

**Geoprocessamento aplicado na análise dos efeitos da urbanização no campo térmico em
Fortaleza, Ceará**

**Geoprocessing applied in the analysis of the effects of urbanization in the thermal field
in Fortaleza, Ceará**

**Geoprosesamiento aplicado en el análisis de los efectos de la urbanización en el campo
termal de Fortaleza, Ceará**

Recebido: 25/04/2020 | Revisado: 26/04/2020 | Aceito: 27/04/2020 | Publicado: 28/04/2020

Eliezio Nascimento Barboza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8100-9389>

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

E-mail: eliezio1999@outlook.com

Francisco das Chagas Bezerra Neto

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9622-206X>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: chagasneto237@gmail.com

Clarice Ribeiro Alves Caiana

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5374-1617>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: clariceribeirocaiana@gmail.com

Resumo

O rápido e desordenado crescimento urbano gerou um meio geográfico artificial e de baixa salubridade ambiental, caracterizado pela expansão de áreas periféricas e centrais. As transformações no uso e ocupação do solo geram mudanças no balanço de energia e na atmosfera, resultando no aquecimento das cidades. Portanto, o objetivo desse artigo é analisar a Temperatura de Superfície Terrestre (TST) e relacionar com cobertura vegetal por meio do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) no município de Fortaleza, Ceará. Inicialmente foram obtidas as imagens orbitais, sensores OLI, (*Operational Land Imager*) e TIRS10 (*Thermal Infrared Sensor*) do Landsat-8 em *United States Geological Survey* (USGS) – órbita 217 e ponto 62. As imagens escolhidas para esse estudo é de 02/08/2013 e 26/08/2016. Verificou-se a relação direta do vigor da biomassa (NDVI) e da urbanização com valores de temperatura de superfície e as ilhas de calor urbano. Os ambientes que apresentaram menores

valores de NDVI, com exceção os corpos aquáticos, apresentaram maiores valores de temperatura, expondo a importância da vegetação no microclima.

Palavras-chave: Geotecnologias; Imagens de satélite; Geografia física; Clima urbano.

Abstract

The rapid and disordered urban growth generated an artificial geographic environment and low environmental health, characterized by the expansion of peripheral and central areas. The transformations in land use and occupation generate changes in the energy balance and atmosphere, resulting in the heating of cities. Therefore, the objective of this article is to analyze the Earth's Surface Temperature (TST) and relate with vegetation cover through the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in the city of Fortaleza, Ceará. Initially, orbital images, OLI (Operational Land Imager) and TIRS10 (Thermal Infrared Sensor) of landsat-8 were obited in the United States Geological Survey (USGS) – orbit 217 and point 62. The images chosen for this study are from 02/08/2013 and 26/08/2016. It was verified the direct relationship of biomass vigor (NDVI) and urbanization with surface temperature values and urban heat islands. The environments with the lowest NDVI values, with the exception of aquatic bodies, presented higher temperature values, exposing the importance of vegetation in the microclimate.

Keywords: Geotechnologies; Satellite images; Physical geography; Urban climate.

Resumen

El rápido y desordenado crecimiento urbano generó un entorno geográfico artificial y una baja salud ambiental, caracterizado por la expansión de las zonas periféricas y centrales. Las transformaciones en el uso de la tierra y la ocupación generan cambios en el equilibrio energético y la atmósfera, lo que resulta en el calentamiento de las ciudades. Por lo tanto, el objetivo de este artículo es analizar la Temperatura superficial de la Tierra (TST) y relacionarse con la cobertura vegetal a través del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) en la ciudad de Fortaleza, Ceará. Inicialmente, las imágenes orbitales, OLI (Operational Land Imager) y TIRS10 (Thermal Infrared Sensor) de landsat-8 fueron obituadas en el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) – órbita 217 y punto 62. Las imágenes elegidas para este estudio son del 02/08/2013 y del 26/08/2016. Se verificó la relación directa del vigor de la biomasa (NDVI) y la urbanización con los valores de temperatura superficial y las islas de calor urbanas. Los ambientes con los valores NDVI más bajos, con la excepción de los cuerpos acuáticos, presentaron valores de temperatura más altos, exponiendo la importancia de la vegetación en el microclima.

Palabras clave: Geotecnologías; Imágenes satelitales; Geografía física; Clima urbano.

1. Introdução

O processo de urbanização iniciou no século XIX e intensificado no século XX e XXI impôs um modelo baseado na industrialização, maior concentração de pessoas nas cidades e aumento de produção (Alves, 2010). O rápido e desordenado crescimento urbano gerou um meio geográfico artificial e de baixa salubridade ambiental, caracterizado pela expansão de áreas periféricas e centrais (Santos, 1993).

O novo espaço geográfico resultante das alterações pela ação humana alterou as variáveis climatológicas, resultando em novas interações Terra-Atmosfera e aumento de desequilíbrios ambientais pela impermeabilização do solo por materiais condutores de energia térmica, maior liberação de gás, aumento de áreas construídas e conseqüentemente diminuição de áreas vegetadas (Feitosa, Gomes, Neto & Andrade, 2019). As transformações no uso e ocupação do solo geram mudanças no balanço de energia e na atmosfera, resultando em diversos microclimas em uma cidade, conhecido como clima urbano (Santos & Santos, 2013).

As Ilhas de Calor Urbano é um dos fenômenos que melhor representam as alterações climáticas causadas por modificações e crescimento do espaço urbano (Costa, Silva & Peres, 2010). O primeiro estudo do calor nas cidades foi feito por Luke Howard em 1818 na cidade de Londres, onde foi identificado a presença de calor artificial quando comparado com as áreas menos urbanizadas (Gartland, 2011). A autora afirma que o fenômeno é formado pela presença de materiais de construção que absorvem e retém o calor proveniente do sol do que os materiais naturais.

De acordo com Mendonça e Oliveira (1975), cada tipo de material, natural ou urbano possui diferentes maneiras de interagir com a energia eletromagnética proveniente do sol, essa interação é definida pela capacidade que corpos apresentam de refletirem a radiação solar, no qual parte da energia é absorvida e outra é refletida para atmosfera com alta intensidade, intensificando o calor urbano.

Os fatores mais predominantes na alteração do clima urbano são: materiais superficiais, maior rugosidade aerodinâmica das áreas construídas, quantidade de energia calorífica lançada na atmosfera da cidade (Hough, 1998), além da geometria dos cânions, que aumenta a radiação por ondas curtas, reduz a perda por radiação de ondas longas e velocidade dos ventos, poluição do ar, aumentando a radiação de onda longa (Romero et al., 2019). Lombardo (1985) acrescenta

que as características térmicas dos materiais das construções nas cidades contribuem com condução mais rápida de calor que o solo exposto e a vegetação natural.

Destaca-se a importância da arborização na amenização climática, no qual exercem uma importante função de proteger o solo, facilitar a infiltração, precipitação, reduzir o escoamento superficial, além de controlar a poluição atmosférica e reduzir os extremos das temperaturas (Albuquerque & Lopes, 2016). A cobertura vegetal é capaz de ocasionar ilhas de frescor urbano, corroborando com amenização dos efeitos extremos da radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar, proporcionando melhor conforto térmico no ambiente urbano (Fátima Ferreira, Carrilho & Mendes, 2015). As ilhas de frescor urbano são as áreas das cidades no qual a temperatura é mais baixa do que nas áreas urbanizadas, ocasionado pela arborização (Paz, 2009).

