

Índice de vegetação e temperatura de superfície terrestre: comparativo entre formação de ilhas de calor nos perímetros urbanos de Londrina e Maringá no PR

RESUMO

As áreas urbanas influenciam o microclima local em virtude da supressão da vegetação ou substituição dos campos agrícolas por áreas altamente impermeabilizadas. Essas modificações da paisagem afetam a temperatura de superfície terrestre (TST), que pode ser estimada por dados do infravermelho termal. No que se refere a áreas verdes, podem ser analisadas com o Índice de Vegetação de Diferença Normalizada. Ao espacializar estes índices com dados de imagens do satélite Landsat 8, pôde-se avaliar a relação entre eles nos perímetros urbanos de Maringá e Londrina, estado do Paraná. Foi possível determinar o grau de interferência da vegetação sobre a temperatura de superfície, quantificada por meio do Índice de Correlação de Spearman e da autocorrelação espacial global e local. Os resultados revelaram grau de correlação bem semelhante para as duas áreas, sendo de -0.81 e -0.84, respectivamente, para Maringá e Londrina, indicando que em ambas cidades os parâmetros estão fortemente correlacionados. Em termos espaciais, no entanto, verificou-se que em Londrina não há concentração de áreas verdes suficiente para atenuar a TST nas regiões mais urbanizadas, diferentemente do que ocorre em Maringá, em que a presença de cobertura vegetal atenua as altas temperaturas, influenciando o microclima local e contribuindo para o conforto térmico.

PALAVRAS-CHAVE: Microclima. Índices espectrais. Autocorrelação.

Julio Cesar Angelo Borges

julioborges05@outlook.com

orcid.org/0000-0002-4824-6953

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Londrina, Paraná, Brasil.

Ligia Flávia Antunes Batista

ligia@utfpr.edu.br

orcid.org/0000-0002-2146-765X

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Londrina, Paraná, Brasil.

INTRODUÇÃO

As áreas urbanas podem ser responsáveis por alterações no micro e mesoclimas, pela geração do fenômeno chamado ilha de calor (COSTA; SILVA; PERES, 2010). Os perímetros urbanos são os principais afetados, por causa das mudanças da cobertura do solo, principalmente a supressão da vegetação natural e substituição de terras agrícolas por superfícies impermeáveis (BUYANTUYEV; WU, 2009).

O clima urbano é um sistema singular, aberto, evolutivo, dinâmico, adaptativo e passível de autorregulação (MONTEIRO, 1976). Esse sistema climático é influenciado pela ação humana, presença de construções, indústrias, veículos e a vegetação existentes. Estes fatores afetam a temperatura do local em relação ao seu entorno e as altas temperaturas causam desconfortos à população.

A Temperatura da Superfície Terrestre (TST) é essencial no balanço energético da superfície, influenciando no clima interno e conseqüentemente no conforto térmico dos moradores de áreas urbanas (WANG; ZHU; WANG, 2004).

Diversos estudos têm sido realizados para investigar o fenômeno de ilha de calor a partir de dados de sensoriamento remoto, utilizando a faixa de comprimento de ondas do infravermelho termal, em que a energia emitida pelos alvos terrestres é registrada pelos sensores a bordo de plataformas orbitais ou aerotransportadas.

A validação de dados gerados pelo sensor Aster por meio da comparação com dados de campo, foi investigada em Hong Kong, bem como a comparação dos dados obtidos no período da noite com os dados diurnos, adquiridos pelo sensor Landsat ETM+, em que foi observada maior variação microclimática durante o dia (NICHOL, 2005).

A avaliação dos efeitos da estrutura espacial do uso da terra na formação de ilhas de calor urbanas foi realizada por meio da integração de imagens de satélite com dados de índices de vegetação, métricas da paisagem e dimensão fractal, em que as conclusões confirmaram os impactos do uso do solo sobre a temperatura de superfície (WU et al., 2014).

Os progressos e desafios do sensoriamento remoto nos estudos de ilhas de calor urbanas foram analisados e os satélites Landsat, *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) e Terra/Aqua *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) foram apontados como os mais utilizados nas pesquisas (ZHOU et al., 2019). Neste trabalho foram consideradas como perspectivas futuras a necessidade de focar em investigações de intensidade de ilhas de calor urbanas, variabilidade temporal e tendências de longo prazo, efeitos de escala e relação com temperatura de subsuperfície, bem como a integração de sensoriamento remoto com dados de campo e modelagem numérica.

Uma possível forma de mitigar os efeitos da urbanização sobre a TST é a presença de espaços verdes, que podem ser estimados por meio do Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI). O NDVI não só permite mapear a presença de vegetação, mas também é um indicador da densidade ou condição da vegetação dentro de um pixel. Com base nisso, pode-se compreender os

impactos do uso e cobertura da terra em relação a TST (ORHAN; EKERCIN; DADASER-CELIK, 2014).

Índices de vegetação são medidas radiométricas adimensionais, os quais podem ser utilizados como indicadores de abundância relativa e atividade de vegetação verde. Estão associados a índice de área foliar, percentual de cobertura verde, teor de clorofila e biomassa verde. Como são calculados por meio de razões, tais métricas apresentam uma série de vantagens, como redução de ruídos associados a diferenças de iluminação, sombras de nuvens, atenuações atmosféricas e variações topográficas (JENSEN; EPIPHANIO, 2009).

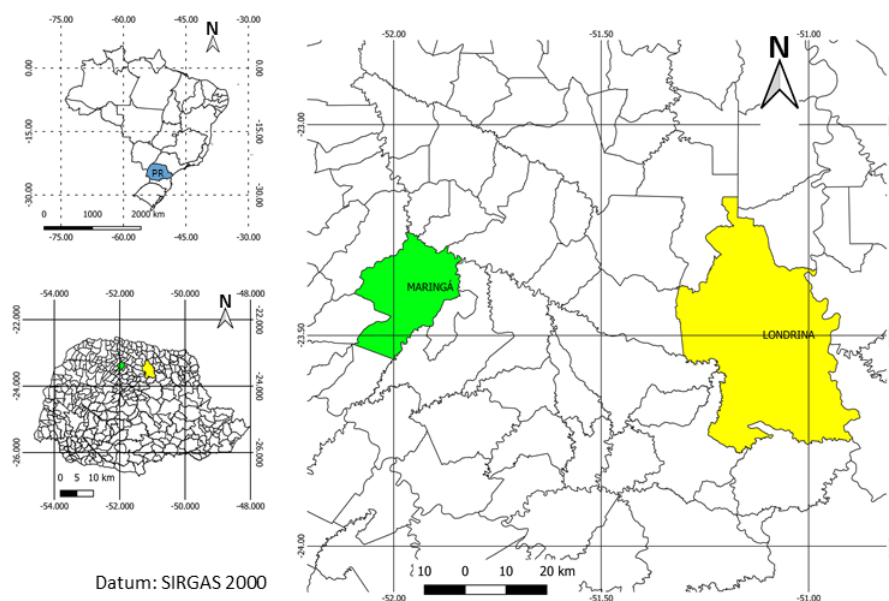
Estudo realizado nos Estados Unidos investigou a relação entre distribuição espacial de árvores em áreas urbanas e temperatura de superfície utilizando diferentes abordagens estatísticas, nas áreas de Baltimore e Sacramento. Os resultados mostraram diferenças no efeito de resfriamento gerado pelas áreas verdes para as localidades avaliadas (ZHOU; WANG; CADENASSO, 2017).

