiro do Norte - CE

Teledetección aplicada al análisis del fenómeno Islas de Calor en la ciudad de Juazeiro do Norte - CE

Recebido: 08/19/2022 | Revisado: 08/30/2022 | Aceito: 09/05/2022 | Publicado: 09/12/2022

Cley Anderson Silva de Freitas

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4114-8699>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil

E-mail: cleyanderson@ifce.edu.br

Luis Clenio Jario Moreira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9918-9744>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil

E-mail: cleniojario@ifce.edu.br

Vinícius Bitencourt Campos Calou

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8396-8054>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil

E-mail: vinicius.calou@ifce.edu.br

José Vidal de Figueiredo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7342-714X>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil

E-mail: vidal@ifce.edu.br

Raissa Rodrigues de Sousa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2560-6044>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil

E-mail: rr451897@gmail.com

Gabriel Guerreiro Chaves Sampaio

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6689-4447>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil

E-mail: gabrielsampaioguerreiro@gmail.com

Kleiton Rocha Saraiva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1902-7038>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Brasil

E-mail: kleiton.rocha@ifpi.edu.br

Clayton Moura de Carvalho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4382-5382>

Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Brasil

E-mail: carvalho_cmc@yahoo.com.br

Manoel Rodrigues da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2549-7888>

Universidade Federal do Ceará, Brasil

E-mail: mjacob@ufc.br

Resumo

O município de Juazeiro do Norte, localizado na região do Cariri cearense, é uma cidade que se expandiu consideravelmente nas últimas décadas. O processo de urbanização acelerado, sem um planejamento ambiental, tem proporcionado aumento da temperatura do ar e da superfície, afetando diretamente o conforto térmico da população local. Deste modo, o estudo da espacialização e comportamento sazonal desse fenômeno é fundamental para tomadas de decisões nas políticas públicas da cidade. O objetivo deste trabalho, portanto, avaliar o efeito da dinâmica de uso do solo na temperatura superficial da cidade de Juazeiro do Norte visando identificar ilhas de calor e frescor em uma série temporal (2005 a 2020) de imagens da plataforma Landsat. Para obtenção da série histórica da temperatura de superfície e NDVI foram utilizadas imagens do Landsat 5, sensor TM nas bandas 3, 4 e 6 e Landsat 8, sensor OLI, nas bandas 4, 5 e 10 adquiridas da United States Geological Survey (USGS). Como resultados, foram identificadas ilhas de calor que envolvem os bairros intensamente edificados e com classes de solos expostos, enquanto as ilhas de frescor compõem os corpos hídricos e a vegetação que os margeiam. A arborização da cidade com plantas perenifólias pode favorecer a redução da temperatura local principalmente nos meses de estiagem.

Palavras-chave: Urbanização; Landsat; Ilha de frescor.

Abstract

The municipality of Juazeiro do Norte, located in the Cariri region of Ceará, is a city that has expanded considerably in recent decades. The accelerated urbanization process, without environmental planning, has increased air and surface temperatures, directly affecting the thermal comfort of the local population. Thus, the study of spatialization and seasonal behavior of this phenomenon is essential for decision-making in public policies in the city. The objective of this work, therefore, is to evaluate the effect of land use dynamics on the surface temperature of the city of Juazeiro do Norte in order to identify islands of heat and freshness in a time series (2005 to 2020) of images from the Landsat platform. To obtain the historical series of surface temperature and NDVI, images from Landsat 5, TM sensor in bands 3, 4 and 6 and Landsat 8, OLI sensor, in bands 4, 5 and 10 acquired from the United States Geological Survey (USGS) were used. As a result, heat islands were identified that involve intensely built neighborhoods with exposed soil classes, while islands of freshness make up the water bodies and the vegetation that surround them. The afforestation of the city with evergreen plants can favor the reduction of the local temperature, especially in the dry months.

Keywords: Urbanization; Landsat; Freshness island.

Resumen

El municipio de Juazeiro do Norte, ubicado en la región de Cariri de Ceará, es una ciudad que se ha expandido considerablemente en las últimas décadas. El proceso de urbanización acelerado, sin planificación ambiental, ha aumentado la temperatura del aire y de la superficie, afectando directamente el confort térmico de la población local. Así, el estudio de la espacialización y el comportamiento estacional de este fenómeno es fundamental para la toma de decisiones en las políticas públicas de la ciudad. El objetivo de este trabajo, por lo tanto, es evaluar el efecto de la dinámica del uso del suelo sobre la temperatura superficial de la ciudad de Juazeiro do Norte para identificar islas de calor y fresca en una serie de tiempo (2005 a 2020) de imágenes de la Plataforma Landsat. Para obtener la serie histórica de temperatura superficial y NDVI, se utilizaron imágenes de Landsat 5, sensor TM en bandas 3, 4 y 6 y Landsat 8, sensor OLI, en bandas 4, 5 y 10 adquiridas del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). usado. Como resultado, se identificaron islas de calor que involucran barrios intensamente construidos y clases de suelo expuestas, mientras que islas de frescura componen los cuerpos de agua y la vegetación que los rodea. La forestación de la ciudad con plantas siempre verdes puede favorecer la reducción de la temperatura local, especialmente en los meses secos.

Palabras clave: Urbanización; Landsat; Isla de la frescura.

1. Introdução

Com o Estatuto das Cidades, Lei Federal nº 10.257/2001, os municípios se tornaram responsáveis pelo seu ordenamento urbano. No entanto, a urbanização é uma tarefa social complexa, que requer planejamento e investimentos públicos e privados, não apenas criar novas ruas e parcelar glebas em lotes (Grostein, 2001). É necessário conhecimento sobre os parâmetros que afetam positivamente e negativamente a qualidade de vida dos habitantes locais.

Com a urbanização há uma redução de áreas verdes, aumento de arruamentos asfaltados e construção de edificações promovendo alterações nas propriedades térmicas, hidrológicas e parâmetros aerodinâmicos das cidades (Costa et al., 2010). As temperaturas mais elevadas associadas a intensa edificação das cidades, quando comparadas com suas bordas menos edificadas, são denominadas de ilhas de calor urbanas, sendo um indicador das alterações do clima local e afetando diretamente a qualidade de vida dos munícipes (Leal, 2012; Vila Nova et al., 2021).

