

Intensidade e forma das ilhas de calor de superfície nos períodos seco e chuvoso do ambiente tropical: comparação entre a área urbana e o entorno rural no município de Santo Anastácio, Brasil¹.

Intensity and shape of the surface heat islands in dry and rainy periods in tropical environment: comparison between the urban area and rural surroundings in the municipality of Santo Anastácio, Brazil

Danielle Cardozo Frasca Teixeira²
Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim³

RESUMO

Este artigo teve como objetivo analisar o padrão de distribuição espacial das ilhas de calor de superfície considerando-se os períodos seco e chuvoso e a exuberância da vegetação nas áreas urbana e rural circundante de Santo Anastácio, cidade de pequeno porte do ambiente tropical continental. A aquisição de dados secundários ocorreu a partir de imagens da banda termal do satélite Landsat 8, que passaram por redimensionamento radiométrico e conversões de níveis de cinza para temperatura medida em Celsius para a geração de termografias de superfície. A caracterização biofísica da vegetação foi obtida a partir do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) utilizando-se das bandas vermelha e do infravermelho próximo do mesmo satélite. Os resultados indicaram que a distribuição das chuvas apresenta um papel modulador da exuberância da vegetação, que vincula-se aos padrões de distribuição da temperatura superficial das áreas urbanas e rurais.

Palavras-chave: Ilhas de calor de superfície; NDVI; Sensoriamento remoto; Clima urbano; Cidade pequena.

ABSTRACT

The objective of this study is to analyze the spatial distribution pattern of surface heat islands during both dry and rainy periods as well as the exuberance of vegetation in the urban and rural areas surrounding Santo Anastácio, which is a small city with a continental tropical environment. Secondary data were acquired based on the images obtained from the thermal band of the Landsat 8 satellite, which underwent radiometric scaling and in which gray levels were converted to temperature in Celsius for generating surface thermographs. Further, the vegetation was subjected to biophysical characterization by considering the normalized difference vegetation index using the red and near infrared bands observed near the same satellite. The results of this study indicated that the rainfall distribution modulated the vegetation exuberance, which could further be linked to the surface temperature distribution patterns of urban and rural areas.

Keywords: Surface heat islands, NDVI, Remote sensing, Urban climate, Small town.

¹ Resultado parcial de tese da primeira autora.

² Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia campus Presidente Prudente. Pós-Doutoranda. Email: danielle.frasca@unesp.br

³ Departamento de Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia campus Presidente Prudente. Email: margarete.amorim@unesp.br

TEIXEIRA, D. C. F.; AMORIN, M. C. C. T. Intensidade e forma das ilhas de calor de superfície nos períodos seco e chuvoso do ambiente tropical: comparação entre a área urbana e o entorno rural no município de Santo Anastácio, Brasil

1 - INTRODUÇÃO

A ilha de calor é considerada um dos maiores problemas do século XXI, capaz de fragilizar as pessoas pelo desconforto térmico e comprometer a qualidade de vida nas cidades. Essa situação é importante, pois, a maior parte da população mundial reside nas cidades existindo projeções de maior crescimento até 2030 conforme a *World Urbanisation Prospectus* (2004) (RIZWAN *et al.*, 2008).

Esse fenômeno climatológico é entendido como o excesso de calor antropogênico nas áreas urbanas em relação ao rural circundante que se forma pelas alterações em escala local, produzidas pela urbanização e pelas condições meteorológicas (OKE, 1987).

Ilhas de calor são verificadas tanto na atmosfera de nível superior (*urban boundary layer*) e inferior (*urban canopy layer*) (OKE, 1987) como também no nível da superfície, quando são designadas ilhas de calor superficiais (ICU_{superf}) (ARNFIELD, 2003; CHEN *et al.*, 2005; WENG, 2009; HUANG *et al.*, 2016; KIMUKU; NGIGI, 2017; AMORIM, 2018). Neste caso, o monitoramento ocorre por sensoriamento remoto a partir da obtenção de imagens do canal termal infravermelho dos satélites.

Nesse artigo o objetivo foi analisar o padrão de distribuição espacial das ICU_{superf} considerando-se os períodos seco e chuvoso, bem como a exuberância vegetal na área urbana e rural circundante da cidade de pequeno porte de Santo Anastácio, Brasil, localizada no Oeste do Estado de São Paulo em região de clima tropical continental.

