

**INVESTIGAÇÃO DA TEMPERATURA APARENTE DE SUPERFÍCIE E DO
ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA DA ZONA
URBANA DE CASCAVEL, PARANÁ, BRASIL**

**INVESTIGATION OF SURFACE APPARENT TEMPERATURE AND
VEGETATION INDEX BY NORMALIZED DIFFERENCE OF THE URBAN AREA
OF CASCAVEL, PARANÁ, BRAZIL**

**Renan Valério Eduvirgem¹
André Jesus Pericato²
Matheus Vinicius dos Santos³
Laine Milene Caraminan⁴**

Resumo: Os estudos utilizando o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e Temperatura de Superfície (TS) são importantes ferramentas que podem subsidiar o planejamento urbano. Nesse sentido, o presente trabalho tem por objetivo promover o diagnóstico da TS e do NDVI no período de 2000 e 2019 na área urbana de Cascavel, estado do Paraná. Para tanto, foram utilizadas imagens dos satélites Landsat 5 e Landsat 8, além da aplicação da análise estatística (teste de Wilcoxon e correlação de Spearman). De maneira geral, os maiores valores de NDVI para os anos de 2000 e 2019 estão associados às áreas próximas aos cursos hídricos e parques, enquanto que os menores valores desse índice foram considerados nas áreas centrais da cidade, devido principalmente à densidade de edificações. Ao comparar os valores de NDVI de 2000 e 2019, foi observado uma diminuição do índice para o ano de 2019. Logo, os valores para a TS dos anos de 2000 e 2019 foram maiores nas áreas adensadas (centrais e principais avenidas). Os menores valores foram encontrados nas proximidades dos cursos hídricos e também nas Áreas de Preservação Permanente e no Parque Municipal Paulo Gorsk. Quando comparados os valores de TS entre os anos de 2000 e 2019, verificou-se um aumento significativo na temperatura para o ano de 2019. Por meio da aplicação do NDVI e TS foi possível apontar as principais áreas da cidade de Cascavel que merecem atenção especial e conseqüentemente, podem ser alvos de medidas mitigadoras.

Palavras-chave: Gestão urbana. Landsat. Vegetação urbana.

Abstract: Studies using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Surface Temperature (TS) are important tools that can support urban planning. In this sense, the present work aims to promote the diagnosis of TS and NDVI between 2000 and 2019 in the urban area of Cascavel, state of Paraná. For this purpose, Landsat 5 and Landsat 8 satellites images were used, in addition to the application of statistical analysis (Wilcoxon test and Spearman correlation). In general, the highest NDVI values for the years 2000 and 2019 are associated with areas close to water courses and parks, while the lowest values for this index were considered in the central areas of the city, mainly due to the density of buildings.

¹ Geógrafo e especialista em Arqueologia. Doutorando em Geografia na Universidade Estadual de Maringá (UEM). E-mail: georenanvalerio@gmail.com

² Geógrafo. Doutorando em Geografia na UNESP de Presidente Prudente. E-mail: andrejesus_91@hotmail.com

³ Graduando em Geografia na Universidade Estadual de Maringá (UEM). E-mail: matheusvini.geo@gmail.com

⁴ Graduanda em Geografia na Universidade Estadual de Maringá (UEM). E-mail: caraminanlaine@gmail.com

Comparing the NDVI values of 2000 and 2019, it was observed a decrease of the index for the year 2019. Therefore, the values for the TS of the years 2000 and 2019 were higher in the densified areas (central and main avenues). The lowest values were found in the proximities of the watercourses and also in the Permanent Preservation Areas and Paulo Gorsk Municipal Park. When comparing the TS values between 2000 and 2019, there was a significant increase in temperature for the year 2019. through the NDVI and TS it was possible to indicate the main areas of the city of Cascavel that deserve special attention. and consequently, they may be targets of mitigating measures.

Keywords: Urban management. Landsat. Urban vegetation.

Introdução

A urbanização é compreendida como um fenômeno de transformação territorial, ocorrendo um processo de migração da sociedade rural para as áreas urbanas, tendo como principal consequência, o incremento da população nas cidades. Este processo se materializa pelo caráter socioeconômico e cultural (TSCHÁ, RIPPEL e LIMA, 2010).

Na mesorregião oeste do Paraná, o processo de urbanização ocorreu a partir de 1950 e, intensificou-se até o final de 1970. Os principais fatores que colaboraram para o desenvolvimento da urbanização na região relacionam-se com as dinâmicas migratórias (PIERUCCINI, TSCHÁ e IWAKE, 2003) ocasionadas pelo interesse na exploração vegetal e fixação da agricultura de subsistência (COLODEL, 2003). A partir de 1970, a região caracterizou-se pela inversão da população rural e urbana, onde os índices urbanos aumentaram gradativamente em relação à população rural (MISAEL e RODRIGUES, 2015), fato ocasionado sobretudo pela modernização da agricultura (ADAMY, 2010).

Na década de 70 e 80, houveram grandes transformações de caráter geográfico e administrativo na mesorregião oeste do Estado do Paraná. O crescimento populacional, advindo do processo de urbanização, ocasionou alterações na morfologia urbana dos municípios. Estas transformações, segundo Tschá, Rippel e Lima (2010) possibilitaram mudanças na distribuição espacial da população, acarretando impactos estruturais e ambientais.

O termo planejamento, ganha importância nos ambientes urbanos neste processo crescente da urbanização, visando promover o desenvolvimento do meio urbano sustentável e priorizando as questões ambientais, bem como a redução dos impactos ambientais nas áreas urbanas, ocasionado sobretudo, pela relação ininterrupta entre recursos naturais e a produção antropogênica.

Guerra e Cunha (2001) também apresentam que os impactos ambientais urbanos cresceram sucessivamente com a expansão das malhas urbanas. Logo, ao integrar as particularidades físicas às socioespaciais no ato de planejar, possibilita-se a otimização das ações, objetivando a redução destes impactos.

Mota (1999), corrobora que o planejamento ambiental dentro de suas finalidades, propõe na conservação das riquezas naturais, estendendo-se à utilização adequada do meio (urbano/rural), respeitando os princípios que asseguram a sua qualidade bem como seu equilíbrio.

O mau planejamento ambiental ou ausência do mesmo em áreas urbanas, reflete no aumento expressivo dos problemas ambientais, estes quando atrelados aos aspectos físicos e socioeconômicos do espaço urbano, influem na qualidade de vida da população (LIMA, 2007).

Santos (2004), apresenta que o planejamento ambiental pode ser ordenado a partir de uma perspectiva que abrange três etapas: a pesquisa; análise e síntese (levantamento e organização dos dados); avaliação dos dados a fim de compreender a situação do espaço geográfico em análise; e a utilização dos resultados obtidos para posterior escolha de medidas mitigadoras dos problemas ambientais. Ainda segundo a autora, o planejamento ambiental consiste na adequação de ações às potencialidades e vocações locais e a capacidade de suporte, visando sempre o desenvolvimento harmônico.

Nessa continuidade, a pesquisa e análise do espaço urbano em suas diversas dimensões – física, socioeconômica e cultural – sugere uma gama de dados e informações que podem ser manipulados em meio computacional, referindo-se primordialmente ao universo das geotecnologias.