O uso de materiais que absorvem e irradiam o calor, como asfaltos e concretos, associados à alteração aerodinâmica da superfície em função das edificações, que reduzem drasticamente a velocidade de passagem dos ventos responsável pela transferência de calor de uma região para outra, contribuem para formação das ilhas de calor (Gartland, 2010).

O stress térmico causado pelas altas temperaturas nos ambientes urbanos afeta negativamente o bem-estar da população, apresentando desconforto térmico e doenças ligadas ao aparelho respiratório (Barros & Lombardo, 2016), além de gerar prejuízos econômicos pela ampla demanda de energia, em decorrência do uso dos equipamentos de refrigeração de ar. Em algumas cidades como Hong Kong, Stuttgart e Lisboa, as ilhas de calor são consideradas como problemas de saúde pública, e por isso são utilizadas como indicativos nos planos de gestão local, como a criação de parques e plano de arborização (Estevão et al., 2020).

A arborização das ruas e parques para reduzir a temperatura e melhorar o conforto térmico tem se mostrado uma medida eficiente na contenção da elevação da temperatura nos centros urbanos. Isso ocorre porque as plantas absorvem radiação e

liberam moléculas de água em seu processo de fotossíntese e evapotranspiração. Com a passagem dos ventos sobre as folhas há uma troca de calor no ambiente promovendo uma redução da temperatura (Silva et al., 2016).

As áreas verdes, além de promover o equilíbrio térmico, também podem mitigar a poluição atmosférica acústica, além de melhorar o aspecto visual das cidades (Freitas et al., 2013), evidenciando sua importância para o Plano Diretor. A elaboração de um plano de arborização e a aplicação de uma legislação que defina uma relação adequada entre espaço construído e área verde dos centros urbanos podem amenizar as condições das altas temperaturas (Coelho & Correa, 2013).

Corpos hídricos preservados também são grandes aliados para redução das temperaturas das cidades, chamados de ilha de frescor (Coelho & Correa, 2013). O aterro dos corpos hídricos em função da urbanização além contribuir com o aumento da temperatura de superfície também reduz a umidade relativa do ar.

Conceição et al. (2018), avaliando a temperatura superficial da Área de Proteção Ambiental do Tietê - SP, utilizando imagens de satélite, constataram relação direta entre a temperatura superficial e o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI). De acordo com Barboza et al. (2020), há uma correlação entre a redução do vigor de biomassa da vegetação e do processo de urbanização implicando no aumento da temperatura de superfície e das ilhas de calor urbano.

O Sensoriamento remoto possibilita a obtenção de dados de temperatura da superfície terrestre por meio do registro da energia refletida ou emitida pelos pixels (Liu, 2015). Esta ferramenta possibilita análises ambientais eficientes, sendo amplamente utilizada. Sem que haja o contato direto com alvos ou fenômenos, por meio de imagens, é possível observar o uso da terra e as condições da vegetação natural, subsidiando ações ambientais que possibilitem uma melhor aplicação de estratégias sustentáveis (Penoni et al., 2017).

Por se localizar nas baixas latitudes, o Estado do Ceará está submetido à forte radiação solar praticamente durante todo o ano, aliado a isso, a má distribuição das chuvas, concentradas no primeiro semestre, intensifica a alta sensação térmica sentida na região, principalmente nos meses de estiagem (Santos Júnior et al., 2016). Juazeiro do Norte está situado ao sul do Ceará e é a quarta maior economia do estado. Possui aproximadamente 96% de seu território urbanizado e a terceira maior em número de habitantes (Rodrigues, 2018; IBGE, 2022). Juazeiro do Norte está distante aproximadamente 350 km do oceano, o que intensifica as altas temperaturas e baixas umidade relativa nos meses de estiagem. O uso dos corpos hídricos e vegetação possibilita a troca do ar seco pelo úmido, reduzindo a amplitude térmica local, melhorando da umidade e temperatura do ar local (Queirós & Rocha, 2021).

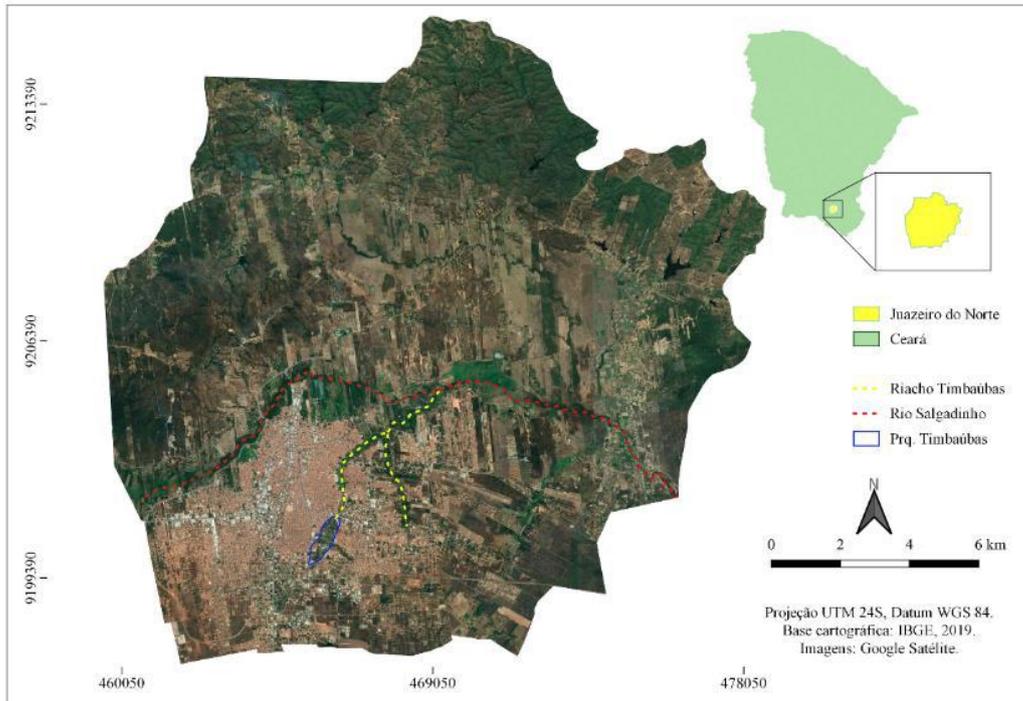
Desta forma, o presente trabalho tem por objetivo avaliar o efeito da dinâmica de uso do solo na temperatura superficial da cidade de Juazeiro do Norte visando identificar ilhas de calor e frescor em uma série temporal (2005 a 2020) de imagens da plataforma Landsat.