A temperatura da superfície constitui-se numa importante possibilidade para estudos do clima urbano, pois monitora as mudanças locais produzidas pela urbanização (VOOGT; OKE, 2003; HUANG *et al.*, 2016), sendo possível detectar as fontes de calor na área urbana que favorecem a formação de ilhas de calor atmosféricas no nível do dossel urbano (AMORIM, 2017b). O monitoramento climático da ICU_{superf} consiste numa ferramenta acessível no aspecto econômico, mas limitada pela resolução temporal e espacial dos satélites e pela presença de cobertura de nuvens. Dependendo dos objetivos do trabalho, é possível realizar estudos qualitativos nesse sentido (ORTIZ-PORANGABA *et al.*, 2017).

A relação entre a temperatura do ar e da superfície ou dos alvos é inexata, pois, existe um atraso no tempo de resposta entre o aquecimento da superfície e o aquecimento do ar, especialmente quando considera-se as imagens tomadas no período

TEIXEIRA, D. C. F.; AMORIN, M. C. C. T. Intensidade e forma das ilhas de calor de superfície nos períodos seco e chuvoso do ambiente tropical: comparação entre a área urbana e o entorno rural no município de Santo Anastácio, Brasil diurno e o pico da ilha de calor atmosférica dar-se, geralmente, no período noturno (UGEDA JÚNIOR, 2013). Outra limitação para a correspondência da temperatura do ar e da superfície está no fato de que as ilhas de calor de superfície registram as maiores diferenças de temperatura entre áreas urbanas e rurais no período diurno e as menores diferenças à noite (WALKER *et al.*, 2015), que é o inverso do padrão característico da temperatura do ar e da ilha de calor atmosférica que tem seu pico no período noturno (AMORIM, 2018).

Para Arnfield (2003) a temperatura da superfície e a temperatura do ar podem exibir padrões espaçotemporais semelhantes, com a ressalva de que a temperatura do alvo possui uma causalidade mais simples do que a temperatura do ar que está acoplado às características térmicas das superfícies próximas, mas também está condicionado a outras interferências como as condições de meteorologia.

Apesar das limitações nessa correspondência, a temperatura da superfície mostra-se relevante para modular a temperatura do ar da camada inferior da atmosfera urbana, sendo um fator primário na determinação da radiação de superfície e correspondente troca de energia que interfere no conforto térmico nas cidades (WENG, 2009).

No caso da temperatura superficial, as propriedades físicas urbanas, a composição dos materiais construtivos, a cor, o albedo, o fator de visão do céu (*sky view factor*), a estrutura urbana definida pela geometria das ruas, o tráfego dos veículos e todas as atividades antrópicas são elementos importantes que influenciam na distribuição da temperatura superficial dos ambientes urbanos (CHUDNOVSKY *et al.*, 2004) e rurais.

Por isso, apesar das restrições impostas, a identificação dos alvos mais aquecidos é vantajosa aplicada no estudo do clima urbano (AMORIM, 2017b) e justifica a tomada de decisão para a mitigação das ilhas de calor superficiais.

Essas alterações térmicas superficiais são visualizadas em todos os portes de cidade, que podem apresentar grandes contrastes térmicos entre áreas urbanas e rurais, características moduladas pela ocorrência das precipitações no período próximo à captura da imagem (AMORIM, 2020).