Desta forma, este trabalho tem objetivo de inferir o nível de correlação entre o NDVI e a TST no perímetro urbano dos municípios de Londrina e Maringá, estado do Paraná, e verificar a relação entre a falta de cobertura vegetal e formação de ilhas de calor nas áreas avaliadas.

MÉTODO

Localizados na região norte do estado do Paraná, praticamente na mesma latitude (Figura 1), os municípios de Londrina e Maringá são polos regionais e se destacam pelo alto nível do setor de serviços e especialidades médicas (IBGE, 2017). Sendo estes o segundo e o terceiro municípios mais populosos do estado, com 506.701 e 357.077 habitantes, respectivamente, conforme último censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística realizado em 2010 (IBGE, 2010).

Figura 1 – Área de estudo, municípios de Maringá e Londrina - PR



O método aplicado neste estudo seguiu o esquema do fluxograma da Figura 2. Os dados de entrada estão representados em amarelo, a saber: imagem de satélite adquirida em 23 de janeiro de 2018 pelo satélite Landsat 8, identificada pela órbita/ponto 222/76; dados matriciais de classificação de uso e cobertura do solo, obtidos por meio do Projeto MapBiomias (2019), referentes ao ano de 2018 para os dois municípios; limite da área urbana dos dois municípios, vetorizado a partir da imagem de satélite. As caixas verdes do fluxograma representam os resultados das análises.

Para a estimativa da TST, foi utilizada a banda 10, do infravermelho termal (sensor TIRS - *Thermal Infrared Sensor*), a qual foi convertida para temperatura de brilho (USGS, 2019).

Os valores de emissividade (e) foram gerados a partir do mapa de cobertura do solo, por meio de reclassificação, aplicando a cada classe os valores apresentados na Tabela 1.

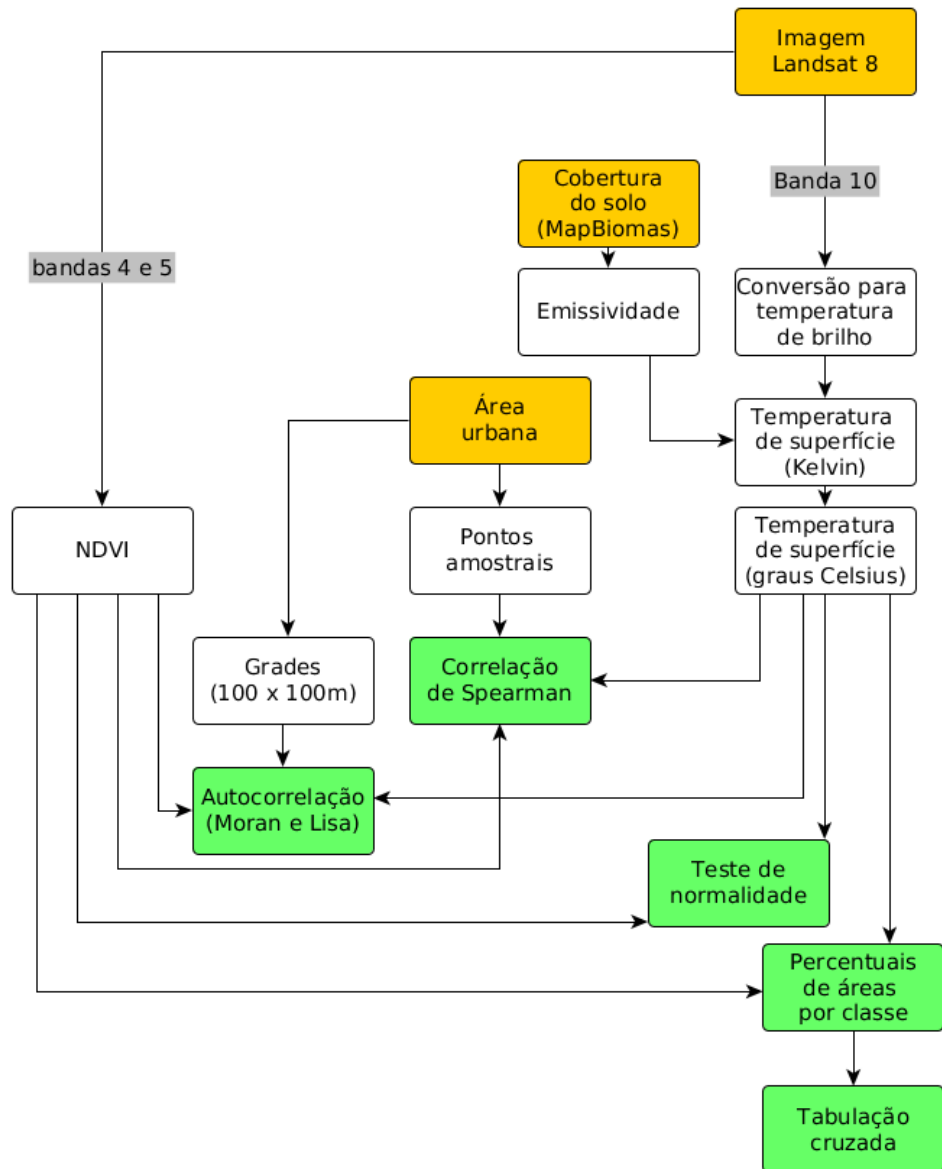
Tabela 1 – Classes e seus valores de emissividade

Superfície terrestre	Emissividade (e)
Água	0,98
Área construída	0,94
Vegetação	0,98
Solo exposto	0,93

Fonte: Adaptado de Jensen e Epiphanyo (2009).