As geotecnologias são representadas principalmente pelos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), dispendo de técnicas como o Geoprocessamento e o Sensoriamento Remoto. Em suma, apresentam-se como importantes ferramentas no desenvolvimento de estudos dos fenômenos geográficos, contribuindo para a geração e produção de conhecimentos, bem como a integração dos mesmos.

O NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) é utilizado como ferramenta de monitoramento da cobertura vegetal, tendo como base para sua interpretação, a razão e a soma da reflectância das bandas infravermelho próximo e vermelho do espectro eletromagnético, podendo sofrer influência dos dosséis vegetais, propriedades das folhas,

umidade do solo e sombras (TOWNSHEND; JUSTICE, 1986; CARLSON; RIPLEY, 1997; VIANA; ALVALÁ, 2011).

Algumas vantagens da utilização do Sensoriamento Remoto aplicados a índices de vegetação foram apontadas por Jensen (2009), como a possibilidade do monitoramento das mudanças sazonais e interanuais no desenvolvimento e atividade da vegetação. Além disso, minimiza muitas formas de ruídos multiplicativos, sendo estes, sombras de nuvens, variações topográficas e diferenças de iluminação solar. Assim, o NDVI pode ser utilizado não apenas para o monitoramento, mas também, como um importante indicador ambiental. A utilização dos índices, atrelados ao Sensoriamento Remoto fornecem subsídios e verificam-se como ferramentas ao planejamento ambiental.

A Temperatura de Superfície (TS), também conhecida como temperatura de brilho também contribui para a gestão e planejamento do município, haja vista que, os mapas termais podem apontar as áreas com as maiores temperaturas e a necessidade de aumento de vegetação na área ou não.

No Brasil, estudos são realizados, sobretudo com o objetivo de avaliar a ocorrência das ilhas de calor no espaço urbano. Teza e Baptista (2005) utilizando imagens orbitais oriundas do Landsat, constataram aumento médio de 3°C em várias metrópoles brasileiras no período de 1984 a 2001.

Pereira et al. (2017) utilizaram a Temperatura de Superfície para monitorar o comportamento térmico durante duas décadas, 1990 a 2010. Os autores identificaram que houve aumento nas temperaturas devido o adensamento do aglomerado urbano.

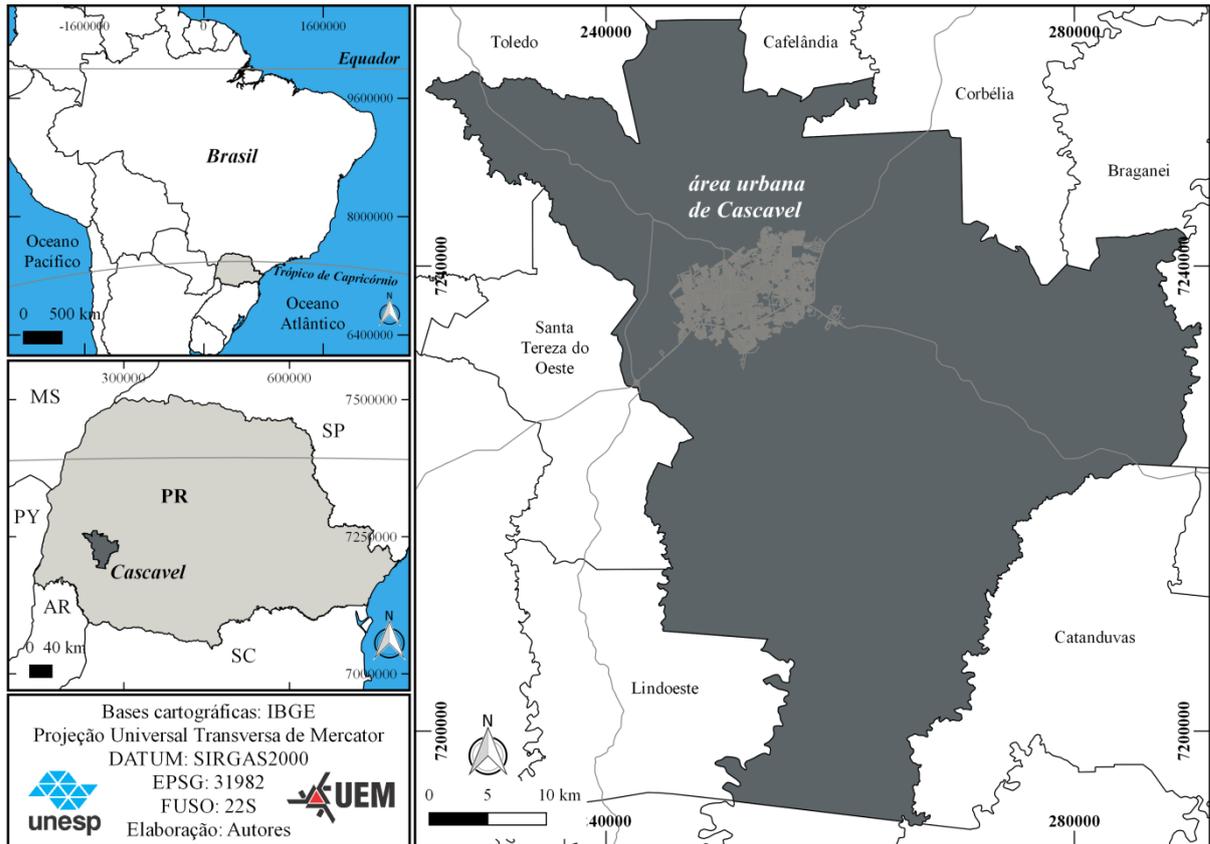
O presente trabalho tem como objetivo promover o diagnóstico da Temperatura de Superfície e do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada nos anos de 2000 e 2019 no perímetro urbano de Cascavel, Paraná. O trabalho justifica-se pela carência de estudos desse caráter na área urbana do município, uma vez que, essas análises são fundamentais para auxiliar no planejamento e gestão da cidade.

Localização da área de estudo

Cascavel localiza-se na mesorregião oeste do estado do Paraná. O município possui zona urbana densamente construída (Figura 1). A população estimada para 2018 é de 324.476 habitantes (IBGE, 2018).

A população de Cascavel apresentou crescimento diretamente proporcional à ascensão urbana com número de habitantes em 1990 (192.990 habitantes), 2007 (285.784 habitantes), 2010 (286.205 habitantes) e 2018 (324.476 habitantes) (IBGE, 2018). Além disso, Cascavel é considerado um polo econômico e agroindustrial, o qual atrai empresas e população dos municípios vizinhos (SOUZA e SANTOS, 2011).

Figura 1 – Localização de Cascavel, Paraná



Elaboração: Os autores

Procedimentos metodológicos

Aquisição das imagens Landsat

Para atender os objetivos da pesquisa, foram adquiridas imagens da área de estudo no sítio da *United States Geological Survey* (USGS). Os sensores utilizados foram os *Thematic Mapper* (TM), *Operational Land Imager* (OLI) e *Thermal Infrared Sensor* (TIRS), que podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1 – Dados das imagens Landsat

Data da imagem	Órbita/Ponto	Origem	Sensor
29/01/2000	223/077	USGS	TM
17/01/2019	223/077	USGS	OLI e TIRS

Fonte: USGS

Para facilitar a chamada e leitura das datas de 29/01/2000 e 17/01/2019, estas foram denominadas apenas pelos anos, sendo de 2000 e 2019, respectivamente.