Alcoforado, Andrade, Lopes e Oliveira (2007) distinguem as ilhas de calor em três tipos: ilhas de calor superficial, da atmosfera inferior e da atmosfera superior. Para identificação da ilha de calor superficial é utilizada sensoriamento remoto. A ilha de calor da atmosfera inferior é medida através de transectos móveis ou por estações meteorológicas (Amorim, 2017).

Nesse estudo, adotou-se trabalhar com as ilhas de calor de superfície. Essa abordagem é pouco comum no Brasil devido à baixa disponibilidade das imagens de satélites (Amorim, 2017). Nas análises urbanas e ambientais as imagens de satélite podem corroborar no levantamento e análise da temperatura superficial das cidades, como também na análise do vigor vegetativo (Porangaba & Amorim, 2019).

A superfície terrestre recebe a energia eletromagnética proveniente do sol, parte dela é absorvida e refletida, os sensores operam na faixa do infravermelho termal e medem no topo da atmosfera a radiação emitida pela superfície terrestre, posteriormente esses dados podem ser transformados em temperatura de superfície por aritmética de bandas (Santos, 2011).

A temperatura de superfície é um parâmetro físico do fluxo de calor baseado no balanço de radiação que entra e sai de um corpo (Nascimento, 2011). A análise de Temperatura de Superfície Terrestre (TST) pode ser obtida a partir da captação da energia eletromagnética emitida pelos diferentes componentes do meio geográfico, como: solo exposto, asfalto, edificações, cobertura vegetal e arborização (Mashiki, 2012).

Com este enfoque, o presente artigo tem por objetivo analisar a Temperatura de Superfície Terrestre (TST) e sua relação com a cobertura vegetal por meio do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na cidade de Fortaleza, Ceará a partir de imagens termais (TIRS10) do Landsat-8, nas datas 02/08/2013 e 26/08/2016, imagens disponibilizadas pelo *United States Geological Survey* (USGS).

2. Metodologia

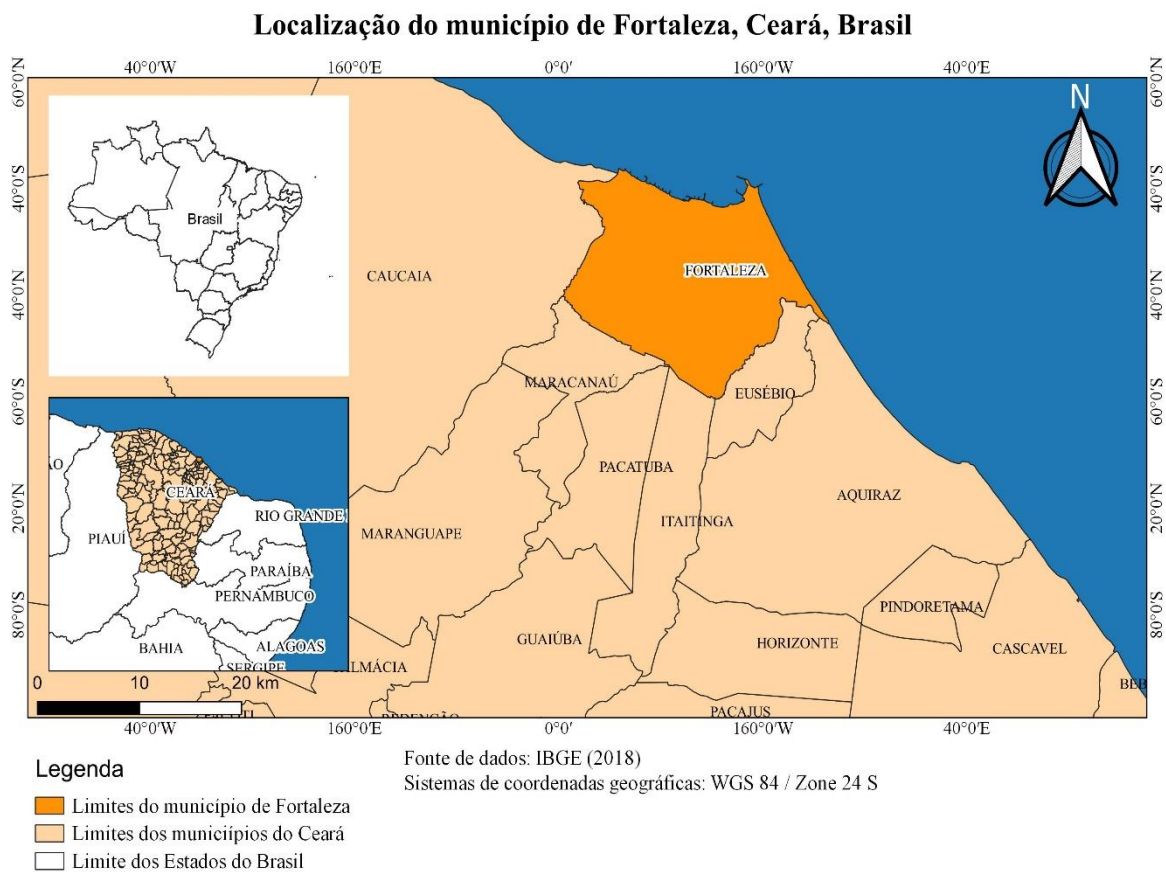
2.1 Tipo de pesquisa

Conforme caracterizam Pereira, Shitsuka, Parreira e Shitsuka (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.

2.2 Descrição da área de estudo

A cidade de Fortaleza (Figura 1) está localizada na região do Nordeste do Brasil, mais especificamente na zona litorânea do Estado do Ceará (Moura, Zanella & Sales, 2008). O município possui as coordenadas geográficas 03° 43' 02" de Latitude (S) e 38° 32' 35" de Longitude (W), com 2.669.342 habitantes, densidade demográfica de 7.786,44 hab/km², área territorial 312,407 km² e Bioma Caatinga (IBGE, 2020). A cidade é constituída por bairros heterogêneos quanto aos aspectos ambientais e econômicos (Júnior, 2004).

Figura 1: Mapa de localização de Fortaleza, Ceará.



Fonte: Autores, 2020. Elaborado no *software* Qgis 4.3.