Os dados da temperatura de brilho e emissividade foram utilizados para cálculo da temperatura de superfície em Kelvin, por meio da Equação 1.

Figura 2 – Fluxograma do estudo



Fonte: Autoria própria (2019).

$$T = \frac{T_b}{1 + \left(\frac{\lambda \cdot T_b}{c_2}\right) \cdot \ln(e)}, \quad (1)$$

onde: T = temperatura de superfície (em Kelvin), T_b = temperatura de brilho, λ = comprimento de onda do brilho emitido (para a banda 10 do Landsat 8 corresponde a 10,8 μm) e $c_2 = 14388 \mu\text{m K}$ (constante de Planck multiplicada pela razão entre a velocidade da luz e a constante de Boltzmann) e o termo e é a emissividade.

Após a transformação da emissividade em temperatura de superfície terrestre, esses valores foram convertidos em graus Celsius.

Para o cálculo do NDVI utiliza-se a reflectância nas faixas de comprimento de onda do espectro eletromagnético referentes ao vermelho (V) e infravermelho próximo (IVP), correspondentes às bandas espectrais 4 e 5 do Landsat 8, sensor

OLI (*Operational Land Imager*), respectivamente. Este índice é útil para entender a densidade da cobertura vegetal e avaliar as mudanças na saúde das plantas (ROUSE et al., 1973). É determinado conforme a Equação 2.

$$\text{NDVI} = (\text{IVP} - \text{V}) / (\text{IVP} + \text{V}). \quad (2)$$

O NDVI é um índice espectral, cujo resultado é normalizado, com valores entre -1 e 1, em que quanto maior o valor do pixel, maior é densidade de vegetação conforme descrito por Almeida et al. (2015) e Zanzarini et al. (2013). Os valores elevados de NDVI indicam áreas com maiores quantidades de vegetação fotossinteticamente ativa, formações vegetais com maior vigor ou densidade de cobertura (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

Após a obtenção dos mapas de temperatura e índice de vegetação, foram gerados 155 pontos amostrais no perímetro urbano de cada município, dos quais foram extraídos os valores de TST e NDVI. Nesses pontos, foi aplicado o teste de normalidade Shapiro-Wilk e em seguida calculada a correlação de Spearman, para verificar se há uma relação direta entre as características da arborização destes municípios e suas temperaturas.

O cálculo de percentual de área por classe, tanto para NDVI quanto para TST foi efetuado em função de classes definidas em cinco intervalos, iguais para os dois municípios. Além disso, foi realizada operação para gerar a tabulação cruzada entre NDVI e TST, a fim de verificar a interação conjunta destes parâmetros.

Para avaliar a dependência espacial, foi feita a avaliação de autocorrelação espacial, com o índice global de Moran, e com o indicador local de associação espacial ou *Local Indicator of Spatial Association* (LISA) (DRUCK et al., 2004). Tais índices dependem da definição de vizinhança e aplicam-se a dados vetoriais. Em função disso, foram definidas grades com células de resolução de 100m. Computou-se, então, a mediana do NDVI e do TST para cada elemento da grade gerada.

O índice de Moran é global, portanto, descrito por um único valor numérico para a área toda, dado pela expressão da Equação 3 (DRUCK et al., 2004).

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (z_i - \bar{z})(z_j - \bar{z})}{\sum_{i=1}^n (z_i - \bar{z})^2}. \quad (3)$$

Na equação 3, n é o número de áreas, z_i o valor do atributo considerado na área i, \bar{z} é o valor médio do atributo na região de estudo e w_{ij} os elementos da matriz normalizada de proximidade espacial, que indica quais elementos da grade são vizinhos entre si (DRUCK et al., 2004).

Já o índice LISA é local, cujo resultado é representado por um mapa, em que cada célula é comparada a sua vizinhança de acordo com a expressão representada pela equação 4 (DRUCK et al., 2004):

$$I = \frac{z_i \sum_{j=1}^n w_{ij} z_j}{\sum_{j=1}^n z_j^2} \quad (4)$$

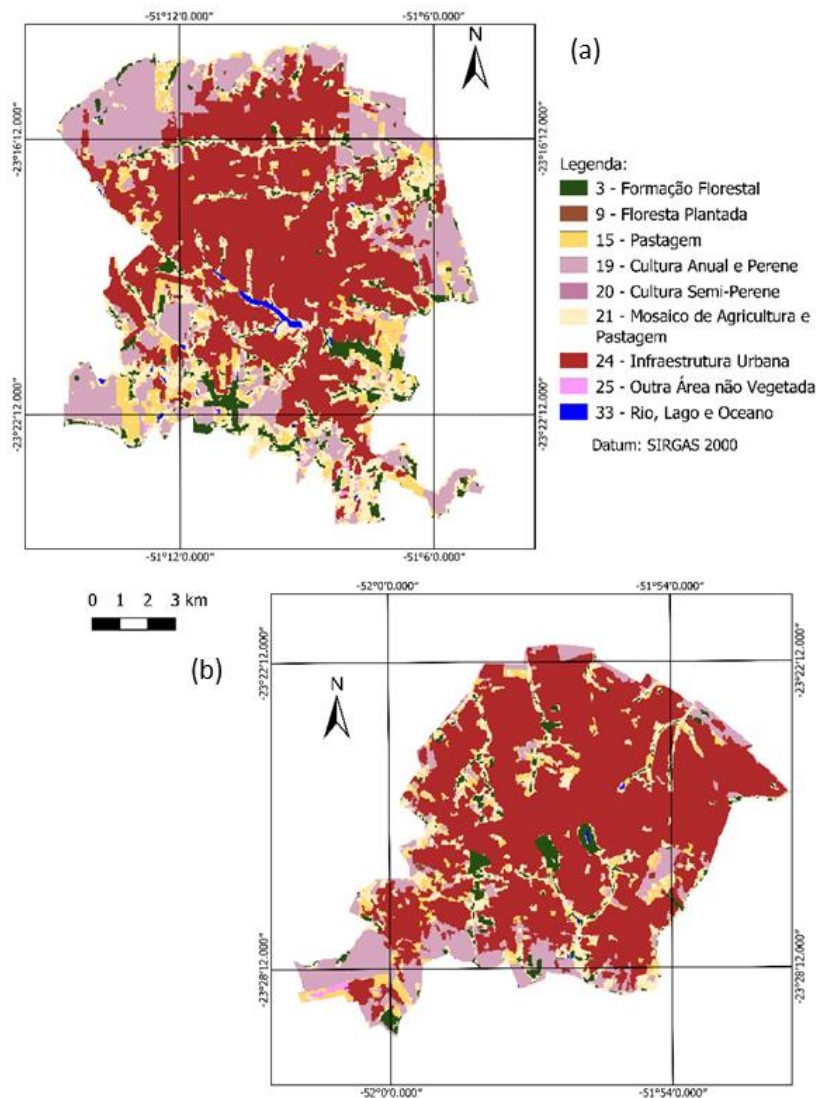
As operações de processamento das imagens foram realizadas no Sistema de Informação Geográfica QGIS, versão 3.4. O teste de normalidade e a correlação