Determinação da Temperatura de Superfície (TS)

Os dados de entrada foram das imagens do satélite Landsat 8 na banda 10 e banda 6 do satélite Landsat 5. Para obter os valores de TS, foi utilizado o software Esri ArcGis® v.10.4.1.

Na determinação de TS foi utilizado o guia empregado pelo *Center for Earth Observation, da Universidade de Yale*. Este método possui embasamento na lei de Planck, que faz alusão ao corpo negro. Trata-se de um corpo hipotético que pode absorver e emitir a radiação eletromagnética em todos os comprimentos de onda de forma isotrópica, que pode ser produzida como a quarta potência da temperatura de superfície do objeto (Equação 1).

$$\text{Energia emitida por um corpo negro} = \sigma t^4 \quad (1)$$

Em que: “ σ ” constante de stefan-boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} \text{ w/m}^2 \text{ k}^4$).

Todavia, como nenhuma superfície real se comporta como um corpo negro, deve-se considerar a seguinte fórmula (Equação 2).

$$\text{Energia real emitida} = \varepsilon \sigma t^4 \quad (2)$$

Em que: “ ε ”: emissividade da superfície, que varia entre 0 e 1.

Os elementos presentes na terra apresentam emissões que variam de 0,8 a 0,95. Sendo alguns materiais como metais, sem revestimento, podem apresentar valores variando de 0,2 a 0,6.

Para a obtenção dos valores de TS, utilizamos as fórmulas, sendo a primeira responsável pela transformação dos valores ND (números digitais coletados via satélite), que vão de 0 (branco) a 255 (preto), em valores de radiância (Equação 3).

Para a imagem termal (banda 6) do Landsat 5 TM, utilizamos as equações 3 e 4.

$$Cvr1 = gain \cdot Nd + bias \quad (3)$$

Em que:

Cvr1 => valor de radiância do pixel

Gain => coeficiente de calibração termal (0.05518)

Nd => número digital (0 a 255)

Bias => coeficiente de calibração (1.2378)

Os valores de *bias* e *Gain* são oriundos da calibração dos sensores, que interferem diretamente nos dados de temperatura. Ao final do lançamento dos dados ND para radiância, aplicou-se a fórmula (Equação 04) para transformação dos valores em temperatura, cujos resultados foram expressos em graus Celsius.

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1 \cdot X \cdot \epsilon}{CVR_1}\right) + 1} - 273,15 \quad (4)$$

Em que:

T => temperatura em kelvin

Cvr1 => valor de radiância dos pixels da imagem anterior

E => emissividade (foi adotado o valor de 0.95)

K1 607.76 => constante de calibração

K2 1260.56 => constante de calibração

Para a extração das TS por meio das imagens termais (banda 10) do Landsat 8 utilizamos as equações 5 e 6 (SANTOS et al., 2014).

$$L\lambda = MLQcal + AL \quad (5)$$

Onde:

L_{λ} = Radiância do topo da atmosfera (Watts/(m² * srad * μ m));

M_L = Fator multiplicativo de redimensionamento de cada banda presente nos metadados (Radiance_Mult_Band_x, onde x é o número da banda);

A_L = Fator aditivo de redimensionamento de cada banda presente nos metadados (Radiance_Add_Band_x, onde x é o número da banda);

Q_{cal} = Valores de pixel quantificados e calibrados do produto padrão (DN).

Aplicou-se a Equação 6 para converter os valores em temperatura Kelvin, e subtraído o resultado por “-273,15” para converter para graus Celsius (°C).

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{LA} + 1\right)} - 273,15 \quad (6)$$

T = Temperatura efetiva no satélite em Kelvin;

K₂ = Constante de calibração 2 – valor – 1 321,08;

K₁ = Constante de calibração de 1 – valor – 774,8 9;

LA = Radiância espectral, em Watts / (metro quadrado ster * * mm).

Determinação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

Com as imagens em radiância realizou-se a conversão para reflectância planetária no topo da atmosfera (SANTOS et al., 2014) (Equação 7).

$$\rho_{\lambda} = M_p L_{\lambda} + A_p \quad (7)$$

Em que:

ρ_{λ} reflectância planetária no topo da atmosfera sem correção do ângulo solar;

M_p o fator multiplicativo reescalado da reflectância para a banda específica;

L_{λ} a radiância espectral;

A_p o fator aditivo reescalado da reflectância para a banda específica.

É necessário corrigir a reflectância de acordo com ângulo zenital, para tal, utiliza-se a Equação 8.

$$\rho\lambda = 1 + \frac{\rho\lambda'}{\cos(\theta_{SZ})} + \frac{\rho\lambda'}{\sin(\theta_{SE})} \quad (8)$$

Em que:

$\rho\lambda$ é a refletância planetária, com correção do ângulo zenital;

θ_{SE} é o ângulo de elevação solar presente no MTL file;

θ_{SZ} é o ângulo zenital solar, que é calculado de acordo com o MDE.

Em seguida demandou-se da extração do NDVI, em que foram utilizadas as bandas 4 e 5 do satélite Landsat 8, e bandas 3 e 4 do satélite Landsat 5.

O realce da vegetação pelo NDVI levou em consideração as relações entre a refletância do solo e da vegetação, sendo que a vegetação possui elevada refletância na região do infravermelho próximo, enquanto que o solo, na região do vermelho. Quanto maior for a densidade da cobertura vegetal, inferior será a refletância na região do visível - vermelho, todavia, será superior a refletância na região do infravermelho próximo.

Para o cálculo de NDVI foi utilizada a Equação 9:

$$\text{NDVI} = (\rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{RED}}) / (\rho_{\text{NIR}} + \rho_{\text{RED}}) \quad (9)$$

Em que:

NDVI = Índice de Vegetação por Diferença Normalizada;

ρ_{NIR} = refletância na banda do infravermelho próximo;

ρ_{RED} = é a refletância na banda vermelha.