2. Metodologia

De acordo com Pereira et al. (2018) do ponto de vista da natureza, esse trabalho trata de uma pesquisa básica. Pela perspectiva de abordagem, é uma pesquisa quantitativa. Analisando os objetivos essa pesquisa é exploratória. Em relação aos procedimentos técnicos é do tipo estudo de caso

O estudo foi realizado no município de Juazeiro do Norte (Figura 1), situado na região Sul do estado do Ceará, com altitude média de 429 metros. A densidade populacional é de aproximadamente 1.119 habitante km⁻² e população estimada de 278.264 pessoas em 2021, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas – IBGE (2020). O clima na região, segundo a classificação climática de Köppen, é do tipo BSh.

Figura 1. Mapa de localização de Juazeiro do Norte - CE.



Fonte: Dados da própria pesquisa.

O estudo foi realizado em uma série temporal de 15 anos (2005 a 2020) onde foram selecionadas imagens sem cobertura de nuvens a cada cinco anos totalizando quatro imagens. Nos anos de 2005 e 2010 foram utilizadas imagens do Landsat-5 sensor TM do mês de outubro. Já para os anos de 2015 e 2020 foram usadas imagens do Landsat-8 sensores OLI e TIRS, do mês de outubro, respectivamente. Todas as imagens foram obtidas do United States Geological Survey (USGS) – órbita 217 e ponto 65.

Para obter a temperatura de superfície foi utilizada a banda 6 do Landsat-5 (sensor TM) e banda 10 do Landsat-8 (sensor TIRS) as quais apresentam sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos. Todo processamento das imagens digitais foi realizado no software Qgis 3.16.

A radiância espectral no topo da atmosfera (LTOA) das bandas foi obtida pela Equação 1. Onde LTOA é a radiância espectral ($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$), MB é o fator multiplicativo da radiância para a banda 6 (0,055375) ou banda 10 (0,00033420), Qcal é o número digital referente a cada pixel da banda e AB é um fator aditivo da radiância para a banda 6 (1,18243) ou 10 (0,10000), para o sensor TM e TIRS, respectivamente.

$$L_{TOA} = MB \cdot Qcal + AB \quad (1)$$

O cálculo da radiância de superfície (LT) foi obtido pela Equação 2. Onde LT é a radiância corrigida a ($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$), LTOA é a radiância espectral no topo da atmosfera ($W m^{-2} sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$), τ é a Transmissividade da atmosfera, ε é a Emissividade da superfície, Lu á Radiância emitida pela superfície ($W m^2 sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$) e Ld á Radiância recebida pela superfície ($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$).

$$L_T = \frac{L_{TOA} - Lu - (1 - \varepsilon)Ld}{\tau \varepsilon} \quad (2)$$

Os dados de transmissividade atmosférica, radiância emitida e recebida pela superfície foram obtidos do site da NASA (<http://atmcorr.gsfc.nasa.gov/>) em função das coordenadas geográficas, data e hora da obtenção das imagens Landsat-5 ou 8, Tabela 1.

Tabela 1. Transmissividade atmosférica, radiância emitida e recebida pela superfície na hora de aquisição das imagens.

Coord.1 (Lat/Long)	ANO	Data2 (ano-mês-dia)	Hora3 (GMT)	Satélite	τ	Lu	Ld
-7.225/-39.320	2005	2005-10-31	12:35	Lansat 5	0,70	2,40	3,75
-7.225/-39.320	2010	2010-10-13	12:37	Lansat 5	0,64	2,95	4,55
-7.225/-39.320	2015	2015-10-27	12:47	Lansat 8	0,78	1,83	3,01
-7.225/-39.320	2020	2020-10-08	12:47	Lansat 8	0,63	3,28	5,12

Fonte: Dados da própria pesquisa.

A emissividade (ϵ) foi estimada pela Equação 3, sendo P_v a proporção de vegetação.

$$E = 0,004 \cdot P_v + 0,986 \quad (3)$$

A proporção de vegetação (P_v) foi estimado pela equação 4, sendo o NDVI, (NDVImax) e (NDVImin) o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada e seus extremos mínimos e máximos, obtidos na área de estudo.

$$P_v = \left(\frac{NDVI - NDVImin}{NDVImax - NDVImin} \right)^2 \quad (4)$$

O NDVI foi obtido de acordo com a Equação 5, sendo ρ_{NIR} as refletâncias nas bandas do infravermelho próximo (B4 ou B5) e ρ_V refletâncias nas bandas do vermelho (B3 ou B4) respectivos para cada sensor TM e OLI (Landsat 5 e 8).

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_V}{\rho_{NIR} + \rho_V} \quad (5)$$