de Spearman foram calculados no software R. A autocorrelação global e local foi processada na ferramenta GeoDA.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 3 apresenta-se os mapas de uso e cobertura do solo para Londrina e Maringá, em que se pode visualizar a região urbanizada dos dois municípios e as áreas da classe Formação Florestal. Em Londrina, as áreas verdes estão próximas a áreas de culturas, nas regiões periféricas do perímetro urbano. Já em Maringá, destacam-se três ilhas verdes na região central, que são parques urbanos. Destaca-se ainda na região central de Londrina o lago artificial Igapó.

Figura 3 – Uso e cobertura do solo nos perímetros urbanos de (a) Londrina e (b) Maringá - PR

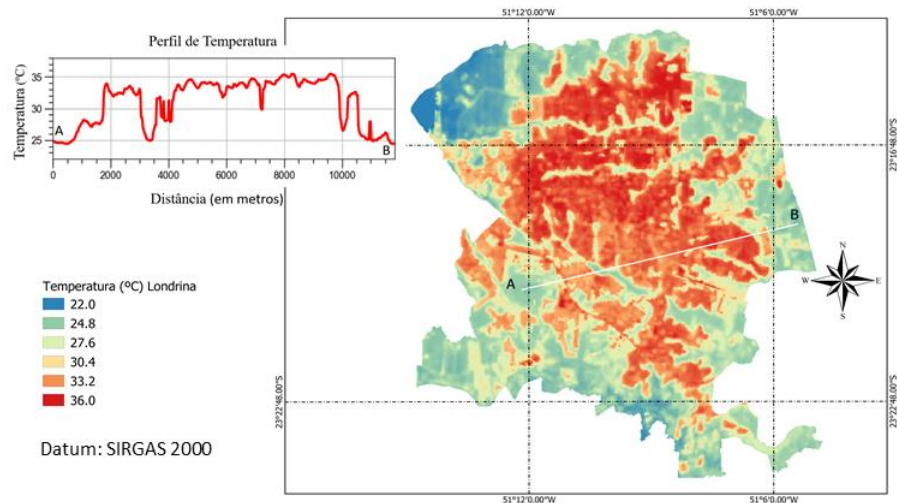


Fonte: Adaptado de MapBiomias (2019).

Pela análise do mapa de TST para a cidade de Londrina, apresentado na Figura 4, torna-se perceptível sua considerável variação espacial. As tonalidades em vermelho representam as maiores temperaturas, que coincidem com as áreas

mais urbanizadas, ou seja, com maior substituição de superfícies naturais por edificações. Nessas áreas a TST varia de 27°C a 36°C, em virtude da alta impermeabilização, que influencia diretamente na radiação emitida (ALMEIDA et al., 2015).

Figura 4 – Espacialização da Temperatura de superfície no perímetro urbano do município de Londrina - PR



Fonte: Autoria própria (2019).

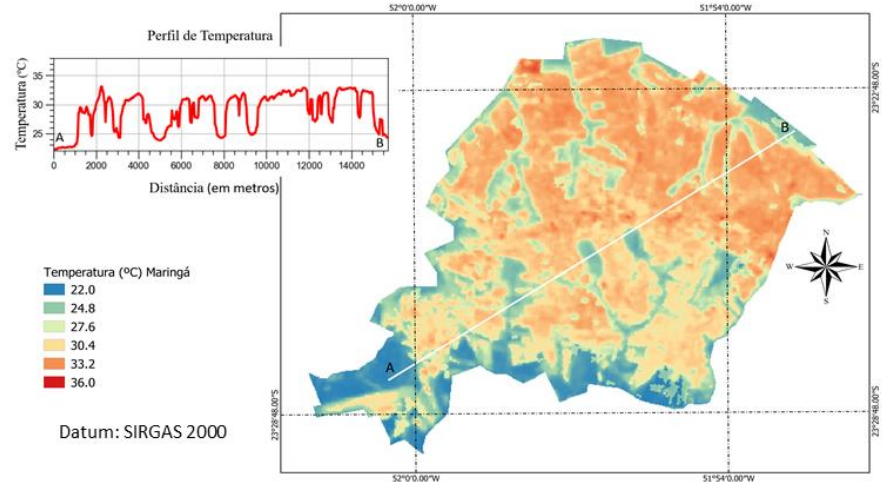
Ao longo do transecto AB, apontado na Figura 4, juntamente com o perfil de temperatura, nota-se a amplitude térmica existente. As áreas com tonalidades entre amarelo e vermelho apresentam maiores temperaturas, superando os 30°C. Nestas áreas observa-se a formação de ilhas de calor, decorrentes da urbanização. Essas ilhas de calor afetam a população, gerando desgastes físicos e desconforto. O centro de Londrina é altamente urbanizado, contando com grandes edificações e grandes áreas impermeabilizadas com pouca ou nenhuma presença de vegetação, o que colabora para a elevação da TST e, conseqüentemente, para o desconforto térmico. Por outro lado, ao observar o gráfico presente na Figura 4, em cerca de 3000 m ocorre uma queda na temperatura, que se dá pela presença do Lago Igapó, que evidencia o quanto este ambiente ameniza o calor do seu entorno.

Para a análise do perímetro urbano de Maringá, observa-se uma menor TST em relação a Londrina, principalmente no gráfico de temperatura do transecto AB, demonstrado na Figura 5.

Observando os picos de TST apresentados no gráfico apresentado na Figura 4, estes são cerca de 2°C menor que os apresentados em Londrina. Além disso, nota-se que há menos áreas correspondentes a altas TST, o que demonstra que o calor é menos intenso e está distribuído de forma mais homogênea no perímetro urbano. Apesar da grande urbanização existente em Maringá, não há formação de ilhas de calor tão evidentes como no perímetro urbano de Londrina.

Ao observar as Figuras 4 e 5, verifica-se, portanto, grandes diferenças em termos de TST entre os dois perímetros urbanos, que são facilmente perceptíveis tanto na dimensão espacial, quanto pela observação dos perfis de temperatura.