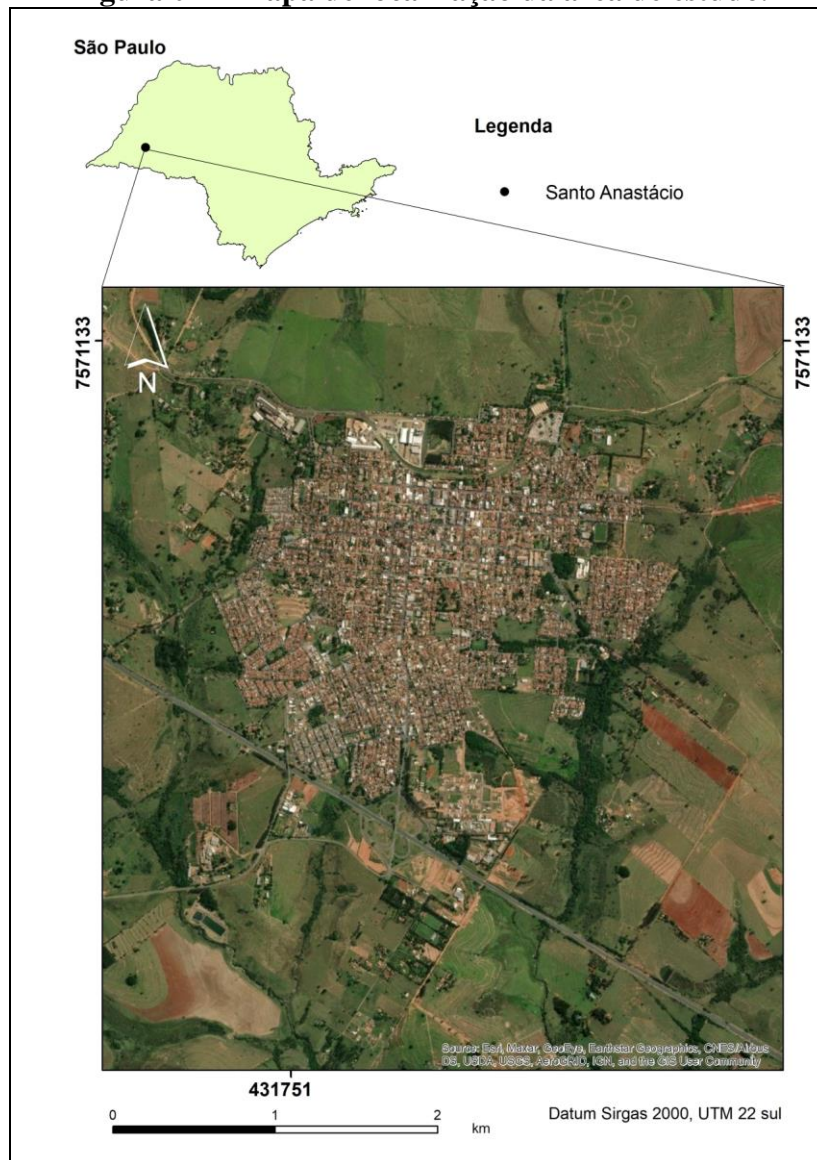
TEIXEIRA, D. C. F.; AMORIN, M. C. C. T. Intensidade e forma das ilhas de calor de superfície nos períodos seco e chuvoso do ambiente tropical: comparação entre a área urbana e o entorno rural no município de Santo Anastácio, Brasil

1.1 - Caracterização da área de estudo

Cidades localizadas sob influência do clima tropical naturalmente reúnem condições para apresentar temperaturas elevadas, porém, a ocorrência das ilhas de calor atmosféricas e superficiais potencializam o calor e o desconforto térmico aos cidadãos (TEIXEIRA; AMORIM, 2016).

Na presente investigação, considerou-se Santo Anastácio, cidade de pequeno porte localizada no oeste do estado de São Paulo, Brasil, que possui estimativa de 20.855 habitantes de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) no ano de 2021 (IBGE, 2022). A cidade está em área de ocorrência do clima tropical continental (Figura 01).

Figura 01 – Mapa de localização da área de estudo.



Fonte da base cartográfica: IBGE (2010); Esri (2021). Elaboração: das autoras (2021).

TEIXEIRA, D. C. F.; AMORIN, M. C. C. T. Intensidade e forma das ilhas de calor de superfície nos períodos seco e chuvoso do ambiente tropical: comparação entre a área urbana e o entorno rural no município de Santo Anastácio, Brasil

Como características do quadro natural, os traços climáticos marcantes da localidade são as elevadas temperaturas e a concentração das precipitações no verão com temperaturas amenas e a baixa ocorrência de precipitação no inverno (SANT'ANNA NETO; TOMMASELLI, 2009).

2 - MATERIAIS E MÉTODOS

O monitoramento da temperatura de superfície ocorre pela radiometria infravermelha, através de instrumentos que estimam indiretamente a temperatura aparente da superfície com base no brilho recebido daquela superfície que se encontra dentro do campo de visão do sensor (JENSEN, 1996).

Para esse estudo, foram tratadas as imagens do satélite *Landsat 8* (Ponto/órbita 222/075), do canal termal (banda 10 no intervalo espectral 10,30 – 11,30 μm , sensor OLI/TIRS C1, *Level 1*), que tem resolução espacial de 100 metros mas que são disponibilizadas com resolução de 30 metros no sítio eletrônico do *U.S Geological Survey* (USGS)⁴ (<http://earthexplorer.usgs.gov>).