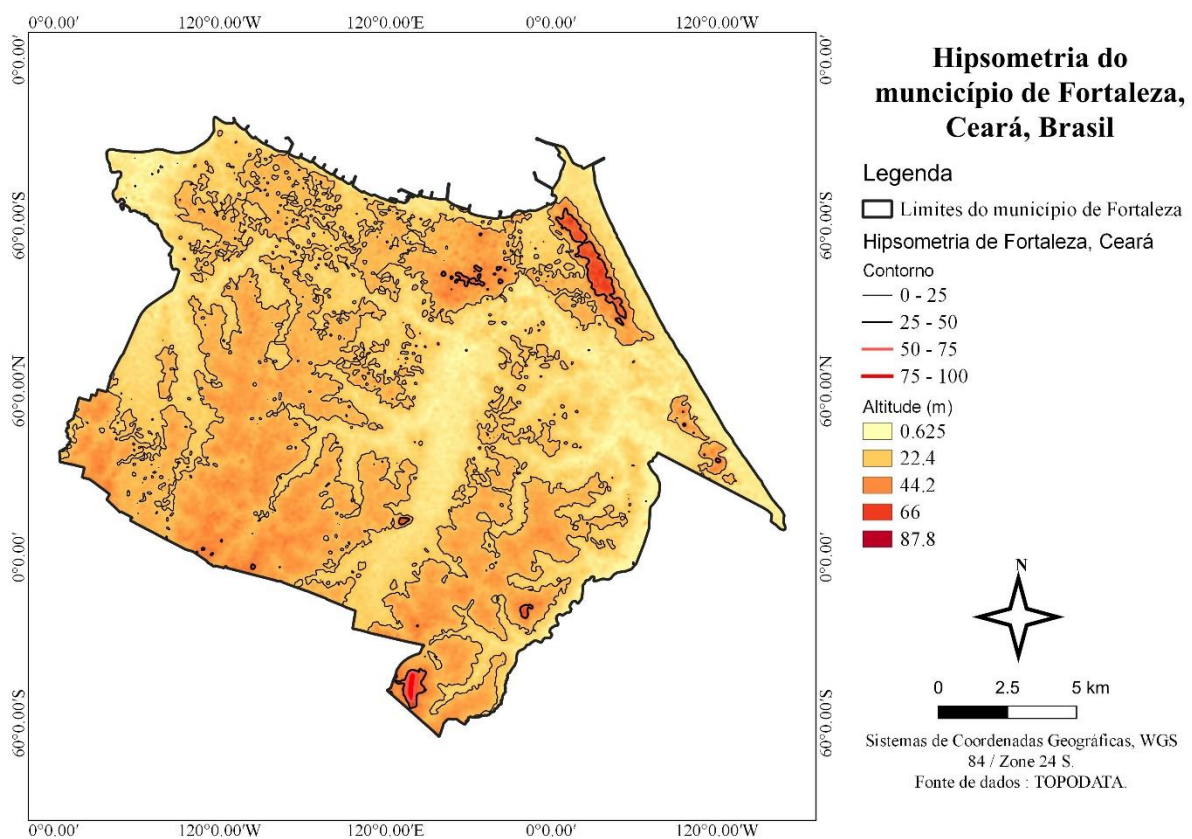
Verifica-se pela Figura 1 os municípios limítrofes de Fortaleza: Caucaia, Maracanaú, Itaitinga e Eusébio, como também os Estados limítrofes: Piauí, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco. Segundo Mota (1998) *apud* Batista (2010) o município de Fortaleza está inserido geologicamente no norte da região de Dobramentos Nordestes ou província Borborema no contexto geotectônico da Faixa de Dobramentos Jaguaribeana. Batista (2010) apresenta como unidades geomorfológicas a Depressão Sertaneja, os Tabuleiros Pré-Litorâneos, os Maciços Residuais, as Planícies Fluviais, Flúvio-marinhas e campos de Dunas.

Os solos predominantes na área de estudo são das classes: Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico, Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico, Neossolos Quartzarênicos, Neossolos Flúvicos e Gleissolos (Santos, 2006). O clima da região segundo a classificação de Köppen é do tipo (Aw) tropical úmido, com estação chuvosa no período de verão e seca no período de inverno, com média de 26 °C de temperatura e regime pluviométrico irregular, variando de 13 mm a 348 mm, do mês com menor precipitação pluviométrica e maior, respectivamente (Santos, Gomes & Azevedo, 2013).

Aproximadamente 90% das chuvas estão concentradas no primeiro semestre do ano, mais especificamente em março e maio, os meses de março e abril apresentam-se como os meses com menor radiação solar, em novembro e outubro são os meses com maior radiação solar (Marino, Freire & Filho, 2012).

Através da Figura 2, é possível a identificação das feições topográficas de altitude mais representativas do município de Fortaleza, corroborando para a compreensão das características ambientais da área de estudo, variando de 0.625 a 87.8 metros.

Figura 2: Hipsometria da cidade de Fortaleza, Ceará.



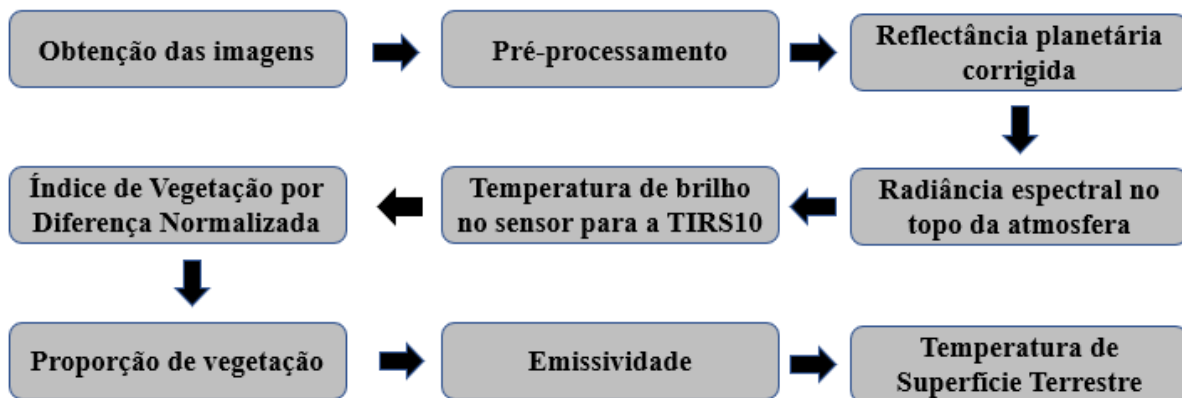
Fonte: Autores, 2020. Elaborado no *software* Qgis 4.3.

Na Figura 2 as altitudes são representadas por diferentes cores através de um sistema de graduação de cores não aleatórias, as cores mais escuras (vermelho e laranja) representam as maiores altitudes, as cores mais claras (branco e laranja claro) representam médias e baixas altitudes.

2.3 Procedimentos metodológicos

As imagens do satélite do Landsat-8 na órbita 217, ponto 62 foram adquiridas no site do *United States Geological Survey* (USGS) nas datas 02/08/2013 e 26/08/2016. As bandas utilizadas foram 6, 5, 4, 3 e a TIRS10. Para geração dos mapas de Temperatura Superficial Terrestre, Pseudo Cor Natural – PCN e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) foi utilizado imagem do satélite Landsat-8, sensor *Operational Land Imager* (OLI). As bandas OLI1, OLI2, OLI3, OLI4, OLI5, OLI6 e OLI7 possui resolução espacial de 30 metros, a banda OLI8 (Pancromática) possui resolução de 15 m, já as TIRS10 e TIRS11 possuem resolução de 30 m o píxel. Todo o processo de processamento das imagens digitais foi realizado no *software* Qgis 3.4. As etapas necessárias para a realização da Temperatura de Superfície Terrestre estão resumidas na Figura 3.

Figura 3: Diagramas para obtenção da Temperatura de Superfície Terrestre.



Fonte: Autores, 2020. Elaborado no *software* PowerPoint.

As etapas mostradas pela Figura 3 é iniciada pelo pré-processamento das imagens, que engloba o corte, mosaicagem e projeção das bandas do Landsat-8 da projeção WGS 84/ Zone 24 N para WGS 84/ Zone 24 S (Etapa 1). A etapa seguinte é o realce das imagens reprojetaadas, que engloba a composição em Pseudo Cores Naturais – PCN, no qual é separado em três etapas: a geração da banda azul sintética, banda verde sintética e a composição RBG (Etapa 2).