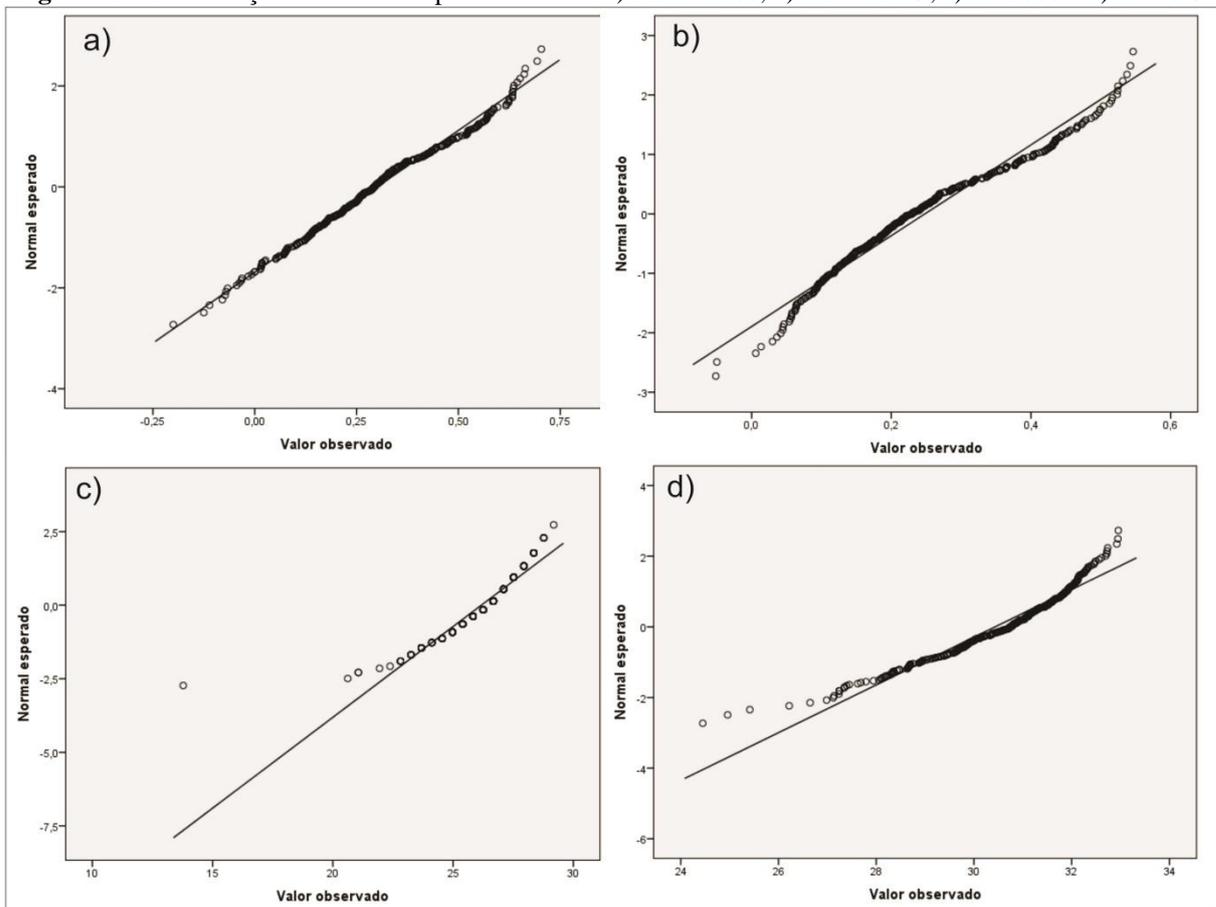
Os valores obtidos no NDVI variam entre -1 e 1. Quanto mais próximo de -1, menor será a densidade vegetal, além da presença de registros de água, solo exposto e superfícies impermeabilizadas. Quanto mais próximo de 1, maior será a densidade da cobertura vegetal.

Análise estatística

Realizou-se o teste de Wilcoxon e o coeficiente de correlação de Spearman (n=314). Para realização das análises estatísticas utilizou-se o software IBM SPSS 22®. Nesse estudo, adotou-se o nível de confiança de 95% (α : 0,05).

Para compreender a distribuição dos dados aplicou-se dois testes de normalidade, sendo de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk. Ambos não apresentaram normalidade para NDVI 2019, TS 2000 e 2019. Como análise exploratória dos dados gerou-se os gráficos de distribuição acumulada para identificar os valores periféricos, possíveis candidatos a *outliers*. Assim, confirmando os testes de normalidade supracitados (Figura 02), como recomendado por Libardi et al. (1996). Deste modo, apresentando distribuição normal somente NDVI 2000. Diante desse fato, optou-se pelo teste não paramétrico de Wilcoxon.

Figura 02 – Distribuições acumuladas probabilísticas. a) NDVI 2000, b) NDVI 2019, c) TS 2000 e d) TS 2019



O teste de Wilcoxon baseia-se nos postos das diferenças interpares, expressando maior ênfase nas maiores diferenças. Assim, se ambos os tratamentos possuem o mesmo efeito, as diferenças negativas e positivas irão se anular (CALLEGARI-JACQUES, 2003).

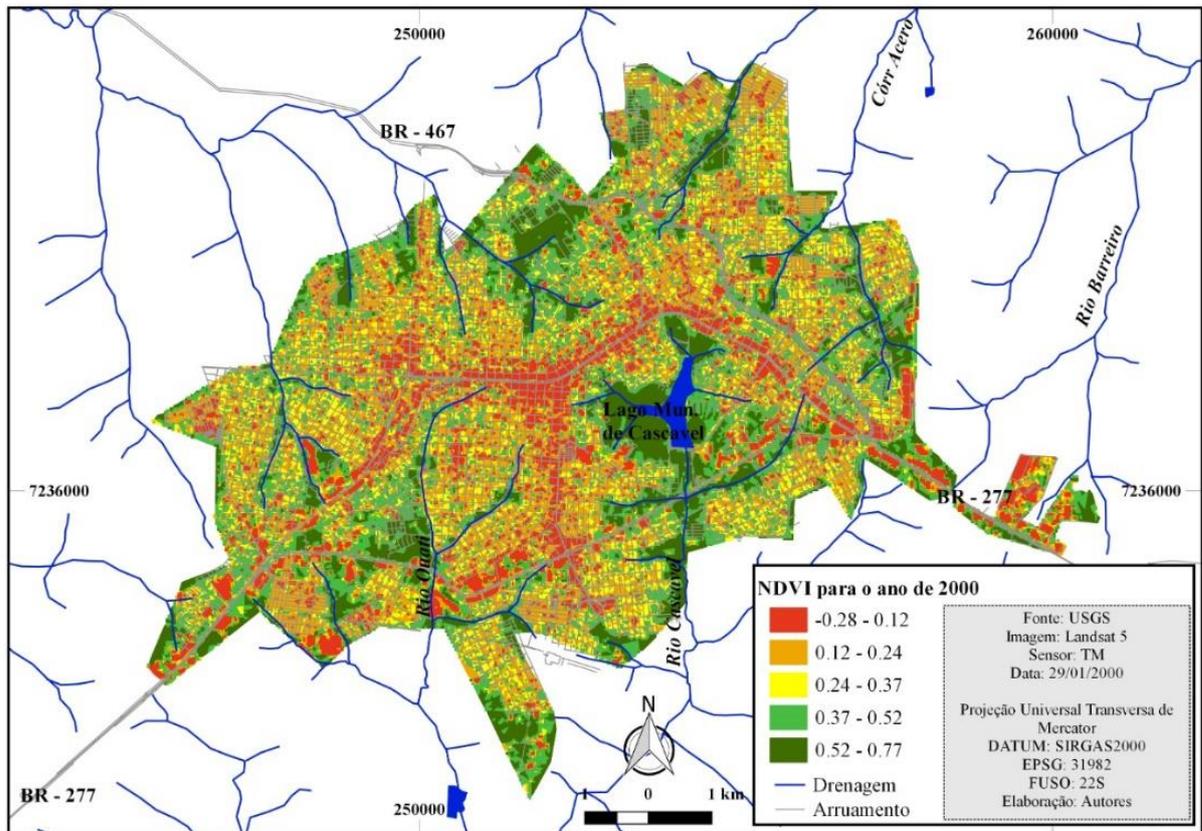
Portanto, testou-se as hipóteses: para o NDVI, H_0 os valores obtidos pelo índice de vegetação não diferem nos anos de 2000 e 2019, H_1 : os valores obtidos pelo índice de vegetação para 2000 e 2019 são distintos. Para a TS, H_0 : a temperatura de brilho de 2000 e 2019 não diferem, H_1 : a TS de 2000 e 2019 são distintas.