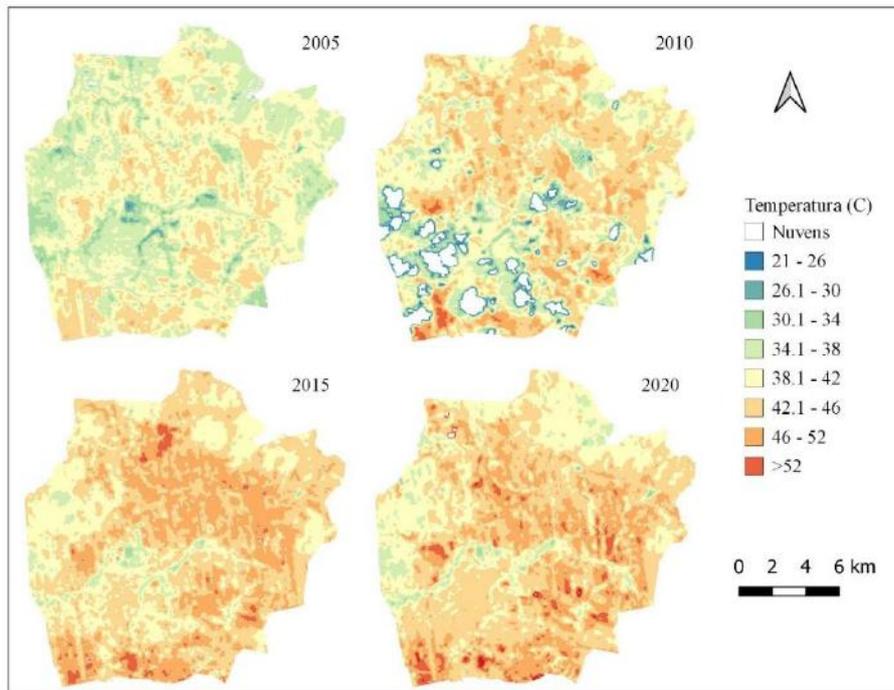
A temperatura de Superfície Terrestre (TST) foi estimada pela Equação 6. Sendo TST (°C) a temperatura de Superfície terrestre, K_2 (1260,56 e 1321,08) e K_1 (607,76 e 774,89) constantes termais das bandas 6 e 10 dos sensores TM e TIRS, respectivamente, L_λ a radiância espectral no topo da atmosfera medido em $W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$, adquirido na etapa anterior (Equação 1).

$$TST = \left[\frac{K_2}{\ln \left(\frac{K_1}{L_T} + 1 \right)} \right] - 273 \quad (6)$$

3. Resultados e Discussão

Na Figura 2 estão expostos os mapas termais de Juazeiro do Norte para os anos de 2005, 2010, 2015 e 2020. Foi verificado um padrão da distribuição da temperatura de superfície para todos os anos avaliados.

Figura 2. Distribuição espacial a temperatura de superfície do Município de Juazeiro do Norte -CE, para os anos de 2005, 2010, 2015 e 2020.



Fonte: Dados da própria pesquisa.

As menores temperaturas de superfície foram observadas no ano de 2005 com amplitude térmica de 25 a 47 °C. Por outro lado, as maiores temperaturas foram identificadas nos anos de 2015 e 2020, com amplitude térmica de aproximadamente 29 a 58 °C, evidenciando aumento da temperatura do município com o passar dos anos, podendo estar associado com o crescimento urbanístico e populacional. A população de Juazeiro do Norte em 2005, que era de aproximadamente 212.133 habitantes, cresceu cerca de 30% até o ano de 2020, com o quantitativo de 276.264 habitantes (IBGE, 2020; IPECE, 2012).

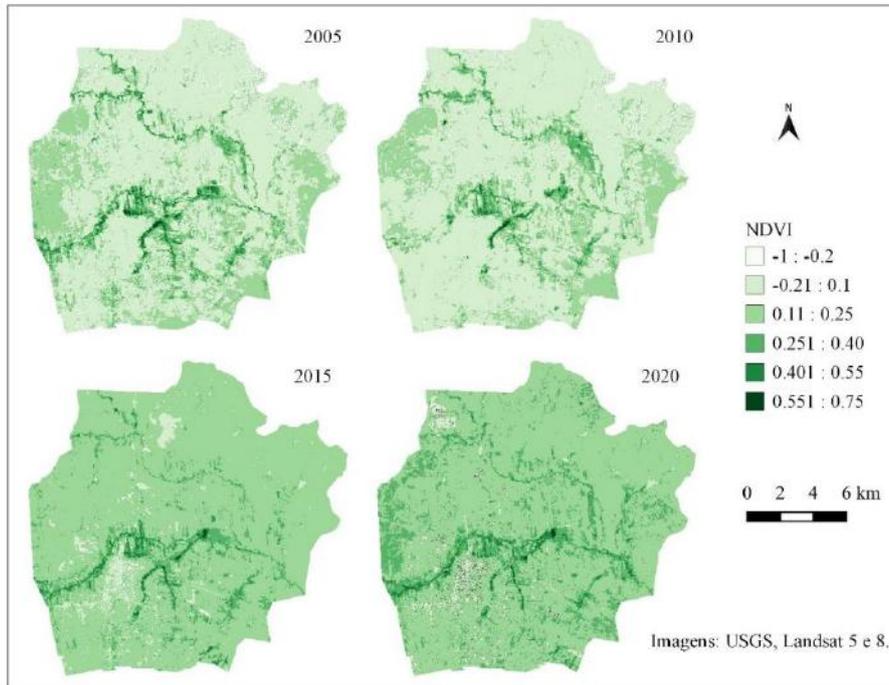
As regiões de menores temperaturas registradas foram em locais com presença de corpos hídricos e vegetação densa. Resultados semelhantes foram constatados por Barboza et al. (2020), em que as menores temperaturas de superfícies foram observadas nas regiões de cobertura vegetal não urbanizada e nos corpos hídricos. Já as mais aquecidas, são em áreas que possuem intensa atividade humana, como a construção civil, exploração agropecuária de sequeiro e vegetação decídua.

A amplitude térmica (diferença entre temperatura máxima e temperatura mínima) de 29 °C em 2020, observadas no presente estudo evidencia a importância de medidas para a redução das ilhas de calor e implantação de ilhas de frescor, como a arborização da cidade e utilização de materiais frios (mal condutores de calor e materiais claros, que possuem alto poder de reflexão da luz e dissipação do calor) na construção civil. Estevão et al. (2020) obtiveram temperaturas de superfície elevadas para Juazeiro do Norte, de até 40 °C, em novembro de 2018, demonstrando a tendência de aquecimento superficial ao passar dos anos, corroborando com os dados obtidos no presente estudo. Os autores afirmam que as principais causas deste aquecimento estão relacionadas a urbanização sem planejamento e a supressão de áreas de vegetação natural.

A Figura 3 traz as imagens do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para os anos de 2005, 2010, 2015 e 2020. Os valores próximos a 1 significam maior densidade de biomassa; valores negativos indicam presença de água e; valores positivos próximos a 0 indicam escassez de vegetação e exposição do solo. Pode-se observar a relação direta entre espacialização da temperatura de superfície e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para cada ano. Barboza

et al. (2020) também constataram relação direta do vigor da vegetação (NDVI) com valores de temperatura de superfície e as ilhas de calor urbano.