Na etapa 3 é realizado o contraste das imagens, no qual o objetivo é melhorar a qualidade visual da imagem, melhorando a interpretação e qualidade das informações através da modificação da escala de cinza (Barboza, Bezerra Neto & Caiana, 2020). A Etapa 4 é feito operações de aritmética de bandas, no qual são utilizadas equações matemáticas para gerar imagens de radiância espectral no topo da atmosfera, temperatura de brilho no sensor para a

banda do infravermelho termal (TIRS10), Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), imagem de proporção de vegetação (Pv), emissividade (E) e a Temperatura de Superfície Terrestre (TST).

A conversão de números digitais para radiância espectral no topo da atmosfera ($L\lambda$) das bandas é processado na Equação 1, segundo Coelho e Correa (2013), onde $L\lambda$ é a radiância espectral ($W/m^2srad\mu m$), M_L é o fator multiplicativo reescalado da radiância para a banda 10, Q_{cal} é a própria banda 10 reprojeta e A_L é um fator aditivo reescalado da radiância para a banda 10. O procedimento para conversão dos níveis de cinza para radiância foi dado por meio da Fórmula 1.

$$L\lambda = M_L \cdot Q_{cal} + A_L \quad (1)$$

A temperatura de brilho no sensor (T_{rad}) é estimada pela Equação 2 (Coelho & Correa, 2013). Sendo T_{rad} ($^{\circ}C$) a temperatura de brilho no sensor, K_2 uma constante termal da banda 10, k_1 uma constante termal da banda 10, $L\lambda$ a radiância espectral no topo da atmosfera medido em $W/m^2srad\mu m$, adquirido na etapa anterior.

$$T_{rad} (^{\circ}C) = (k_2 / \ln((k_1 / [L\lambda]) + 1)) - 273 \quad (2)$$

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), proposto por Rouse, Haas, Schell e Deering (1973) utiliza banda do infravermelho próximo (IV = OLI5) e a banda do vermelho (VM = OLI4). O NDVI (Equação 3) pode obter o valor mínimo de -1 e o valor máximo de +1, quanto mais próximo de 1 maior o vigor vegetativo, o valor de 0 representa um valor para ausência de vegetação os valores desses dados vão de uma escala de -1 a 1. As duas bandas utilizadas para o cálculo do NDVI são utilizadas por suas características, pois são mais sensíveis pela absorção de clorofila na vegetação de folhas verdes e pela densidade da vegetação verde na superfície (Almeida, Junior, Andrade & Neto, 2015).

$$NDVI = (IV - VM) / (IV + VM) \quad (3)$$

A proporção de vegetação (Pv) é determinado pelo Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e seu valor máximo (NDVImax) e mínimo (NDVImin). O Pv calculado pela Equação 4.

$$P_v = ((NDVI - NDV_{imin}) / (NDV_{imax} - NDV_{imin}))^2 \quad (4)$$

Para o cálculo da emissividade (E), é utilizado a proporção de vegetação calculado na etapa anterior, representado pela Equação 5.

$$E = 0.004 \cdot P_v + 0.986 \quad (5)$$

A temperatura de Superfície Terrestre (TST) é dada pela Equação 6, onde BT é a temperatura de brilho no sensor (°C) calculado em etapas anteriores, λ é o comprimento de onda da TIRS10 (10.8 μm), ρ é a constante equivalente ao valor de $1.438 \cdot 10^{-2} \text{ mk}$ e E a emissividade calculado em etapas posteriores.

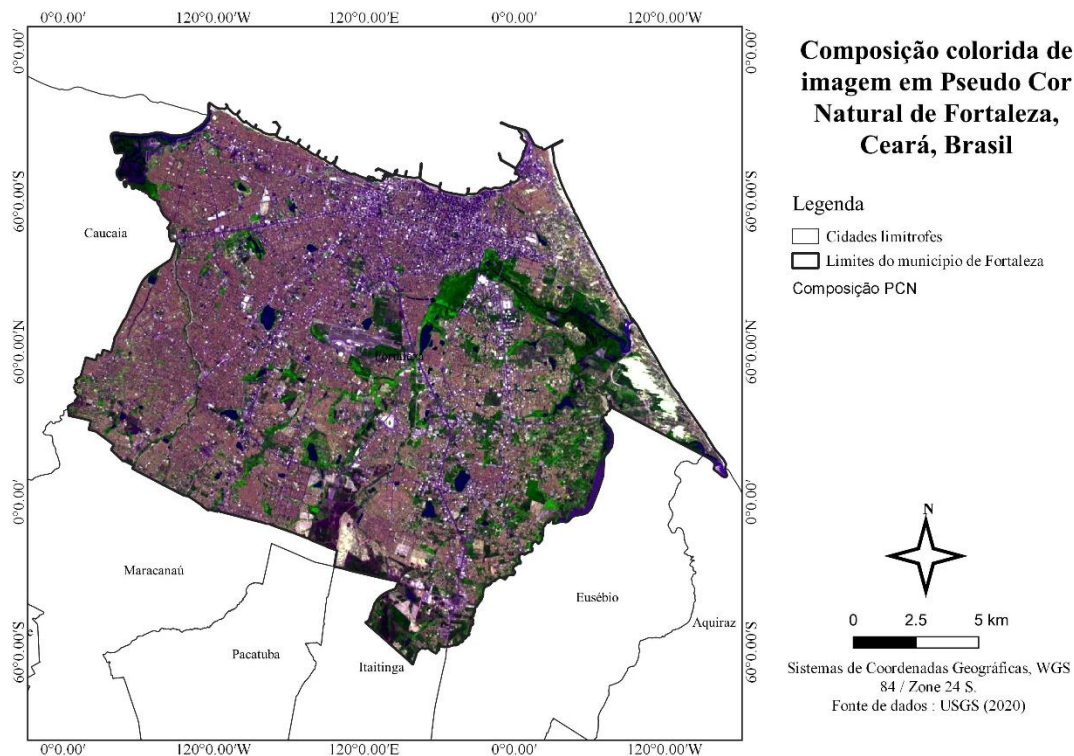
$$TST \text{ (}^\circ\text{C)} = (BT / (1 + (\lambda \cdot BT / \rho) * \ln(E))) \quad (6)$$

Posteriormente a composição das imagens de temperatura e de vigor da vegetação, foi feito um transecto passando pelos principais bairros de Fortaleza pelo completo *Profile Tool* no Qgis 4.3, onde foi verificado a Latitude e a Longitude de pontos representativos para cada bairro com objetivo de analisar as mudanças no campo térmico no município para as duas datas escolhidas.

3. Resultados e Discussão

A Figura 4 representa o município de Fortaleza, CE em composição colorida de Pseudo Cor Natural, onde as características do meio urbano possuem uma aparência natural, através da composição das bandas sintéticas do verde e vermelho. A composição Pseudo Cor Natural - PCN foi proposta para os sensores que não possuem a faixa espectral azul, logo são geradas as composições sintéticas por meio de aritmética de bandas. Nessa composição as áreas urbanizadas, os corpos aquáticos e a vegetação estão realçadas na imagem de resolução de 30 metros.

Figura 4: Composição colorida do município de Fortaleza, CE em 26/08/2016.