Resultados e discussões

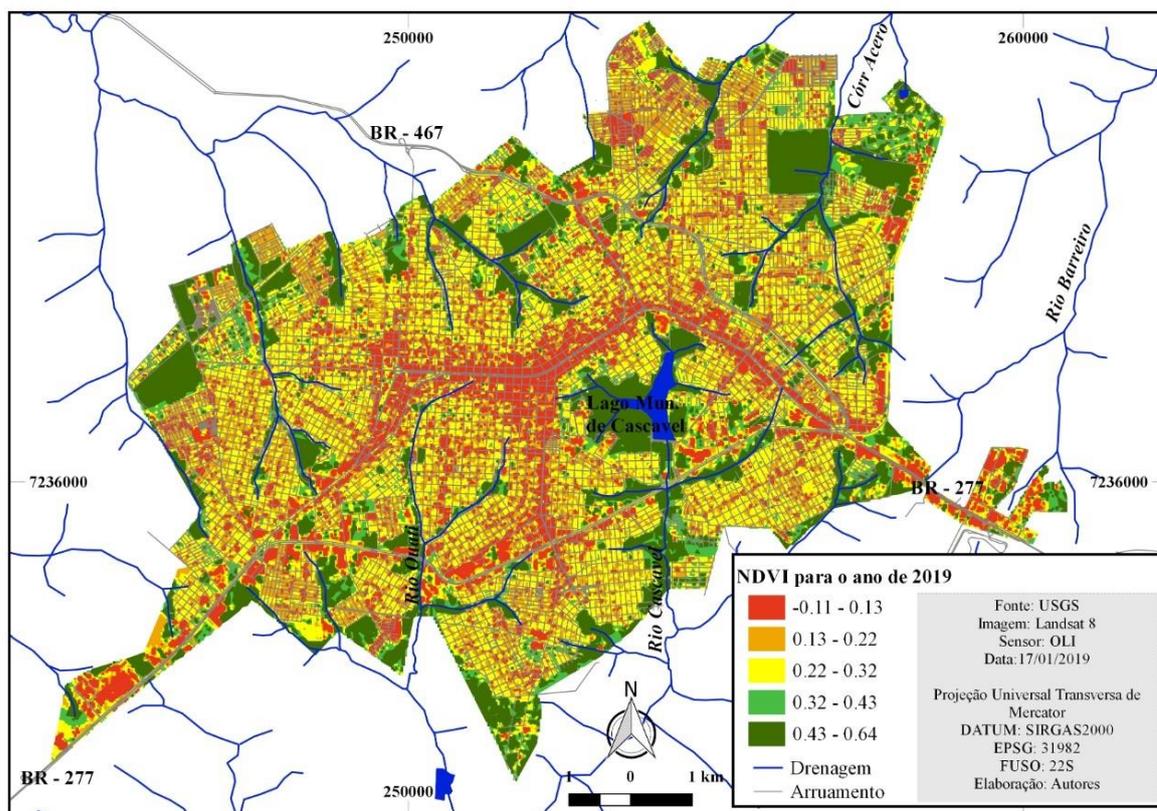
Para o ano de 2000 (Figura 03) observou-se que os valores entre -1 a 0 estão espacializados no interflúvio (topos) da área urbana de Cascavel, próximos das áreas centrais. Estas áreas representam locais com pouca ou nenhuma vegetação (SADER, LAWRENCE e JOYCE, 1989; BARBOSA, CARVALHO e CAMACHO, 2017), acompanhando eixos centrais da Av. Brasil, bem como da rodovia BR-277. Estes locais são caracterizados por apresentarem maior densidade de construções, com o uso e ocupação do solo geralmente associado ao comércio e grandes avenidas.

Os maiores valores (próximos a 1), foram diagnosticados sobretudo nas baixas vertentes do perímetro urbana do município, bem como nas áreas periféricas da cidade. Estas áreas correspondem às áreas que margeiam os cursos d'água presentes na área urbana. Outro ponto que apresentou valores próximo a 1 para o NDVI, foi a região do Parque Municipal Paulo Gorsk, com a presença de vegetação margeando o lago no interior do Parque.

Para o ano 2000, os valores entre 0,37 a 0,77 corresponderam as áreas com maior presença de vegetação, corroborando com outros trabalhos que aplicaram o mesmo índice para área urbana (GUERSCHMAN, PARUELO e BURKE, 2003; AMORIM, DUBREUIL e CARDOSO, 2015). De forma geral, para o ano de 2000, observou-se maior densidade de vegetação ao longo das áreas de preservação permanente (APPs), indo de encontro à legislação (ARAÚJO e GANEM, 2016) conforme previsto em Lei n° 12.651 (BRASIL, 2012).

Figura 03 – NDVI (2000) da área urbana de Cascavel

Para o NDVI de 2019, houve a diminuição nos valores mínimos e máximos. Este comportamento, quando comparado com os valores para o ano 2000, possivelmente indicam o crescimento das áreas pavimentadas e construídas, bem como no avanço dos limites urbanos, com a presença de novos conjuntos habitacionais. Os locais onde foram observadas significativas mudanças nos valores de NDVI são: bairro Interlagos (0,37-0,52 para 0,12-0,24) e Jaburá (0,52-0,77 para -0,11-0,13) na região norte da cidade; Esmeralda (0,37-0,52 para 0,22-0,32 predominantemente) na região oeste e Santos Dumont (0,37-0,52 para 0,22-0,32 predominantemente), bem como nas avenidas principais: Brasil, Barão do Rio Branco, Carlos Gomes e rodovia BR-277 (Figura 04).

Figura 04 – NDVI (2019) da área urbana de Cascavel

Na zona urbana de Maringá, Eduvirgem e Ferreira (2018) determinaram valores de NDVI inferiores a 0,70, sendo o máximo de 0,63 no ponto com maior expressividade da vegetação urbana.

Pereira et al. (2017) encontraram decréscimo de NDVI nas localidades com aumento da densidade de edificações, resultando na elevação das temperaturas de superfícies.