Figura 3. Distribuição espacial do NDVI da Município de Juazeiro do Norte -CE.



Fonte: Dados da própria pesquisa.

As precipitações médias anuais foram de aproximadamente 672, 762, 740 e 1.030 mm para os anos de 2005, 2010, 2015 e 2020, respectivamente (FUNCEME, 2022), o que pode justificar os melhores valores de NDVI para dois últimos anos analisados, uma vez que a disponibilidade hídrica permite a regeneração da cobertura vegetal. Embora nos anos de 2010 e 2015 tenha se registrado precipitações anuais semelhantes, possivelmente no ano de 2015 foram observadas áreas com vegetação mais intensa, devido à quantidade de chuva do ano anterior (2014), que foi de 999 mm, contribuindo para a regeneração da vegetação e assim melhores resultados de NDVI em 2015.

Os maiores valores de NDVI (0,74; 0,65; 0,64 e 0,65 nos respectivos anos 2005, 2010, 2015 e 2020) localizados aproximadamente no centro da imagem, margeando os rios Salgadinho e riacho Timbaúbas, é caracterizado pelo alto vigor vegetativo, indicando locais de alta atividade fotossintética, em função boa disponibilidade hídrica ao longo dos riachos, onde também se apresentaram as menores temperaturas de superfície. Esses valores de NDVI são próximos aos observados por Barbosa et al. (2017) que estudou vegetação perenifoliar, identificando valor médio de 0,69 ao longo dos cursos de água, açudes e barramentos. Ainda segundo os autores, locais de ambientes mais úmidos influenciam diretamente na conservação da folhagem verde, interferindo nos valores de NDVI.

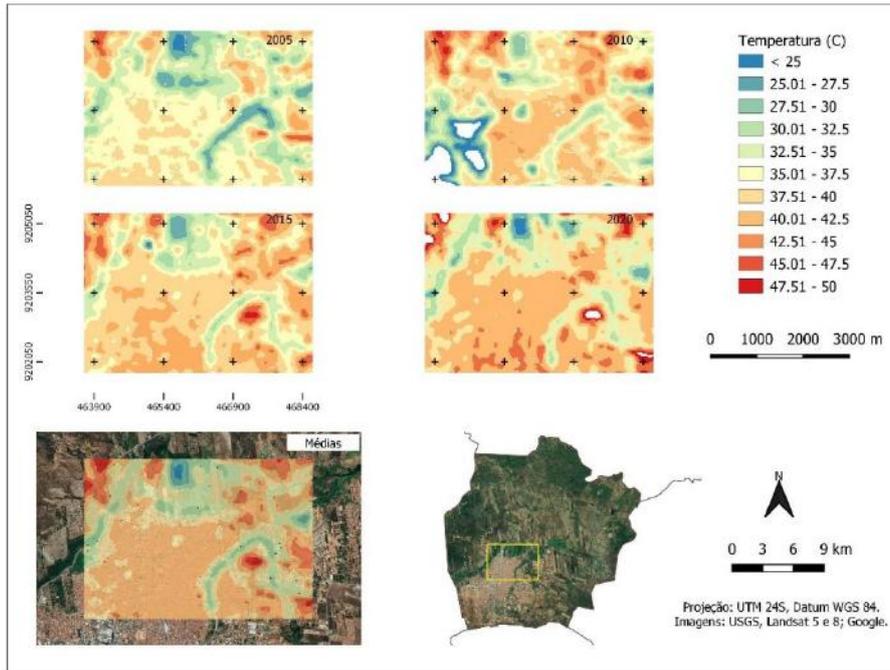
O centro urbano de Juazeiro do Norte apresentou valores de NDVI próximos a 0. Este fato está associado a alta densidade de construção civil e áreas pavimentadas, registrando-se também as maiores temperaturas de superfície.

Valores baixos de NDVI também foram observados na região ao norte, onde tem-se uma menor urbanização, contrapondo com o maior registro dos solos expostos, vegetação degradada, caatinga e exploração da agricultura de sequeiro, regiões que também contribuem com as ilhas de calor da cidade. Como o NDVI é um dos parâmetros utilizados na avaliação da degradação do solo, segundo Mariano et al. (2018), fica evidenciado a importância da recuperação da vegetação natural dessa

região. Corroborando com a presente pesquisa, Barbosa et al. (2017) observaram NDVI variando de -0,04 até 0,03, para a caatinga menos densa e (0,03 até 0,14) para a caatinga mais densa.

Na Figura 4 pode se observar com mais detalhes o padrão da variação espacial da temperatura de superfície em função da cobertura do solo. As cores nos tons de azul e verde representando as temperaturas menores que cobrem os corpos hídricos e a vegetação que os margeiam, com alto vigor vegetativo.

Figura 4. Distribuição espacial a temperatura de superfície de um quadrante urbanizado do Município de Juazeiro do Norte - CE, para os anos de 2005, 2010, 2015 e 2020.

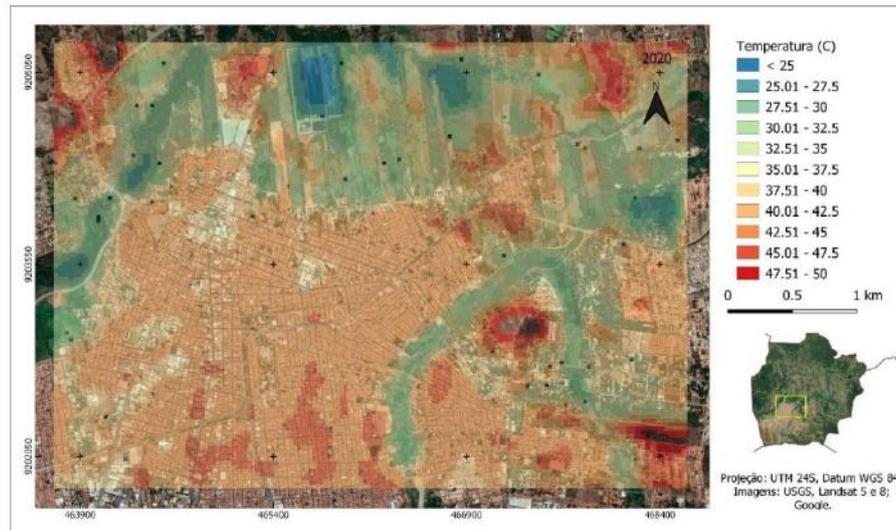


Fonte: Dados da própria pesquisa.