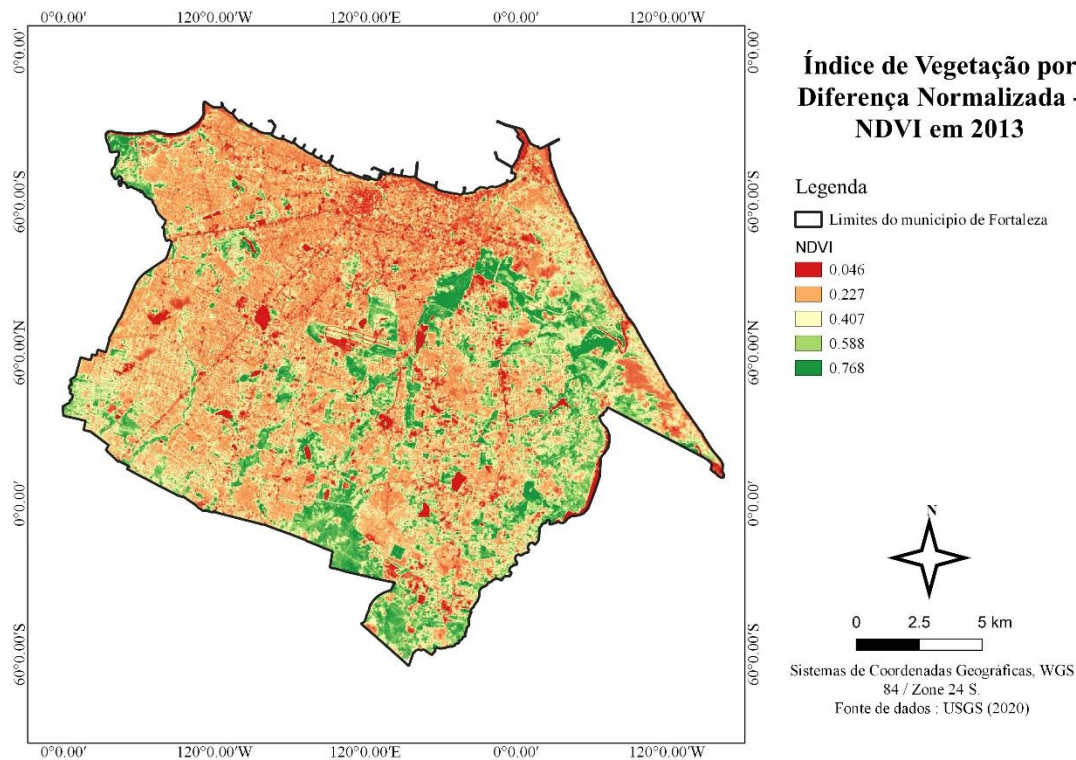


Fonte: Autores, 2020. Elaborado no *software* Qgis 4.3.

Verifica-se pela Figura 4 as áreas vegetadas, como as áreas de mangue regenerado do Rio do Cocó, no qual tem uma função essencial na estabilização geomorfológica e nos processos geomorfogênicos, além das áreas vegetadas no Bairro Lagoa Redonda, a vegetação de Tabuleiros no sítio Curió, a mata do Tabuleiro no *Campus* Pici da Universidade Federal do Ceará – UFC, a Serra da Aratanha, o Parque Ecológico do Cocó, o Parque Estadual Marinho da Pedra da Risca do Meio, a Área de Proteção Ambiental do Estuário do Rio Ceará e o Parque Ecológico da Lagoa da Maraponga. Nota-se também as áreas urbanizadas, com grande adensamento de edificações, como no centro do município.

A Figura 5 e 6 apresenta as cartas de NDVI para o município nos anos de 2013 e 2016, respectivamente. Observou-se um elevado crescimento da cidade nesse intervalo de estudo, com mudanças significativas no NDVI para as duas datas escolhidas, porém sempre o NDVI da área urbana foi menor do que nas áreas com características rurais. As áreas urbanizadas apresentaram NDVI baixo em toda sua malha pela falta de vegetação. Os verdes urbanos e as áreas de preservação foram os ambientes com o NDVI mais elevado. Pela análise da Figura 5 e 6 é verificado um rápido crescimento da mancha urbana, principalmente para o Sudoeste, Sul, Oeste, Noroeste e para área central de Fortaleza.

Figura 5: Carta de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI em Fortaleza, CE para o ano de 2013.



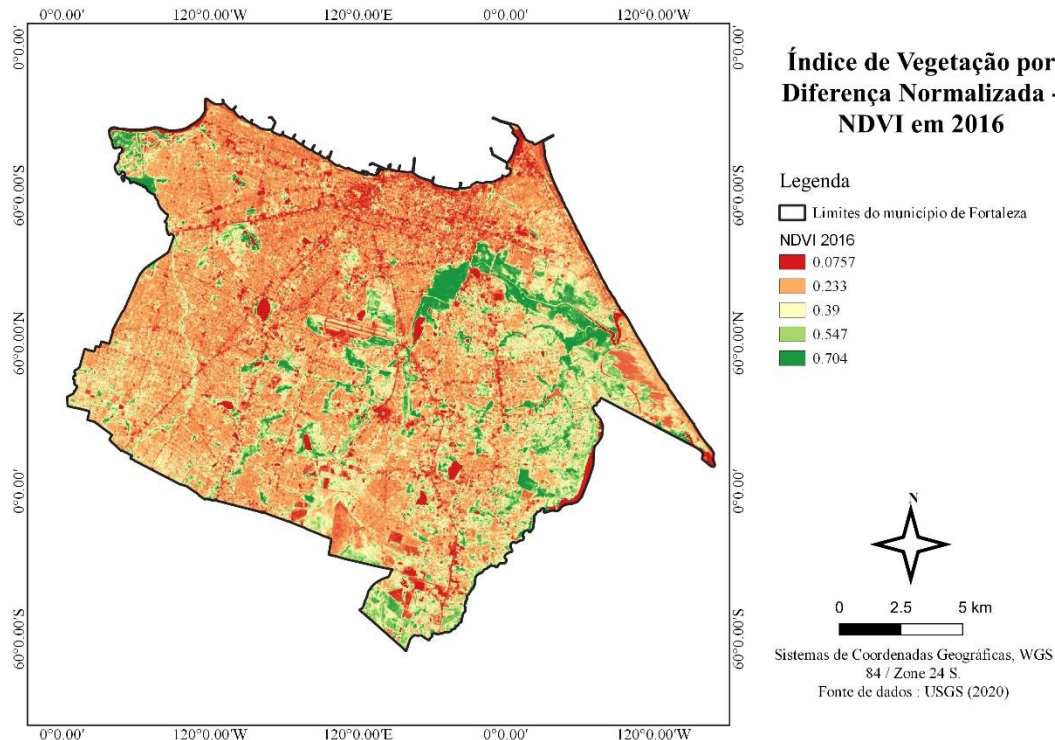
Fonte: Autores, 2020. Elaborado no *software* Qgis 4.3.

Pela análise da Figura 5, percebe-se a concentração urbana na porção Norte da cidade, na maior parte da localidade com NDVI próximo a 0. A porção Sul do município apresenta características rurais, com maior áreas com NDVI próximo a 1.

Áreas com alto índice de vegetação indicará no mapa térmico menores valores de temperatura devido a sua capacidade de retenção de energia para realização de processos de evapotranspiração (Santos, Gomes & Azevedo, 2013). Boratto e Gomide (2013) complementam ao afirmar que os valores mais elevados de NDVI está presente nas áreas de vegetação, diferentemente de áreas com baixos valores, no qual representam áreas de vegetação estressada ou construídas.