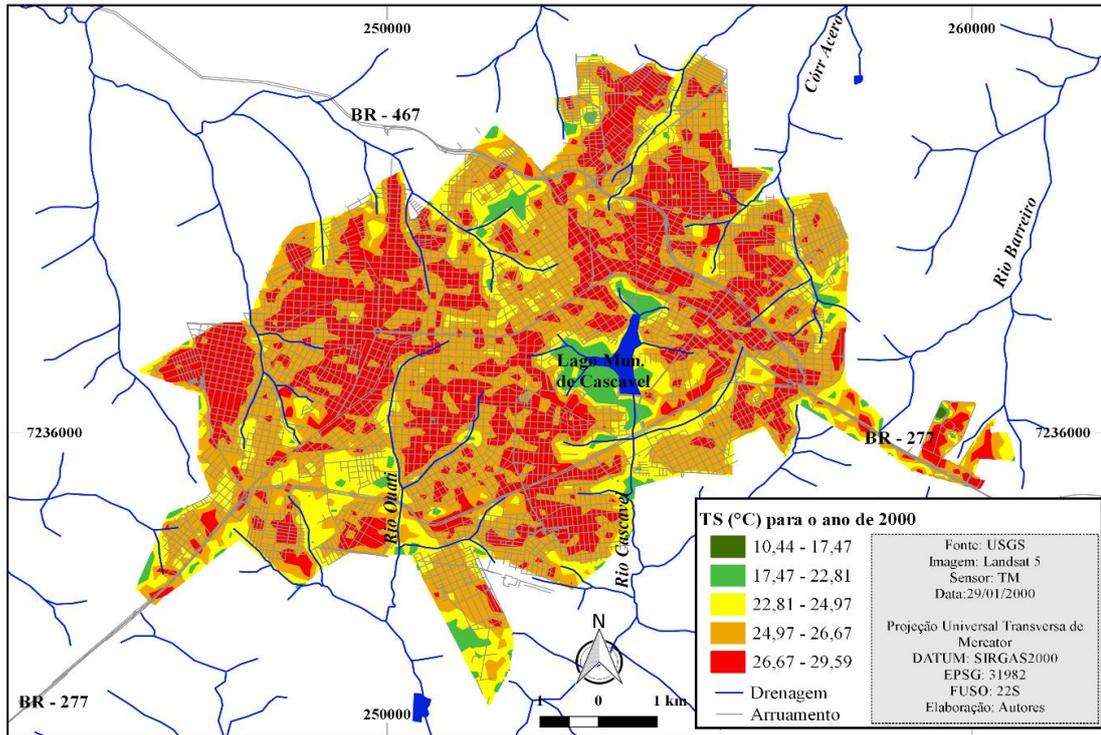
Almeida et al., (2015) diagnosticaram valores de NDVI superior (0,73) em Maceió-AL. Para tal fato, estava presente na zona urbana, a Reserva do Ibama e vegetação densa nas áreas periféricas à oeste.

De modo geral, entre 2000 e 2019 foi possível identificar o crescimento do perímetro urbano sobre a zona rural. Identificou-se também áreas com práticas agrícolas dentro da área urbana de Cascavel (região nordeste). Nestes pontos, os valores de NDVI foram próximos aos encontrados em áreas de preservação permanente, porém, referindo-se ao cultivo de culturas temporárias.

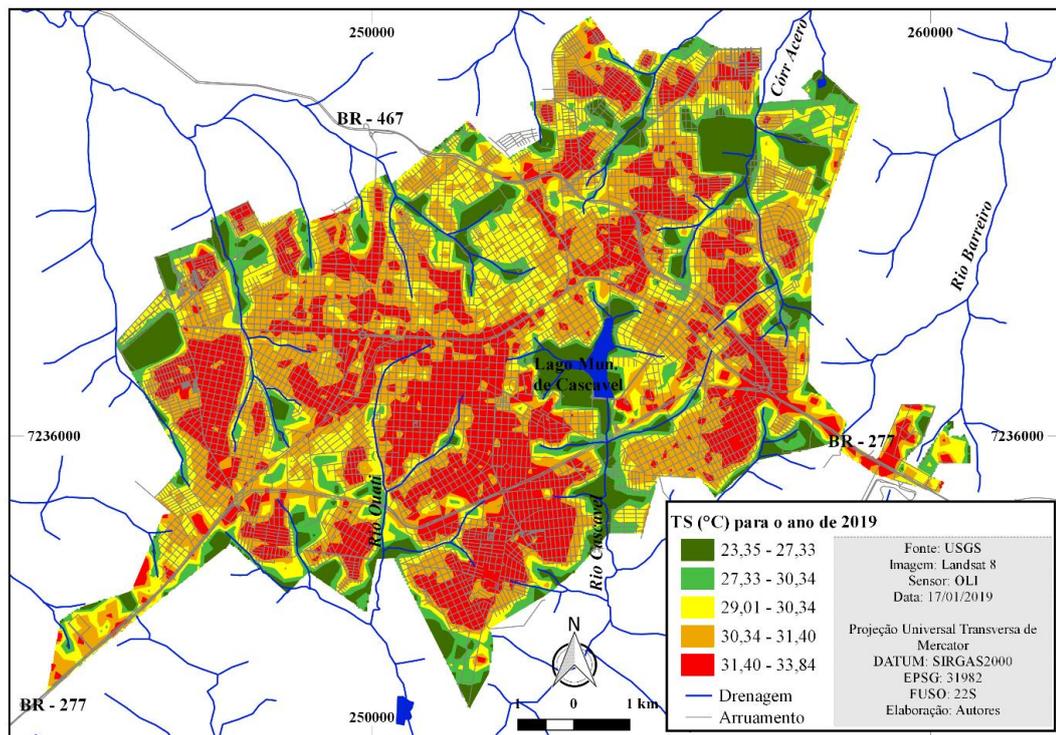
Para a análise da TS no ano de 2000 (Figura 05), observou-se a presença das maiores temperaturas nas áreas dos interflúvios (topos) da cidade, e menores temperaturas em direção as áreas da baixa vertente, próximos aos cursos hídricos. Os valores encontrados de TS possuem correlação (Spearman) negativa e moderada ($\rho = -0,438$; $p < 0,001$) com os valores

encontrados para o NDVI em 2000, apresentando relação inversamente proporcional. Assim, à medida que uma aumenta a outra diminui. Os menores valores de temperatura corresponderam as áreas com maior valor de NDVI (próximo a 1), indicando maior presença de vegetação. As menores temperaturas foram observadas nas áreas de preservação permanente (fundos de vale e Parque Municipal Paulo Gorsk).

Figura 05 – Temperatura de Superfície (2000) da área urbana de Cascavel



Na análise da TS para o ano 2019 (Figura 06), foi observado um grande contraste quando comparado com os valores encontrados para o ano de 2000. De modo geral, houve aumento da temperatura, tanto em áreas de preservação permanente (proximidades dos cursos hídricos e parques) quanto nas áreas residenciais e centrais da cidade. O maior valor de temperatura encontrado para o ano de 2000 foi de 29,59 °C. Para o ano de 2019 o maior valor foi de 33,84°C.

Figura 06 – Temperatura de Superfície (2019) da área urbana de Cascavel

As áreas centrais, próximas às vias principais (av. Brasil, BR 277), bem como as áreas de topo da vertente no interior dos bairros, apresentaram os maiores valores de TS. Estas áreas possuem baixos índices de vegetação, com alto grau de pavimentação e área construída. Geralmente, os lotes são cada vez mais impermeabilizados com a supressão de áreas verdes, acarretando no aumento significativo da temperatura.