Já mais ao centro da imagem, onde se localiza a área mais urbanizada da cidade, foram observadas altas temperaturas. As maiores temperaturas estão associadas aos materiais que absorvem e retém mais radiação, refletindo em calor, como asfaltos e concretos, além da alteração aerodinâmica da superfície pelas edificações, que reduzem a passagem do vento responsável pela transferência de calor de uma região para outra, contribuindo significativamente para formação das ilhas de calor (Gartland, 2010).

A Figura 5 é uma amplificação da Figura 4 para o ano de 2020, onde foi realizada uma análise mais detalhada da importância da cobertura do solo para formação de ilhas de calor e frescor de uma cidade.

Figura 5. Distribuição espacial a temperatura de superfície de um quadrante densamente edificado contrapondo com corpos hídricos do Município de Juazeiro do Norte -CE, para o de 2020.



Fonte: Dados da própria pesquisa.

Na região norte e leste da imagem pode-se observar o rio Salgadinho e o riacho Timbaúbas acompanhados de uma vegetação com maior vigor vegetativo (mata ciliar). Nessas regiões foram registradas as menores temperaturas, consideradas como ilhas de frescor para a cidade, corroborando com os resultados de Estevão et al. (2020) ao observarem menores temperaturas, em Juazeiro do Norte, nas imediações destes dois corpos hídricos. Ainda segundo os autores estas menores temperaturas são resultado resfriamento evaporativo da região.

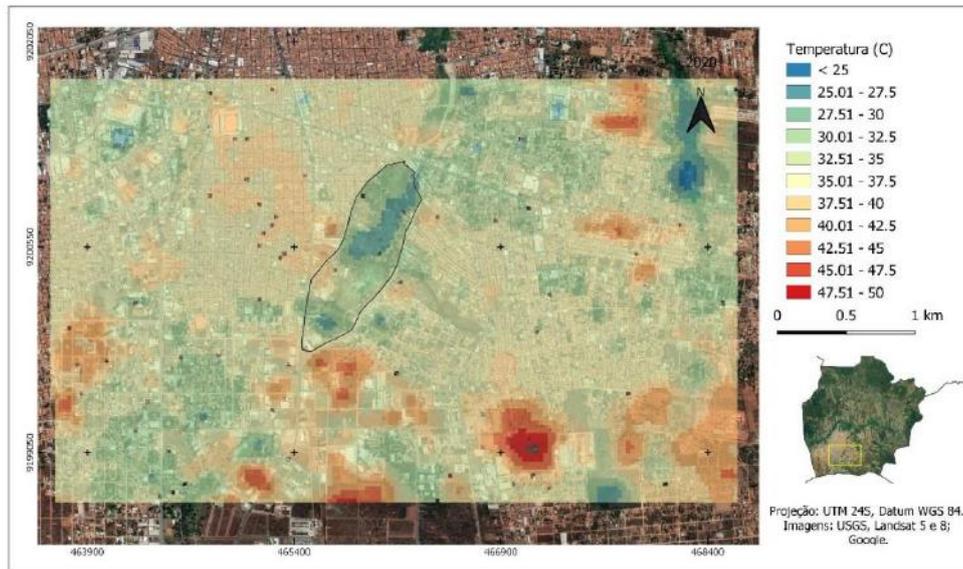
Ao norte da Figura 5 é possível visualizar uma estrutura retangular onde se registra baixas temperaturas, esse corpo hídrico artificial é a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da Companhia de Água e Esgoto do Ceará - CAGECE, podendo evidenciar a importância dos corpos hídricos, mesmo que artificial, como açudes e lagos para manutenção da temperatura local.

As regiões mais aquecidas iniciam ao norte, a leste da ETE, onde estão o Centro de Apoio ao Romeiro (CAR) e outros aparelhos urbanos. Logo ao sul do CAR, tem-se os bairros com alta densidade de edificações: Centro; Fátima; Salesiano; Timbaúba; Santo Antônio; Limoeiro; Romeirão e São Cabral. Essas regiões podem ser consideradas as ilhas de calor da cidade. Lima e Ribeiro (2012) enfatizam sua preocupação com a rápida urbanização de Juazeiro do Norte com as intensas modificações de sua paisagem original, pela retirada da cobertura vegetal e modificação nas formas e dinâmica do relevo. Ainda segundo autores, isto mostra como as cidades médias do interior nordestino são impactadas pela ação antrópica.

O aumento da temperatura nessas regiões deve-se a retirada da cobertura vegetal, da alteração do relevo e do uso de materiais que absorvem e retêm mais radiação, refletindo em calor (Costa et al., 2010; Gartland, 2010). Corroborando com o presente trabalho Barboza et al. (2020) avaliaram a temperatura de superfície de Vitoria - ES, com imagens termais do Landsat-8 e observaram maiores temperaturas nas regiões de intensa urbanização e solos expostos com as menores para áreas de alto índice de vegetação e corpos hídricos.

A Figura 6 mostra um quadrante mais a sul do município de Juazeiro do Norte, aproximadamente no centro da imagem. Em destaque, tem-se o Parque Timbaúbas, nele pode-se observar sua importância como ilha de frescor, melhorando a temperatura e umidade da região.

Figura 6. Distribuição espacial a temperatura de superfície de um quadrante densamente edificado contrapondo com o parque Timbaúbas do Município de Juazeiro do Norte -CE, para o de 2020.



Fonte: Dados da própria pesquisa.