A partir dos mapas de índice de vegetação apresentados nas Figuras 5 e 6, pode-se observar diferenças entre os anos de 2013 e 2016. Em 2013 os valores de NDVI estavam mais altos na porção Sul e Oeste, com valores superiores, em algumas localidades de 0,5.

Figura 6: Carta de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em Fortaleza, CE para o ano de 2016.

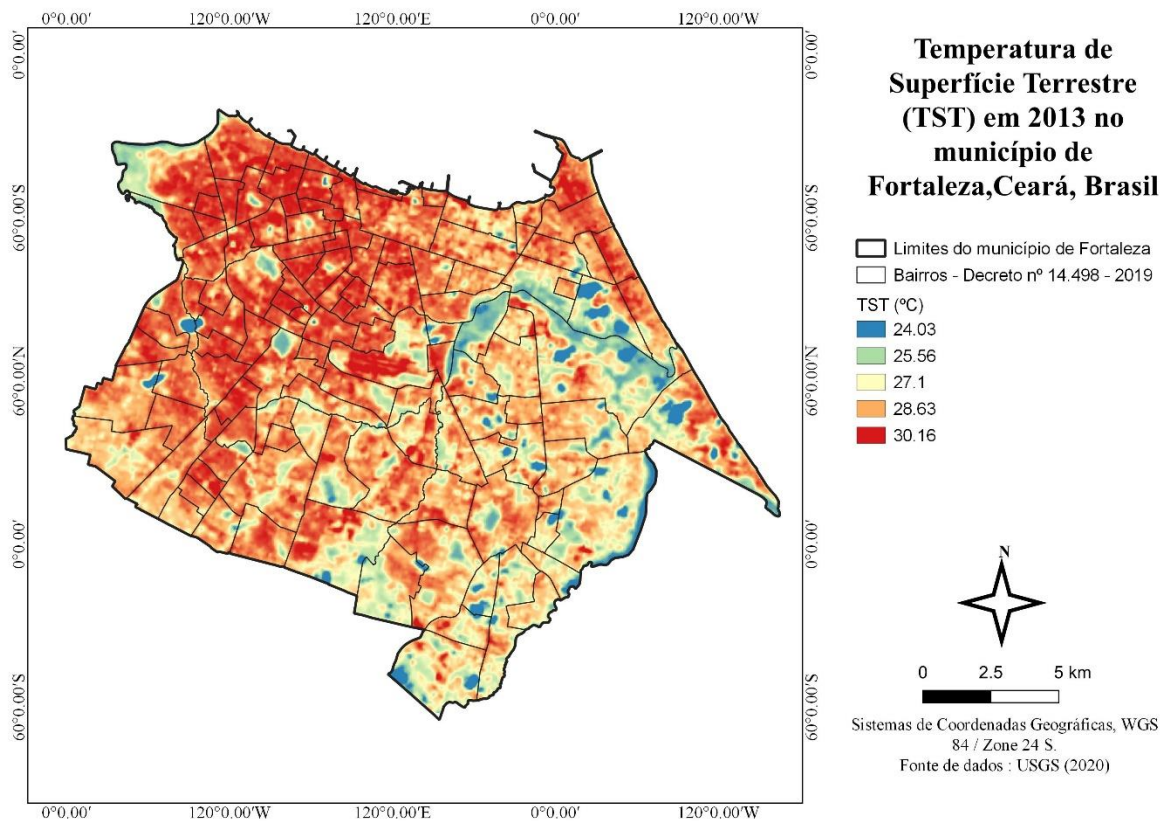


Fonte: Autores, 2020. Elaborado no *software* Qgis 4.3.

Pela análise da Figura 6, nota-se o crescimento da cidade, ocupando maiores áreas na porção Sul e Oeste. Os baixos valores de NDVI foram encontrados em quase todo o município, exceto em áreas de preservação e nas matas ciliares do Rio Cocó. Os bairros com maiores mudanças no uso e ocupação do solo foram: Bairro Pedras, Conjunto Palmeiras, Prefeito José Walter, Siqueira e Benfica, porém ainda teve mudanças significativas nos bairros: Jangurussu, Parque Santa Maria, Paupina, Ancuri, São Bento, Mondubim, Parque Dois Irmãos, Passaré, Granja Lisboa, Dendê, Dias Macedo, Fátima e Pici.

A Figura 7 apresenta os valores de Temperatura de Superfície Terrestre do Landsat-8 para a o município de Fortaleza no ano de 2013 por meio da transformação dos níveis de cinza das imagens termais na data 02/08/2013 no horário 12:40 horas. Verifica-se que a temperatura de superfície mínima nesse dia foi 24.03 °C (corpo aquático) e 30.16 °C (áreas construídas) de temperatura máxima e amplitude térmica de 6.13 °C.

Figura 7: Temperatura de Superfície Terrestre em Fortaleza, CE para o ano de 2013.



Fonte: Autores, 2020. Elaborado no *software* Qgis 4.3.

Nota-se pela Figura 7 a amplitude térmica superior a 6 °C, possivelmente pode ter sido ocasionada pelos tipos de materiais escuros que constituem a cobertura em consonância com a falta de árvores, contribuindo para absorção, retenção do calor e consequentemente intensificando o fenômeno das ilhas de calor (Gartland, 2011).

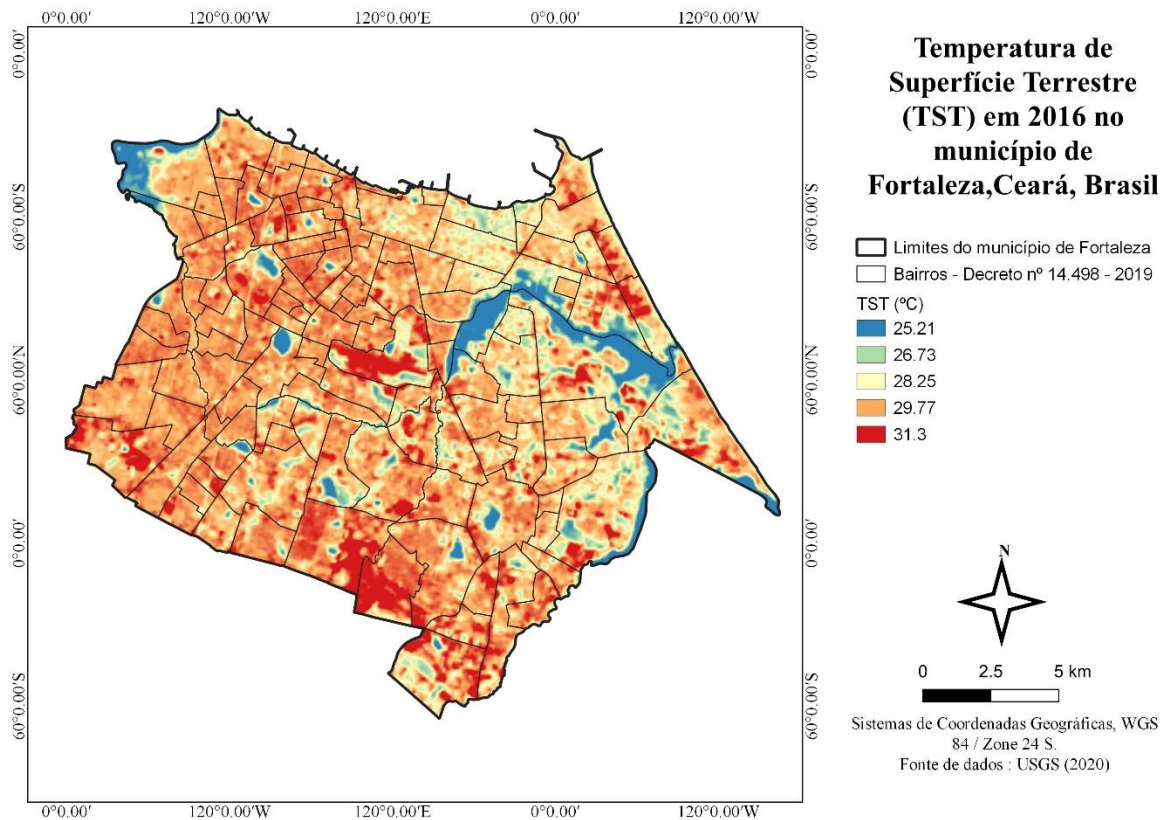
Analisando o campo térmico do município para o ano de 2013 (Figura 7), observa-se que o calor está concentrado nos setores sudoeste, oeste, noroeste, nordeste e a porção central, áreas com grande concentração urbana da cidade, corroborando com os estudos de Moura, Zanella e Sales (2008).