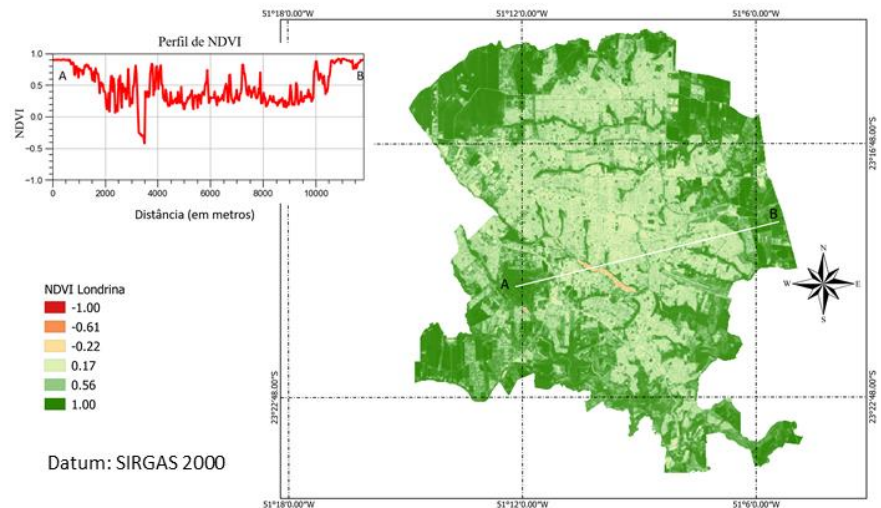
Figura 5 – Espacialização da Temperatura de superfície no perímetro urbano do município de Maringá - PR



Fonte: Autoria própria (2019).

No que se refere a cobertura vegetal, percebe-se nas Figuras 6 e 7, em que se apresenta o NDVI de Londrina e Maringá, que a diferença entre um município e outro não é tão evidente quanto aquela observada para o parâmetro TST.

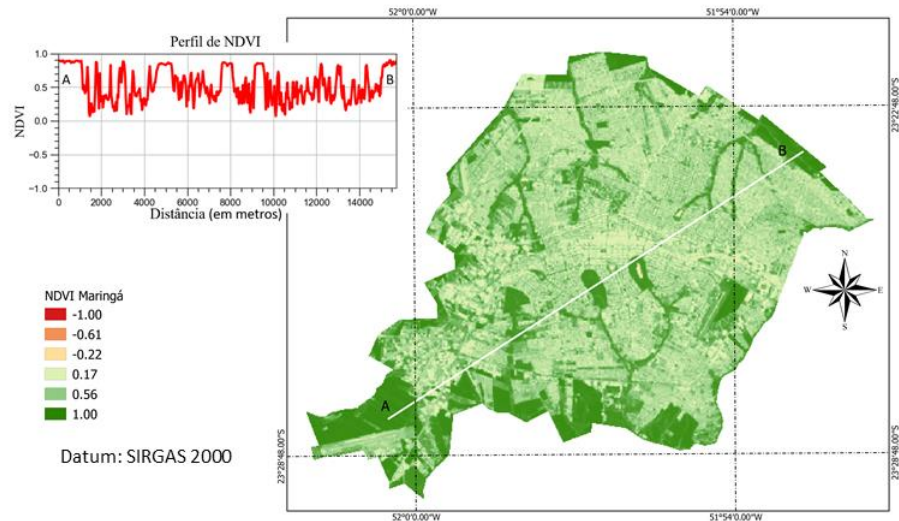
Figura 6 – Variabilidade espacial do NDVI no perímetro urbano do município de Londrina - PR



Fonte: Autoria própria (2019).

Em uma primeira análise, verifica-se que as regiões periféricas do perímetro urbano de Londrina apresentam maior concentração de áreas verdes do que as observadas em Maringá, também localizadas nos limites do perímetro urbano. Pela análise dos perfis definidos ao longo dos transectos A e B, no entanto, verifica-se um número maior de picos de NDVI no gráfico de Maringá, quando comparado ao de Londrina.

Figura 7 – Variabilidade espacial do NDVI no perímetro urbano do município de Maringá - PR

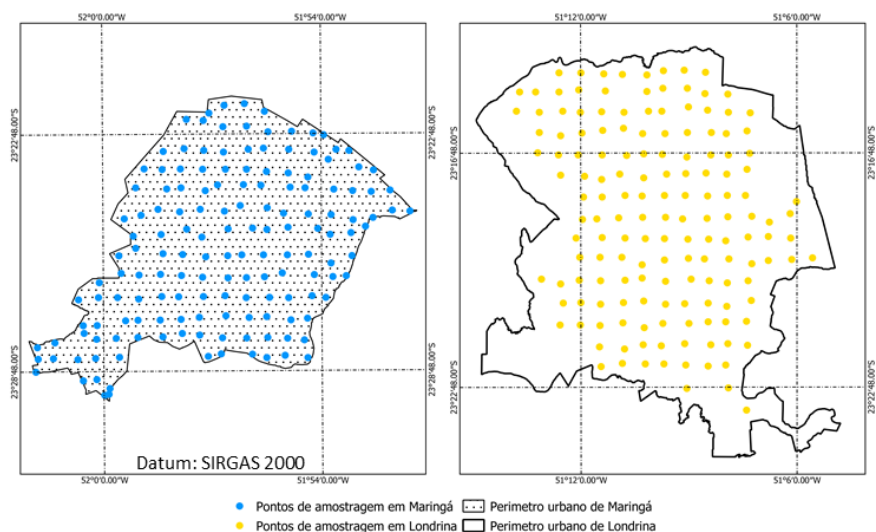


Fonte: Autoria própria (2019).

Pela observação dos mapas de TST e NDVI de cada município, percebe-se que as áreas de maiores valores de NDVI correspondem às regiões de menor temperatura, para ambos os municípios, comportamento já esperado, uma vez que em áreas de alta densidade de vegetação a TST é atenuada, gerando maior conforto térmico.

Para verificar se o comportamento observado nos perfis se mantém ao longo de toda a área, bem como qual a relação de TST e NDVI, foram definidos 155 pontos em cada perímetro urbano, como mostrado na Figura 8, em que foram obtidos os valores das duas variáveis analisadas.