No parque Timbaúba em função de sua vegetação e lagoa foram estimadas temperaturas inferiores aos dos bairros João Cabral, José Geraldo da Cruz, Limoeiro e Tiradentes com intensas edificações. Isso ocorre porque as plantas absorvem radiação mitigando o aquecimento do solo. No processo fotossintético parte da radiação é convertida em energia biológica, no mesmo instante em que outra parte da radiação aquece as moléculas de água no processo de transpiração e com a passagem dos ventos sobre as folhas há uma redução da temperatura por convecção e assim redução da temperatura local (Silva et al., 2016).

A presença das inúmeras espécies caducifólia no Parque Timbaúbas não favorece tanto para a redução da temperatura nos meses de estiagem (agosto a novembro), período de menor vigor vegetativo, em que estas espécies perdem suas folhas, permitindo a passagem de grande parte da radiação que sobreaquece o solo. Oliveira Júnior (2016) observou acréscimo de 56% do NDVI da caatinga entre a estação seca e chuvosa, evidenciando a alta variação no percentual de cobertura da vegetação, em função da disponibilidade hídrica e variação fenológica da vegetação.

A arborização do parque Timbaúbas, com frutíferas e vegetação perenifoliar, contribui favorecendo a redução da temperatura local, já que apresentam maior vigor vegetativo durante todo ano, além de melhorarem a fauna local, com a alimentação de pássaros e animais que vivem na região. Barbosa et al. (2017), trabalhando com cobertura vegetal de espécies da caatinga, conseguiram correlacionar a discriminação dos limites entre as classes de vegetação (Perenifólia, Semidecídua e Decídua) e os valores do NDVI no período estiagem. Tendo os menores valores de NDVI as decíduas, seguido pelas semidecíduas e perenifólias. Desta forma, fica evidenciada a importância da arborização urbana optando por espécies perenifólias como o Juazeiro (*Ziziphus joazeiro*).

Algumas cidades brasileiras como, por exemplo, Fortaleza - CE, Registro - SP e Salvador - BA, já possuem seus próprios guias e manuais de arborização urbana. A arborização urbana traz inúmeros benefícios, no entanto, é necessário conhecimento e planejamento para escolher as espécies (arbórea, arbustiva e rasteiras) mais indicadas para cada espaço, evitando assim, problemas e prejuízos na rede elétrica, na rede de água e esgoto e nos passeios. Recomenda-se árvores com rápida taxa de crescimento, de frutos pequenos, sem espinhos ou acúleos, resistentes a pragas, doenças e principalmente ser tolerantes a seca e encharcamento, pois nem sempre os solos urbanos terão condições ideais de irrigação e drenagem (Prefeitura Municipal de Registro, 2017).

A lagoa presente no parque Timbaúbas contribui como uma ilha de frescor. Os corpos hídricos possibilitam a troca do ar seco pelo úmido, reduzindo a amplitude térmica local, melhorando a umidade e temperatura do ar (Queirós & Rocha, 2021). A lagoa do parque também pode ser utilizada para irrigar as plantas frutíferas e perenes no período de estiagem, aumentar a umidade relativa local, ornamentação da paisagem e recreação com instalação de brinquedos aquáticos (pedalinhos, por exemplo), aproximando a sociedade aos espaços públicos.

Renard et al. (2019) avaliado efeito do uso e ocupação do solo em Confluence e Kaplan Park na cidade de Lyon (França) de 2003 e 2015, sobre a temperatura local, observaram que, com investimentos drásticos em áreas intensamente urbanizadas com implantação de arborização e corpos hídricos artificiais, reduziram significativamente a temperatura local e os alagamentos. Ainda segundo autores, espaços naturais estruturam o bairro, fortalecem o vínculo com a natureza e melhoram a qualidade de vida dos habitantes.

4. Conclusão

Foi possível identificar ilhas de calor em Juazeiro do Norte, que estão localizadas em regiões de alta densidade de imóveis com restrita área vegetada sendo uma consequência da urbanização mal planejada.

A cobertura vegetal e corpos hídricos promoveram ilhas de frescor na cidade favorecendo a manutenção de temperaturas amenas.

Na série histórica, foi possível identificar uma maior quantidade de ilhas de calor nos anos de 2020 e 2015, em relação a 2005, o que pode estar relacionado com aumento da urbanização da cidade.

A criação de parques ambientais pode contribuir para amenizar a temperaturas das cidades melhorando o conforto térmico local além de servir para o lazer e prática de esportes.

A arborização das avenidas e parques com espécies perenifólias pode melhorar as ilhas de frescor no período de estiagem, quando as temperaturas das cidades tendem a se elevar.

Os estudos de ilha de calor podem subsidiar conhecimentos para o Plano Diretor da Cidade possibilitando tomadas de decisões sobre como a cidade deve contrabalancear entre expansão imobiliária e criação das ilhas de frescor. Desta forma sugere-se a realização periódica destes estudos.

Referências

- Barbosa, A. H. S., Carvalho, R. G., & Camacho, R. G. V. (2017). Aplicação do NDVI para a Análise da Distribuição Espacial da Cobertura Vegetal na Região Serrana de Martins e Portalegre – Estado do Rio Grande do Norte. *Revista do Departamento de Geografia*, 33, 128-143. <https://doi.org/10.11606/rdg.v33i0.128171>.
- Barboza, E. N., Bezerra Neto, F. das C., & Caiana, C. R. A. (2020). Sensoriamento Remoto aplicado à análise do fenômeno de Ilhas de Calor Urbano na cidade de Vitória, Espírito Santo. *Research, Society and Development*, 9(6), e187963655. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i6.3655>.
- Barros, H. R., & Lombardo, M. A. (2016). A ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo no município de São Paulo-SP. *GEOUSP Espaço e Tempo (Online)*, 20(1), 160-177. <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2016.97783>.
- Coelho, A. L. N., & Correa, W. D. S. C. (2013). Temperatura de Superfície Celsius do Sensor TIRS/Landsat-8: metodologia e aplicações. *Revista Geográfica Acadêmica*, 7(1), 31-45. <https://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/97783/112921>.
- Conceição, A. F., Souza, D. F., Spanghero, P. E. S. F., & Matias, L. F. (2018). *Temperatura de brilho por meio de imagens landsat-8 na área de proteção ambiental tietê no estado de São Paulo*. In: Tullio, L. (Org.). Aplicações e princípios do sensoriamento remoto. Ponta Grossa: Atena Editora, 225-234. <https://www.atenaeditora.com.br/wp-content/uploads/2018/10/E-book-Aplica%C3%A7%C3%B5es-e-Princ%C3%ADpios-do-Sensoriamento-Remoto-1.pdf>.
- Costa, D. F., Silva, H. R., & Peres, L. F. 2010. Identificação de ilhas de calor na área urbana de Ilha Solteira - SP através da utilização de geotecnologias. *Engenharia Agrícola*, 30(5), 974-985. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162010000500019>.
- Estevão, G. S., Albuquerque, G. S., & Silva, M. O. (2020). Análise dos constrastes térmicos em episódios de inverno e verão em Juazeiro do Norte, Ceará. *Revista GeoUECE*, 9(17), 169–185. <https://revistas.uece.br/index.php/GeoUECE/article/view/4080>.
- Freitas, A., Melo, B., Cevada, C., Santos, J., & Araújo, L. (2013). Avaliação microclimática em dois fragmentos urbanos situados no Campus I e IV da Universidade Federal da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 6(4), 777-792. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v6i4.233068>.