Observa-se através dos mapas das Figuras 7 e 8 as mudanças da temperatura de superfície para os anos em estudo, com aumento de 1.14 °C para a temperatura máxima e 1.18 °C para a temperatura mínima. As manchas com coloração azul correspondem à temperatura de superfície mais baixas, já as cores avermelhadas temperatura mais elevada.

Nas Figuras 7 e 8, os corpos aquáticos apresentaram as menores temperaturas, pois a água possui elevado calor específico, necessitando de alta energia para elevar sua temperatura (Mashiki, 2012). De acordo com Primavesi, Arzabe e Pedreira (2007) os corpos de água são

estabilizadores térmicos, ameniza a temperatura do ar durante o período matutino e a noite irradiam calor, amenizando os efeitos das ilhas de calor.

Figura 8: Temperatura de Superfície Terrestre em Fortaleza, CE para o ano de 2016.



Fonte: Autores, 2020. Elaborado no *software* Qgis 4.3.

A temperatura de superfície de Fortaleza em 2016 está representada na Figura 8, no qual verifica o crescimento da cidade em direção Sudoeste e Sul. A temperatura de superfície mínima nesse dia foi 25.21 °C (corpo aquático) e 31.3 °C (adensamento urbano) de temperatura máxima e amplitude térmica de 6.09 °C. As áreas mais quentes nas duas datas coincidiram com os solos expostos e alta densidade construtiva, resultado semelhante alcançado nos estudos de Porangaba e Amorim (2019) na cidade de São Paulo.

As áreas com vegetação (Vila Velha, Aldeota, Rio e matas ciliares do Rio Cocó, São João Tauape, Siqueira e Pedras) apresentaram as menores temperaturas nos dois anos analisados, ocasionado pela presença de arborização e corpos aquáticos presentes nessas localidades, as árvores através dos processos ecossistêmicos e pelo sombreamento das superfícies amenizam as temperaturas pelo maior volume de água disponível para evaporação e evapotranspiração (Oke & Maxwell, 1975).

A Tabela 1 representa os valores obtidos do transecto realizado no *software* Qgis por meio do complemento *Profile Tool*, onde foi obtido os valores de temperatura para os pontos representativos dos Bairros com variação de temperatura de superfície nos dois anos analisados. Foi obtido a localização dos pontos através da Latitude (S) e a Longitude (W), a temperatura para as datas 02/08/2013 (TST 2013), 26/08/2016 (TST 2016) e a diferença da temperatura dos pontos entre os dois anos (Δ TST), representando o aumento do calor no município de Fortaleza, Ceará.

Tabela 1: Temperatura de Superfície Terrestre para as localidades mais representativas do município de Fortaleza, Ceará.

Bairro/Localização	Latitude (S)	Longitude (W)	TST (°C) - 2013	TST (°C) - 2016	Δ TST (°C)
A - Vila Velha	-3.70926	-38.60580	25.48	28.88	3.4
B - Jardim Iracema	-3.72204	-38.58357	30.01	30.25	0.24
C - Álvaro Weyne	-3.71469	38.56517	30.26	30.5	0.24
D - Centro	-3.72771	-38.52965	30.24	31.08	0.84
E - Aldeota	-3.73753	-38.50425	27.9	29.57	1.67
F - Vicente Pinzón	-3.72859	-38.46733	29.57	29.69	0.12
G - Rio Cocó	-3.80995	-38.51473	24.81	24.9	0.09
H - Mata ciliar do rio	-3.80996	-38.51479	26.57	28.52	1.95
I - São João Tauape	-3.75705	-38.51088	28.96	30.58	1.62
J - Amadeu Furtado	-3.74478	-38.56060	30.24	30.51	0.27
K - Pici	-3.74495	-38.57777	27.07	30.26	3.19
L - Antônio Bezerra	-3.74229	-38.59269	29.78	30.73	0.95
M - Genibau	-3.75767	-38.60199	29.71	30.73	1.02
N - Itaoca	-3.77162	-38.55544	29.61	30.12	0.51
O - Aeroporto	-3.77716	-38.53609	30.7	31.52	0.82
P - Sabiaguabe	-3.80807	-38.41342	29.44	29.46	0.02
Q - Passaré	-3.81588	-38.52549	29.56	30.22	0.66
R - Parque São José	-3.79614	-38.58886	29.66	30.11	0.45
S - Siqueira	-3.80714	-38.61695	28	30.61	2.61
T - Conjunto Esperança	-3.81035	-38.58692	30.79	31.27	0.48
U - Messejane	-3.83074	-38.49123	30.04	30.75	0.71
V - Plan. Ayrton Senna	-3.83444	-38.57125	30.25	31.1	0.85
W - Prefeito José Walter	-3.83790	-38.55702	30.3	34.2	3.9
X - Jangurussu	-3.83725	-38.51775	29.17	30.69	1.52
Y - São Bento	-3.80810	-38.61834	28.02	29.42	1.4
Z - Pedras	-3.87113	-38.50894	27	29.93	2.93

Fonte: Autores, 2020. Elaborado no *software* Excel.

Através da análise da Tabela 1, verifica-se que as localidades que apresentaram maior aumento de temperatura foram nos Bairro Vila Velha, Aldeota, São João Tauape, Pici, Genibau, Siqueira, Prefeito José Walter, Jangurussu, São Bento e Pedras, como também no ponto representativo da Mata ciliar do rio. O crescimento da cidade alterou o campo térmico, aumentando expressivamente o calor em praticamente em todos os Bairros analisados, chegando em até 3.4 °C, no Bairro Vila Velha. Nas localidades com presença de áreas vegetadas e corpos aquáticos presentes, como nas localidades presentes próximos ao Rio Cocó, as temperaturas apresentaram como mais baixas.

4. Considerações Finais

A partir da análise dos resultados, verificou-se a relação direta do NDVI e da urbanização com valores de temperatura de superfície no município de Fortaleza. As áreas que apresentaram menores valores de NDVI apresentaram maiores valores de temperatura, expondo a importância da vegetação para o clima urbano, exceto os corpos aquáticos.