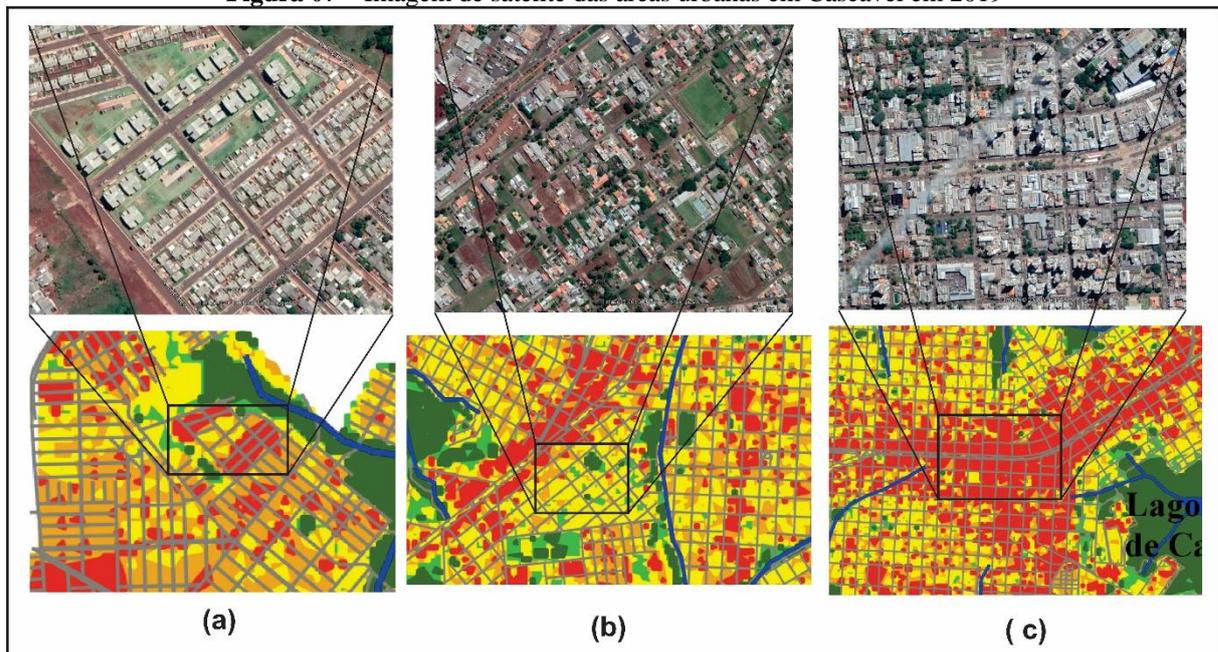
Os resultados de temperatura de superfície para o ano de 2019 se aproximam com o modelo clássico exposto por Oke (1974), onde as maiores temperaturas são registradas comumente em áreas centrais densamente construídas. Entretanto, no estudo as áreas periféricas não foram de encontro com o modelo apresentado pelo autor, onde as áreas periféricas em decorrência de sua proximidade com o espaço rural apresentariam menores temperaturas. Esta variação de temperatura nas áreas periféricas está relacionada com as características sociais e econômicas, resultando em padrões distintos de construções.

Resultado semelhante foi encontrado no trabalho de Amorim, Dubreuil e Cardoso (2015). Os autores realizaram uma modelagem espacial da ilha de calor urbana para a cidade de Presidente Prudente, no Estado de São Paulo. Como resultado, os autores encontraram maiores temperaturas nas áreas centrais, indo de encontro com a literatura clássica. Contudo, os autores identificaram variações de temperaturas nas áreas periféricas ocasionados pela diferença social e econômica dos bairros. Nas localidades periféricas em Presidente Prudente,

existem muitos bairros recentes com lotes menores e bairros com condomínios fechados de alto padrão, onde as áreas verdes são mais frequentes e os lotes maiores, resultando em diferenças no padrão construtivo e consequentemente, em diferentes temperaturas.

Na Figura 07, foi observado o efeito das formas de uso e ocupação e sua relação com a TS. A situação (a) remete-se ao bairro periférico Gralha Azul. Este bairro apresenta uma alta densidade de área construída, com baixa presença de vegetação. A situação (b), corresponde a localidade Pioneiros Catarinenses, localizado na porção sudoeste de Cascavel. O bairro corresponde a uma área antiga intraurbana, porém com relativa presença de áreas verdes, vazios urbanos e lotes sem ocupação. Estas condições contribuem para temperaturas mais amenas, mesmo estando próximo ao centro e de grandes avenidas. Por fim, a situação (c) corresponde a área central da cidade. Neste trecho, o uso e ocupação da terra se limita em áreas densamente construídas, com lotes comerciais adensados, prédios e grandes avenidas. Todos estes fatores favorecem a condição de temperaturas elevadas.

Figura 07 – Imagem de satélite das áreas urbanas em Cascavel em 2019



Fonte: Imagem Google Earth

Aumentos significativos de temperatura, como foram constatados nos mapas podem gerar diversos impactos nos espaços urbanos, contudo, a situação pode ser amenizada. Cardoso e Amorim (2014), propõem a utilização de materiais construtivos adequados que não potencializam o aumento da temperatura local.

Outras medidas mitigadoras que contribuem para a amenização da TS, relacionam-se à distribuição de espaços verdes na totalidade da área urbana, assim como a diminuição da canalização dos cursos de água. Tais medidas possibilitam melhores condições de vida da população e na biodiversidade local, não apenas nas ruas, mas também no interior das próprias edificações.

Para o mapa de TS de 2019, ficou evidente o papel da vegetação, sobretudo nas áreas de preservação permanente em cursos d'água, e sua contribuição para a diminuição da temperatura em superfície.

Para o ano 2000, os menores valores de temperatura foram localizados justamente em localidades com menor elevação, maior índice de NDVI e a presença de cursos hídricos, porém, foram notados valores semelhantes aos encontrados nos setores mais elevados da cidade com áreas residenciais e áreas comerciais.

Já para o ano de 2019, percebe-se maior variação das temperaturas entre as áreas de preservação permanente, áreas residenciais e em partes mais elevadas próximas as principais avenidas e áreas centrais comerciais. Possivelmente, esses valores de temperatura podem estar associados ao aumento da cobertura vegetal ao longo dos cursos hídricos nos últimos anos (Figura 08).

Figura 08 – Imagem de satélite da área urbana de Cascavel para o ano de 2000 e 2019



Fonte: Imagem Google Earth Engine

Embora os maiores valores de NDVI de 2000 para 2019 tenham diminuído, na Figura 07 nota-se que há um aumento nos segmentos de vegetação ao longo dos cursos hídricos, sobretudo ao longo dos córregos de primeira ordem intraurbanos. Esta condição, propicia a

apresentação de um maior contraste de temperatura entre fundo de vale e demais localidades da área urbana de Cascavel.

Por fim, corroborando as análises descritas nessa etapa, a correlação de Spearman foi positiva e moderada entre a TS 2000 e 2019, e NDVI 2000 e 2019 ($\rho = 0,489$; $p < 0,001$). O teste de Wilcoxon apontou que os valores de NDVI de 2019 foram inferiores aos de 2000 ($Z = -5,436$; $p < 0,001$), indicando que os valores apresentaram diferença estatisticamente significativa.

Com relação à TS, o teste de Wilcoxon determinou que em 2019 os valores foram superiores aos de 2000 ($Z = -15,353$; $p < 0,001$). Diante desse dado, de fato, ocorreu diferença na temperatura de brilho estatisticamente significativa. Portanto, rejeita-se H_0 tanto para TS, como para o NDVI.

Diante dos resultados apresentados foi possível determinar que há diferenças entre 2000 e 2019 para TS e NDVI, diagnosticadas tanto pela análise espacial como pelo teste de Wilcoxon.

Conclusão

A aplicação do índice de NDVI e da TS em Cascavel mostrou-se eficiente. Foi possível fazer a correlação das áreas densamente construídas e conseqüentemente com baixa densidade de cobertura vegetal, com as áreas de temperaturas mais elevadas. As áreas intraurbanas com menor densidade de construções e com a presença de maior cobertura vegetal apresentaram as temperaturas mais baixas e um maior valor de NDVI.