- FUNCEME - Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. (2022). Postos pluviométricos do Estado do Ceará. http://www.funceme.br/?page_id=2694.
- Gartland, L. (2010). *Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas*. São Paulo: Oficina de Texto. 28p. <https://ofitexto.arquivos.s3.amazonaws.com/Degustacao-Ilhas-de-Calor.pdf>
- Grostein, M. D. (2001). Metrópole e expansão urbana: a persistência de processos "insustentáveis". *São Paulo em Perspectiva*, 15(1), 13-19. <https://doi.org/10.1590/S0102-88392001000100003>.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2020). *Estimativa de População 2020*. https://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2020/.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2022). *Juazeiro do Norte*. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/juazeiro-do-norte/panorama>.
- IPECE - instituto de pesquisa e estratégia Econômica do Ceará. (2012). *Perfil básico municipal 2012: Juazeiro do Norte*. https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2013/01/Juazeiro_do_Norte.pdf.
- Leal, L. (2012). *A influência da vegetação no clima urbano da cidade de Curitiba-PR*. 2012. Tese de Doutorado em Engenharia Florestal. Curitiba: UFPR, 172p.
- Lima, G. G., & Ribeiro, S. C. (2012). Geomorfologia e paisagem do município de Juazeiro do Norte/CE: relações entre a natureza semi-árida e os impactos antrópicos. *Revista Geonorte*, 3(5), 520-530. <https://www.periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/2104>.
- Liu, W. T. H. (Ed.). (2015). *Aplicações de sensoriamento remoto*. São Paulo: Oficina de Textos, 102p. http://ofitexto.arquivos.s3.amazonaws.com/Aplica%C3%A7%C3%B5es%20de%20Sensoriamento%20Remoto%20ed_DEG.pdf.
- Mariano, D. A., Santos, C. A. C., Wardlow, B. D., Anderson, M. C., Schiltmeyer, A. V., Tadesse, T., & Svoboda, M. D. (2018). Use of remote sensing indicators to assess effects of drought and human-induced land degradation on ecosystem health in Northeastern Brazil. *Remote Sensing of Environment*, 213, 129-143. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.04.048>.
- Oliveira Júnior, R. (2016). *Modelagem espacial dos atributos do solo sob diferentes ocupações em uma microbacia perene de vertente do semiárido*. Dissertação de Mestrado em Manejo de Solo e Água. – Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró: UFRSA, 102p.
- Penoni, L. H., Gonçalves, F. P. R., Silva J. R., Silva, C. F. A., França, F. M., & Cavalcanti, R. S. (2017). Utilização do sensoriamento remoto na avaliação do antropismo no Parque Nacional da Serra da Canastra-MG. *Anais...* In: Congresso Nacional de Geografia Física, 1, Campinas: UNICAMP, 2017.
- Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., & Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. [e-book]. Santa Maria: UAB/NTE/UFSM. https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_MetodologiaPesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1.
- Prefeitura Municipal de Registro. (2017). *Guia de arborização urbana*. 35p. <https://www.registro.unesp.br/Home/graduacao5111/2017-guia-de-arborizacao-urbana-do-municipio-de-registro.pdf>.
- Queirós, G. R. S., & Rocha, M. N. (2021). Influência da vegetação e corpos hídricos no clima urbano na sede municipal de Quixeramobim – CE. *Revista GeoUECE*, 10(19), e202104. <https://revistas.uece.br/index.php/GeoUECE/article/view/5388>.
- Renard, F., Alonso, L., Fitts, Y., Hadjiosif, A., & Comby, J. (2019). Evaluation of the effect of urban redevelopment on surface urban heat islands. *Remote Sensing*, 11(3), 299. <https://doi.org/10.3390/rs11030299>.
- Rodrigues, A. (2018). *Aproximadamente 96% do território de Juazeiro do Norte são urbanizados*. <https://diarionordeste.verdesmares.com.br/regiao/aproximadamente-96-do-territorio-de-juazeiro-do-norte-sao-urbanizados-1.1885791>.
- Santos Júnior, J. B., Castro, L. M. S. P., Alves, E. R., & Sales, M. C. L. (2016). Microclimas do município de Viçosa do Ceará: uso da temperatura efetiva na análise do conforto térmico. *Revista de Geociências do Nordeste*, 2(especial), 385-394. <https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/10476/7410>.
- Silva, G. D. J. O., Caione, C., Souza, V. L., Ramos, A. W. P., Neves, S. M. A. S., & Galvanin, E. A. S. (2016). Ilhas de calor nas cidades contidas na Bacia do Alto Paraguai, Brasil. *Anais...* In: Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 6, Cuiabá: EMBRAPA/IINPE, 2016. www.geopantanal.cnptia.embrapa.br/2016/cd/pdf/p95.pdf.
- Vila Nova, R. A., Gonçalves, R. M., & Lima, F. V. M. S. (2021). Análise temporal de ilhas de calor através da temperatura de superfície e do índice de vegetação em Recife-PE, Brasil. *Revista Brasileira de Cartografia*, 73(2), 598-614. <https://doi.org/10.14393/rbcv73n2-54522>.