Figura 8 – Pontos de amostragem nos perímetros urbanos dos municípios de Maringá e Londrina - PR

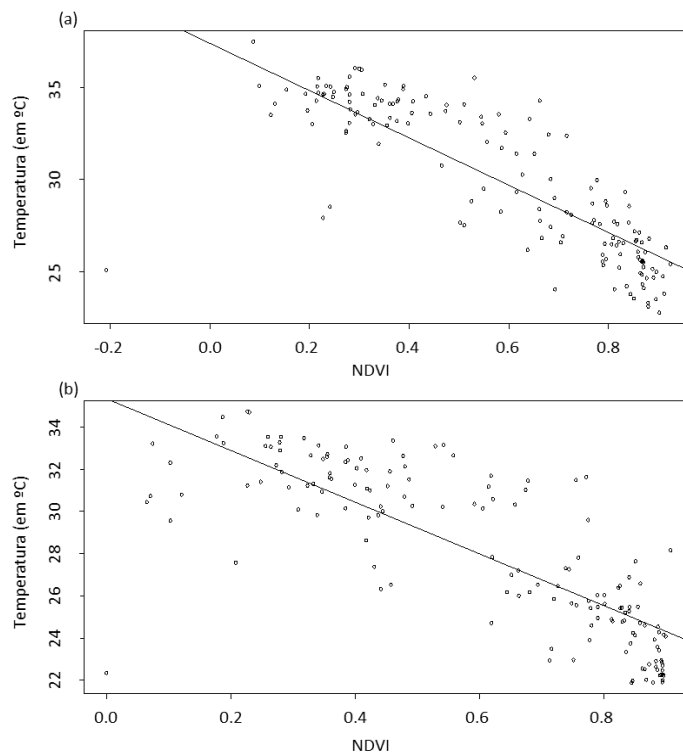


Fonte: Autoria própria (2019).

A esses pontos amostrais foi aplicado o teste de normalidade. Os resultados mostraram p-valor menor que 0,01 tanto para NDVI quanto para TST, nos dois municípios, em que se conclui que tais dados não apresentam normalidade. Em função disso foi aplicado o método de análise de correlação de Spearman, que é não-paramétrico.

A dispersão entre TST e NDVI é representada nos gráficos da Figura 9. Nota-se que a correlação é muito semelhante para os dois municípios, cujo valor para o perímetro urbano de Maringá foi de -0,81 e de -0.84 para Londrina, sendo o p-valor de $2,2 \times 10^{-16}$ para ambos os municípios. Como isso, comprova-se a forte relação negativa entre a TST e o NDVI, ou seja, os valores altos de NDVI estão fortemente relacionados às baixas TSTs, como já observado em outros trabalhos (WU et al., 2014, KUMAR; SHEKHAR, 2015; WENG; LU; SCHUBRING, 2004; YUE et al., 2007).

Figura 9 – Linha de tendência e nuvem de pontos obtido por meio da Correlação de Pearson para os perímetros urbano dos municípios de Londrina (a) e Maringá (b) - PR



Fonte: Autoria própria (2019).

Em termos espaciais, pela análise das Tabelas 2 e 3, verifica-se que Londrina tem percentual de áreas com temperaturas máximas (20%) consideravelmente maiores que Maringá (0,11%). No entanto, em termos de NDVI, a faixa de valores mais altos de Londrina corresponde a mais de 54%, enquanto para Maringá essa faixa de valores aparece em aproximadamente 35% da área. De modo geral, conclui-se, pela avaliação conjunta destas tabelas com os mapas das Figuras 3 a 6, que em Londrina há uma grande região com focos de calor na área central, em que há pouca concentração de vegetação. Já em Maringá, a temperatura é mais amena em todo o perímetro urbano, embora o percentual de cobertura vegetal não seja tão expressivo como em Londrina.

A razão disso é devido ao fato de a capacidade calorífica da superfície urbana sem cobertura vegetal ser alta, uma vez que os materiais que a constituem não apresentam evapotranspiração, o que eleva a condutividade termal dessas áreas (KUMAR; SHEKHAR, 2015).

Tabela 2 – Percentual de áreas por faixa de NDVI em Londrina e Maringá

NDVI	Área em Londrina (%)	Área em Maringá (%)
-1,0 a -0,6	0,00	0,00
-0,6 a -0,2	0,21	0,00
-0,2 a 0,2	3,82	4,59
0,2 a 0,6	41,30	60,51
0,6 a 1,0	54,67	34,89

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 3 – Percentual de áreas por faixa de TST em Londrina e Maringá

TST (°C)	Área em Londrina (%)	Área em Maringá (%)
< 25	17,54	15,53
25 a 28	29,42	18,04
28 a 31	11,60	24,12
31 a 34	20,99	42,19
> 34	20,45	0,11

Fonte: Autoria própria (2019).

Os dados de tabulação cruzada reforçam esta conclusão. Observa-se nas Tabelas 4 e 5 que Londrina tem mais de 43% da área com NDVI na faixa mais alta e TST nas duas faixas mais baixas (até 28°C). Nos mesmos intervalos, Maringá apresenta em torno de 28% da área. Tal comparação inicialmente parece contradizer as observações feitas até então. No entanto, na faixa de NDVI de 0,2 a 0,6, que está associada a área urbana impermeabilizada, Londrina apresenta um percentual expressivo da área com temperaturas altas (18%), acima de 34°C, enquanto que nesta mesma faixa de NDVI, Maringá possui percentual de área concentrado com TST abaixo de 34°C (37%).

Tabela 4 – Tabulação cruzada de NDVI e TST para Londrina (valores em percentuais de área)

NDVI	TST				
	22°C a 25°C	25°C a 28°C	28°C a 31°C	31°C a 34°C	Acima de 34°C
1,0 a -0,6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,6 a -0,2	0,03	0,17	0,00	0,00	0,00
-0,2 a 0,2	0,04	0,16	0,20	1,52	1,92
0,2 a 0,6	0,79	2,17	3,93	16,50	18,01
0,6 a 1,0	16,43	26,90	7,53	3,08	0,62

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 5 – Tabulação cruzada de NDVI e TST para Maringá (valores em percentuais de área)

NDVI	TST				
	22°C a 25°C	25°C a 28°C	28°C a 31°C	31°C a 34°C	Acima de 34°C
1.0 a -0.6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-0.6 a -0.2	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00
-0.2 a 0.2	0,05	0,13	1,73	2,65	0,03
0.2 a 0.6	0,41	4,37	18,41	37,33	0,08
0.6 a 1.0	15,02	13,52	4,01	2,25	0,00

Fonte: Autoria própria (2019).

Pela autocorrelação espacial de Moran, verificou-se que há uma dependência espacial bem evidente, tanto para NDVI quanto para temperatura, como apresentado na Tabela 6.