A correlação de dados entre o NDVI e a TS em áreas urbanas se mostra como um importante instrumento para a gestão do espaço urbano, sendo possível no âmbito do planejamento ambiental, intervenções nas áreas que apresentam as maiores temperaturas, possibilitando um maior conforto térmico para a população.

Agradecimentos

Os dois primeiros autores agradecem à Fundação CAPES pelas bolsas de doutorado. Agradecemos também aos avaliadores que foram fundamentais para melhora do trabalho.

Referências Bibliográficas

ALMEIDA, A. J. P.; GUIMARÃES JUNIOR, S. A. M.; ANDRADE, E. L.; FERREIRA NETO, J. V. Relação entre o Índice de Vegetação e a Temperatura de Superfície na estimativa e identificação das ilhas de calor na cidade de Maceió-AL. In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. 2015. João Pessoa, **Anais...** João Pessoa: INPE, 2015. p. 2047-2054.

ARAUJO, S. M. V. G.; GANEM, R. S. A nova lei florestal e a questão urbana. In: SILVA, A. P. M.; MARQUES, H. R.; SAMBUICHI, R. H. R. (Org.) **Mudanças no código florestal brasileiro: desafios para a implementação da nova lei.** Rio de Janeiro: Ipea, 2016, p. 107-124.

AMORIM, M.; DUBREUIL, V.; CARDOSO, R. Modelagem espacial da ilha de calor urbana em Presidente Prudente (SP), Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia.** Ano, 11. Vol. 16, janeiro, p. 28-45, 2015.

AMORIM, M. C. C. T. Ilhas de calor superficiais: frequência da intensidade e variabilidade espacial em cidade de clima tropical continental. **Geo UERJ**, n. 34, 2019.

ADAMY, I. S. **A Formação e Organização Política da Classe Dominante Agrária: a Sociedade Rural do Oeste do Paraná.** 2010. 173 f. Dissertação (Mestrado em História) - Programa de Pós-Graduação em História, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Candido Rondon, 2010.

BARBOSA, A. H. S.; CARVALHO, R. G.; CAMACHO, R. G. V. 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**, v. 33, p. 128-143, 2017.

BRASIL. **Código Florestal.** Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm. Acesso em: 26 ago. 2019.

CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações.** Porto Alegre: Artmed, 2003. 255 p.

CARLSON, T. N.; RIPLEY, D. A. On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. **Remote sensing of Environment**, v. 62, n. 3, p. 241-252, 1997.

COLODEL, J. A. Cinco séculos de histórias. In: PERIS, A. F. (Org.). **Estratégias de desenvolvimento regional: Região Oeste do Paraná.** Cascavel: Edunioeste, p. 29-75, 2003.

EDUVIRGEM, R. V.; FERREIRA, M. E. M. C. *Achatina fulica* na zona urbana de Maringá-PR: na perspectiva da análise ambiental. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.11, n.07, p. 2391-2411, 2018.

GUERSCHMAN, J. P.; PARUELO, J. M.; BURKE, I. C. Land use impacts on the normalized difference vegetation index in temperate Argentina. **Ecological Applications**, v. 13, n. 13, p. 616-628, 2003.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Impactos ambientais urbanos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. 418 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. **Cidades**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/cascavel/panorama>. Acesso em: 10 dez. 2018.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**, Editora Parêntese, São José dos Campos, São Paulo, 2009. 598p.

LIBARDI, P. L.; MANFRON, P. A.; MORAES, S. O.; TUON, R. L. Variabilidade da umidade gravimétrica de um solo hidromórfico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, p. 1-12, 1996.

LIMA, V. **Análise da qualidade ambiental em Osvaldo Cruz, SP**. 2007. 146 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista Julho de Mesquita Filho, Presidente Prudente. 2007.

MISAEEL, J. K.; RODRIGUES, K. F. Urbanização nos municípios do oeste do Paraná no período de 1991, 2000 e 2010. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE GESTÃO EM PROJETOS, 2015. Cascavel, **Anais...** Cascavel: Unioeste, 2015. p. 1-12.

MOTA, S. **Urbanização e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 352 p.

OKE, T. **Review of urban climatology: 1968-1973**. Geneva: World Meteorological Organization, 1974 (WMO Technical note, n. 134).

PIERUCCINI, M. A.; TSCHÁ, O. C. P.; IWAKE, S. Criação dos municípios e processos emancipatórios. In: PERIS, A. F. (Org.). **Estratégias de desenvolvimento regional: Região Oeste do Paraná**. Cascavel: Edunioeste, 2003. p.105-178.

PEREIRA, B. R.; MEES, M. B.; LEITE, M. R.; MAGALHÃES FILHO, R. Análise da gestão ocupacional em Montes Claros – MG: Impactos do uso do solo e suas consequências na temperatura de superfície. **Revista Cerrados**, v.15, n. 1, p.285-311, 2017.

SADER, S. A.; LAWRENCE, R. B. W. W.; JOYCE, A. T. Tropical forest biomass and successional age class relationships to a vegetation index derived from Landsat TM data. **Remote Sensing of Environment**, v. 28, p. 143-198, 1989.

SANTOS, R. F. dos. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004, 184 p.

SANTOS, A. R.; EUGENIO, F. C.; SOARES, V. P.; MOREIRA, M. A.; RIBEIRO, C. A. A. S.; BARROS, K. O. **Sensoriamento Remoto no ArcGIS 10.2.2. Passo a passo: processamento de imagens orbitais**. Alegre, ES: CAUFES, 2014. 107 p.

SOUZA, A. I.; SANTOS, M. P. Caracterização do município de Cascavel como pólo econômico regional em comparação com os municípios de Maringá e Ponta grossa. In: X Seminário do Centro de Ciências Sociais Aplicadas de Cascavel, 2011, Cascavel – PR. **Anais**. O papel das Organizações na Promoção do desenvolvimento Sustentável. p. 1-13, 2011.

TEZA, C. T. V.; BAPTISTA, G. M. M. Identificação do fenômeno ilhas urbanas de calor por meio de dados ASTER on demand 08 – Kinetic Temperature (III): metrópoles brasileiras. **Anais ... XII SBSR**, Goiânia, Brasil, INPE, p. 3911-3918, 2005.

TSCHÁ, O. C. P.; RIPPEL, R.; LIMA, J. F. Transformação produtiva, urbanização, industrialização e migração no oeste do Paraná. In: XVII Encontro nacional de estudos populacionais ABEP, 2010, Caxambu - MG. **Anais**. População e Desenvolvimento: decifrando conexões, p. 1-18, 2010.

TOWNSHEND, J. R. G.; JUSTICE, C. O. Analysis of the dynamics of African vegetation using the normalized difference vegetation index. **International Journal of Remote Sensing**, v. 7, n. 11, p. 1435-1445, 1986.

VIANA, D. R.; ALVALÁ, R. C. S. Vegetation Index Performance For The Pantanal Region During Both Dry And Rainy Seasons. **GEOGRAFIA**, Rio Claro, v. 36, p. 143-158, 2011.

*Recebido em 03 de junho de 2019.
Aceito em 02 de setembro de 2019.*