Para a data 02/08/2013, a maior temperatura foi de temperatura de 30.16 °C em uma área com adensamento urbano e a menor temperatura foi 24.03 °C, localizado em um corpo aquático. Além disso, as áreas vegetadas, como em áreas vegetadas no Bairro Lagoa Redonda, a vegetação de Tabuleiros no sítio Curió, a mata do Tabuleiro no *Campus* Pici da Universidade Federal do Ceará – UFC, a Serra da Aratanha, o Parque Ecológico do Cocó, o Parque Estadual Marinho da Pedra da Risca do Meio, a Área de Proteção Ambiental do Estuário do Rio Ceará e o Parque Ecológico da Lagoa da Maraponga apresentaram menores temperaturas.

Para a data 26/08/2016, verificou-se o crescimento da cidade do município ocupando maiores áreas na porção Sul e Oeste. O resultado desse trabalho poderá contribuir com um melhor planejamento urbano do município, pois sabe-se as áreas mais desconfortáveis termicamente. Sugere-se para futuros trabalhos uma análise das ilhas de calor urbano no turno da noite por geoprocessamento para verificar se o comportamento do campo térmico é similar aos períodos matutino e vespertino.

Referências

Albuquerque, M. M., & Lopes, W. G. R. (2016). Influência da vegetação em variáveis climáticas: estudo em bairros da cidade de Teresina, Piauí. *Raega-O Espaço Geográfico em Análise*, 36, 38-68.

Alcoforado, M. J., Andrade, H., Lopes, A., & Oliveira, S. (2007). A ilha de calor de Lisboa. Aquisição de dados e primeiros resultados estatísticos para aplicação ao ordenamento urbano. *Geophilia—O Sentir e Os sentidos da Geografia Homenagem a Jorge Gaspar*, 593-612.

Almeida, A. D., Guimarães Junior, S. A. M., & Ferreira Neto, J. V. (2015). Relação entre o Índice de Vegetação e a Temperatura de Superfície na estimativa e identificação das ilhas de calor na cidade de Maceió-AL. *Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, João Pessoa-PB, Brasil*, 25.

Alves, E. D. L. (2010). Ilha de Calor ou Ilha Térmica: um conceito aberto à discussão. *Revista Espaço Acadêmico*, 10(110), 124-129.

Amorim, M. C. D. C. T. (2017). Detecção remota de ilhas de calor superficiais: Exemplos de cidades de porte médio e pequeno do ambiente tropical, Brasil. *Finisterra-Revista Portuguesa de Geografia*, (105), 111-133.

Barboza, E., Bezerra Neto, F., & Caiana, C. (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.

Batista, C. T. (2010). A mineração de agregados na Região Metropolitana de Fortaleza: Impactos Ambientais e Conflitos de uso e Ocupação do Solo.

Boratto, I. M., & Gomide, R. L. (2013). Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais. In *Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em anais de congresso (ALICE)*.

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.

Costa, D. F. D., Silva, H. R., & Peres, L. D. 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.

Fátima Ferreira, L., Carrilho, S. T., & Mendes, P. C. (2015). Áreas verdes urbanas: uma contribuição aos estudos das ilhas de frescor. *Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research médium*, 6 (2), 101-120.

Feitosa, S. M. R., Gomes, J. M. A., Neto, J. M. M., & de Andrade, C. S. P. (2019). Consequências da Urbanização na Vegetação e na Temperatura da Superfície de Teresina–Piauí. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, 6(2), 58-75.

Fialho, E. S. (2012). Ilha de Calor: Reflexões acerca de um conceito (Heat island: reflections on a concept). *Acta Geográfica*, 61-76.

Gartland, L. (2011). *Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas*. Oficina de Textos.

Hough, M. (1998). *Naturaleza y ciudad: planificación urbana y procesos ecológicos/Cities and natural process*. Gustavo Gil.

IBGE. (2020). *Panorama*. Acesso em 5 março, em <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/fortaleza/panorama>.

Júnior, S. C. D. F. F. (2004). Aspectos históricos da expansão urbana no sudeste do município de Fortaleza, Ceará-Brasil. *Caminhos de Geografia*, 5(13), 141-157.

Marino, M. T. R. D., Freire, G. S. S., & Horn Filho, N. O. H. F. (2012). Aspectos geológicos e geomorfológicos da zona costeira entre as praias do Futuro e Porto das Dunas, região metropolitana de Fortaleza (RMF), Ceará, Brasil. *Geologia*, 25(1).

Mashiki, M. (2012). *Geoprocessamento na identificação de ilhas de calor e influência do uso e ocupação do solo na temperatura aparente da superfície no município de Botucatu/SP. 2012. 80f* (Doctoral dissertation, Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu).

Monteiro, C. A. de F. (1975). *Teoria e clima urbano*. Universidade de São Paulo, São Paulo.

Nascimento, D. T. F. (2010). 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).

Oke, T. R., & Maxwell, G. B. (1975). Urban heat island dynamics in Montreal and Vancouver. *Atmospheric Environment* (1967), 9(2), 191-200.

Oliveira Moura, M., Zanella, M. E., & Sales, M. C. L. (2008). Ilhas térmicas na cidade de Fortaleza/CE. *Boletim Goiano de Geografia*, 28(2), 33-45.

Paz, L. (2009). *A influência da vegetação sobre o clima urbano de Palmas-TO. 2009, 169f* (Doctoral dissertation, Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília-DF).

Porangaba, G. F. O., & Amorim, M. C. D. C. T. (2019). Geotecnologias Aplicadas à Análise de Ilhas de Calor de Superfície em Cidades do Interior do Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 12(06), 2041-2050.

Primavesi, O., Arzabe, C., & Pedreira, M. D. S. (2007). Mudanças climáticas: visão tropical integrada das causas, dos impactos e de possíveis soluções para ambientes rurais ou urbanos. *Embrapa Pecuária Sudeste-Documentos (INFOTECA-E)*.

Romero, M. A. B., Baptista, G. M. D. M., Lima, E. A. D., Werneck, D. R., Vianna, E. O., & Sales, G. D. L. (2019). Mudanças climáticas e ilhas de calor urbanas.

Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1973). Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. Prog. Rep. RSC 1978-1. *Remote Sensing Center, Texas A&M Univ., College Station*, 93.

Santos, F. B., Gomes, H. B., & Silva Azevedo, C. D. (2013). Análise da Formação de Ilhas de Calor em Fortaleza-CE por meio de imagens de satélite. *Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto—SBSR. Foz do Iguaçu, PR, Brasil*.

Santos, J. D. O. (2006). Vulnerabilidade ambiental e áreas de risco na bacia hidrográfica do rio Cocó–Região Metropolitana de Fortaleza–Ceará. *Núcleo de Pósgraduação em Desenvolvimento Regional e meio Ambiente-PRODEMA. Universidade Federal do Ceará-UFCE. Dissertação (Mestrado em meio Ambiente).*

Santos, J. S., & Dos Santos, G. D. (2013). Estudo microclimático em pontos representativos da malha urbana da cidade de João Pessoa: uma avaliação do campo térmico. *Rev Bras Geog Fis*, 6, 1430-1448.

Santos, M. (2013). *A urbanização brasileira* (Vol. 6). Edusp.

Santos, T. (2011). *Identificação de ilhas de calor em Recife-PE por meio de sensoriamento remoto e dados meteorológicos de superfície*. (Doctoral dissertation, Dissertação (mestrado) Programa de Pós graduação em engenharia agrícola. Universidade Federal Rural de Pernambuco - Recife).

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Eliezio Nascimento Barboza – 80 %

Francisco das Chagas Bezerra Neto – 10%

Clarice Ribeiro Alves Caiana – 10%