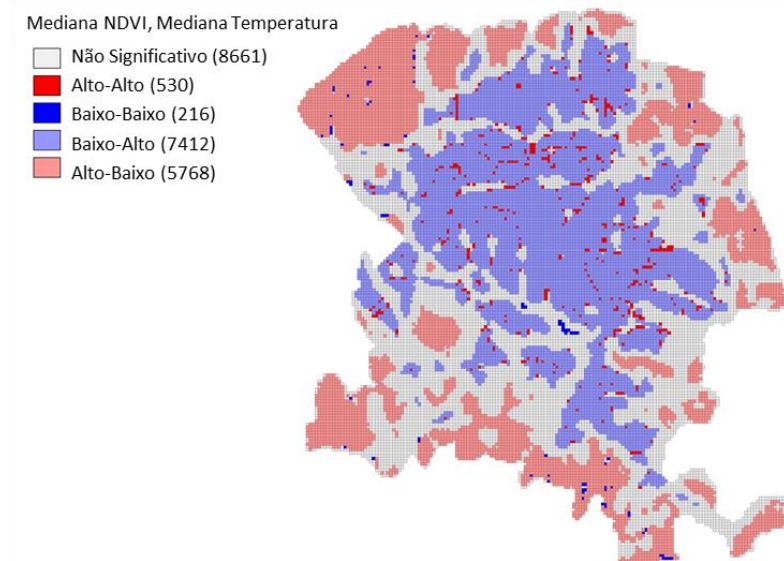
Tabela 6 – Índice de Moran para NDVI e TST nos perímetros urbanos de Londrina e Maringá

	NDVI	TST
Londrina	0,78	0,94
Maringá	0,72	0,88

Fonte: Autoria própria (2019).

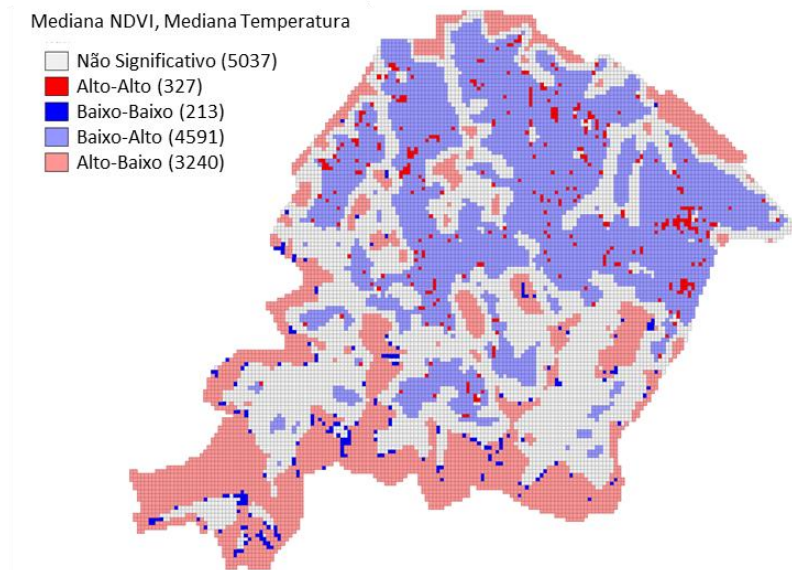
Nas Figuras 9 e 10 tem-se a distribuição espacial do indicador local de associação bivariado, que é um descritivo da dependência espacial de NDVI e TST. Em Londrina (Figura 9) tem-se a área central predominantemente descrita pela faixa Baixo-Alto, que indica valores baixos de NDVI e altos para TST, ou seja, sem cobertura vegetal e com altas temperaturas de superfície. Maringá também apresenta boa porção da área central com tais características, como observado na Figura 10. No entanto, há diversos agrupamentos da faixa Alto-Baixo na área central, os quais indicam valores altos de NDVI e baixos para TST. Destes agrupamentos, três são parques situados na área urbana de Maringá (Ingá, Pioneiros e Horto Florestal), os quais contribuem sobremaneira para atenuação da temperatura em seu entorno.

Figura 10 – Índice de Associação Local Bivariado (NDVI, TST) referente a Londrina



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 11 – Índice de Associação Local Bivariado (NDVI, TST) referente a Maringá



Fonte: Autoria própria (2019).

Assim, a principal distinção observada neste estudo é que em Londrina a cobertura vegetal concentra-se nas áreas marginais do perímetro urbano e em Maringá está melhor distribuída, aparecendo inclusive nas regiões centrais, o que explica a menor TST.

CONCLUSÃO

O Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI) e a Temperatura de Superfície Terrestre (TST) podem ser utilizados como indicadores para qualidade de vida nas áreas urbanas, no que se refere a conforto térmico. A presença de vegetação nos centros urbanos pode melhorar o microclima local e, assim,

impactar positivamente a qualidade de vida das pessoas, além de reduzir ruídos, bem como a poluição do ar.

Neste estudo foi possível analisar a relação entre a presença de vegetação e a TST nos perímetros urbanos de dois municípios, concluindo-se que na cidade de Maringá a melhor distribuição de áreas verdes urbanas melhoram o microclima, reduzindo a TST de forma mais significativa quando comparada à cidade de Londrina, na qual a presença de vegetação na área central é reduzida em relação a Maringá, e assim insuficiente para atenuar a TST do seu entorno.

A avaliação visual inicial de TST evidencia que Londrina é mais quente que Maringá no perímetro urbano. Os mapas de NDVI em análises iniciais aparentemente demonstram maior densidade maior de vegetação também para Londrina em relação ao outro município. Entretanto, as análises quantitativas de autocorrelação espacial e os dados de tabulação cruzada mostram que as áreas verdes concentram-se nas regiões periféricas do perímetro urbano de Londrina, enquanto em Maringá, há parques na região central da cidade que promovem a redução da TST.

Nas áreas onde os índices de vegetação são baixos é possível observar a formação de ilhas de calor, indicando a necessidade de recomposição da vegetação em tais regiões a fim de reduzir os impactos sobre os seus habitantes.

Percebeu-se, dessa forma, que a configuração espacial das áreas verdes é importante para melhorar o conforto térmico na área urbana. Trabalhos futuros que considerem métricas de paisagem e classificação das áreas verdes em categorias que diferenciem vegetação rasteira, arbustiva e arbórea podem ser importantes para aprimorar as conclusões obtidas neste estudo.

Vegetation index and terrestrial surface temperature: comparison between the formation of heat islands in the urban perimeters of Londrina and Maringá in PR

ABSTRACT

Urban areas are responsible for influencing the local microclimate, due to the suppression of vegetation or the replacement of agricultural crops with highly impermeable areas. These landscape changes affect the land surface temperature (LST), which can be estimated by thermal infrared data. Regarding green areas, they can be analyzed with the Normalized Difference Vegetation Index. By spatializing these indices with image data from the Landsat 8 satellite, it was possible to evaluate the relationship between them in the urban perimeters of Maringá and Londrina, state of Paraná. It was possible to determine the relation degree of vegetation and the land surface temperature, quantified using the Spearman Correlation Index and the global and local spatial autocorrelation. The results revealed a similar degree of correlation for the two areas, being -0.81 and -0.84, respectively, for Maringá and Londrina, indicating that in both cities it is strongly correlated. In spatial terms, however, it was found that in Londrina there is not enough green areas to mitigate LST in the most urbanized regions, unlike in Maringá, where the presence of vegetation cover attenuates high temperatures, improving the local microclimate and contributing to thermal comfort.

KEYWORDS: Microclimate. Spectral indices. Autocorrelation.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. J. P.; GUIMARÃES JUNIOR, S. A. M.; 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. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR**, João Pessoa-PB, Brasil, v. 25, 2047–2054. 2015.

BUYANTUYEV, A.; WU, J. Urbanization alters spatiotemporal patterns of ecosystem primary production: a case study of the Phoenix Metropolitan Region, USA. **Journal of Arid Environments**, V. 73, N. 4, p. 512-520, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2008.12.015>>. Acesso em 25 de mai. 2020.

COSTA, D. F.; SILVA, H. R.; PERES, L. F. Identificação de Ilhas de Calor na Área Urbana de Ilha Solteira – SP através da Utilização de Geotecnologias. **Revista de Engenharia Agrícola de Jaboticabal**, v. 30, n. 5, p. 974-985, set./out. 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-69162010000500019>>. Acesso em 21 abr. 2020.

DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. **Análise espacial de dados geográficos**. Planaltina, DF: Embrapa, 2004.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/downloads-estatisticas.html>>. Acesso em 30 set. 2019.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produto Interno Bruto dos Municípios**. 2017. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais9/9088-.html?edicao=18001&t=pib-por-municipio>>. Acesso em 30 set. 2019.

JENSEN, J. R.; EPIPHANIO, J. C. N. (Coord.). **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009. 598 p. ISBN 9788560507061.

KUMAR, D.; SHEKHAR, S. Statistical analysis of land surface temperature-vegetation indexes relationship through thermal remote sensing. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 121, p. 39–44, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.07.004>>. Acesso em 10 mai. 2020.

MONTEIRO, C. A de F. **Teoria e Clima Urbano**. 1. ed. São Paulo: IGEOG/USP, 1976. 181 p. (Série Teses e Monografias, 25).

NICHOL, J. Remote sensing of urban heat islands by day and night. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 71, n. 5, p. 613–621, 2005. Disponível em <<https://doi.org/10.14358/PERS.71.5.613>>. Acesso em 25 mar. 2020.

ORHAN, O.; EKERCIN, S.; DADASER-CELIK, F. Use of Landsat Land Surface Temperature and Vegetation Indices for Monitoring Drought in the Salt Lake Basin Area, Turkey. *The Scientific World Journal*, v. 2014, p. 1-11, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1155/2014/142939>>. Acesso em 10 mai. 2020.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2007. 127p.

Projeto MapBiomias – Coleção v. 4.0 da **Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil**. Disponível em <https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR>. Acesso em 20 set. 2019.

ROUSE, J.; HASS, R.; SCHELL, J.; DEERING, D. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium. **Proceedings...** Goddard Space Flight Center: NASA, 1973. pp. 309–317.

USGS - United States Geological Survey. **Global Visualization Viewer - GloVis**. 2019. Disponível em: <<https://glovis.usgs.gov/>>. Acesso em 18 set. 2019.

WANG, W.; ZHU, L.; WANG, R. An analysis on spatial variation of urban human thermal comfort in Hangzhou, China. *Journal of Environmental Sciences*, v. 16, n. 2, p. 332-338, 2004.

WENG, Q.; LU, D.; SCHUBRING, J. Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, v. 89, n. 4, p. 467–483, 2004. Disponível em <<https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.11.005>>. Acesso em 25 mar. 2020.

WU, H.; Ye, L. P.; Shi, W. Z.; Clarke, K. C. Assessing the effects of land use spatial structure on urban heatislands using HJ-1B remote sensing imagery in Wuhan, China. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 32, n. 1, p. 67–78, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jag.2014.03.019>>. Acesso em 10 mai. 2020.

Yue, W.; Xu, J.; Tan, W.; Xu, L. The relationship between land surface temperature and NDVI with remote sensing: Application to Shanghai Landsat 7 ETM+ data.

International **Journal of Remote Sensing**, v. 28, n. 15, p. 3205–3226, 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/01431160500306906>>. Acesso em 10 mai. 2020.

ZANZARINI, F. V.; PISSARRA, T. C. T.; BRANDÃO, F. J. C.; TEIXEIRA, D. D. B. Correlação espacial do índice de vegetação (NDVI) de imagem Landsat/ETM+ com atributos do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S. l.], v. 17, n. 6, p. 608–614, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/s1415-43662013000600006>>. Acesso em: 19 mar. 2020.

ZHOU, D.; XIAO, J.; BONAFONI, S.; BERGER, C.; DEILAMI, K.; ZHOU, Y.; FROLKING, S.; YAO, R.; QIAO, Z.; SOBRINO, J.A. Satellite remote sensing of surface urban heat islands: Progress, challenges, and perspectives. **Remote Sensing**, v. 11, n. 1, p. 1–36, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/rs11010048>>. Acesso em 10 mai. 2020.

ZHOU, W.; WANG, J.; CADENASSO, M. L. Effects of the spatial configuration of trees on urban heat mitigation: A comparative study. **Remote Sensing of Environment**, v. 195, p. 1–12, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.03.043>>. Acesso em 10 mai. 2020.

Recebido: 01 jun. 2020

Aprovado: 04 set. 2020

DOI: 10.3895/rbgeo.v8n4.12478

Como citar: BORGES, J. C. A.; BATISTA, L. F. A. Índice de vegetação e temperatura de superfície terrestre: comparativo entre formação de ilhas de calor nos perímetros urbanos de Londrina e Maringá no PR. **R. bras. Geom.**, Curitiba, v. 8, n. 4, p. 256-274, out/dez. 2020. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Julio Cesar Angelo Borges

Rua Maracanã, 1061, CEP 87508-350, Umuarama, Paraná, Brasil.

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