O período de abrangência da análise compreendeu os meses de março a dezembro de 2017. Foram selecionadas as imagens tomadas nesse intervalo de tempo que não apresentassem cobertura de nuvens, como critério para estabelecimento do período de análise do monitoramento climático.

Todas as imagens foram submetidas a tratamento no aplicativo *Idrisi*® (marca da *Clark Labs*) através de parâmetros e variáveis fixas aplicadas às fórmulas extraídas do site da USGS. Tratam-se de coeficientes de redimensionamento radiométrico fornecidos a partir do arquivo de metadados (extensão MTL.txt). Por meio destas informações, foram feitas as conversões de níveis de cinza em radiância e posteriormente de temperatura Kelvin para Celsius.

Para o cálculo da radiância do topo da atmosfera foram aplicados os metadados na fórmula Eq.(1):

$$L\lambda = MLQ_{cal} + AL \quad (1)$$

Onde:

$L\lambda$ = radiância espectral do topo da atmosfera medida em Watts.

⁴ Serviço Geológico dos Estados Unidos.

TEIXEIRA, D. C. F.; AMORIN, M. C. C. T. Intensidade e forma das ilhas de calor de superfície nos períodos seco e chuvoso do ambiente tropical: comparação entre a área urbana e o entorno rural no município de Santo Anastácio, Brasil

ML= Fator multiplicativo de redimensionamento de cada banda presente nos metadados (x é o número da banda)

AL= Fator adicional de redimensionamento de cada banda contido nos metadados (x é o número da banda).

Qcal= Valores de pixel quantificados e calibrados do produto padrão (DN).

Na sequência, a banda termal foi convertida de radiância para temperatura Kelvin através dos seguintes parâmetros Eq. (2):

$$T=K2/(\ln(K1/(L\lambda+1))) \quad (2)$$

Onde:

T= Temperatura efetiva de brilho do topo da atmosfera (K).

L λ = radiância espectral do topo da atmosfera medida em Watts (Watts/(m2 * srad * μ m))

K1= Constante de conversão específica da Banda termal fornecida pelo arquivo de metadata (K1_CONSTANT_BAND_x, onde x é o número da banda termal) =774,89

K2= = Constante de conversão específica da Banda termal fornecida pelo arquivo de metadata (K2_CONSTANT_BAND_x, onde x é o número da banda termal)= 1.321,08

Finalizando o procedimento, foi realizada a conversão da temperatura Kelvin para Celsius a partir da subtração da imagem em relação ao valor de 273,15.

Diferentemente dos estudos convencionais que dedicaram-se a obtenção dos valores absolutos da temperatura dos alvos relacionando-os com as características da superfície urbana como a densidade construtiva, distribuição da cobertura vegetal, uso e ocupação da terra urbana (DORIGON; AMORIM, 2013; ORTIZ; AMORIM, 2013; TEIXEIRA; AMORIM, 2014; MOREIRA; AMORIM, 2015), no presente artigo optou-se pela abordagem qualitativa da intensidade da ICU_{superf} , pautando-se no cálculo das diferenças entre as temperaturas intraurbanas e o rural circundante (WENG, 2003; AMORIM, 2017a, b; 2018). Para tanto, o tratamento dos dados foi realizado a partir da operação matemática de subtração das temperaturas em relação a menor temperatura do recorte espacial, obtendo-se um “ponto 0”. No recorte territorial de interesse, o “ponto

TEIXEIRA, D. C. F.; AMORIN, M. C. C. T. Intensidade e forma das ilhas de calor de superfície nos períodos seco e chuvoso do ambiente tropical: comparação entre a área urbana e o entorno rural no município de Santo Anastácio, Brasil

0” coincidiu com os fundos de vale providos de fragmentos de mata presentes no perímetro urbano e no rural circundante.

Os padrões de distribuição das temperaturas superficiais das áreas urbanas e rurais vinculam-se com os materiais presentes na superfície, inclusive com a distribuição da cobertura vegetal. Estudos como o de Peng *et al.* (2018) referem a relevância do índice de vegetação para a diferenciação espacial da ICU_{superf} . A exuberância da vegetação está estritamente relacionada com os ciclos fenológicos naturais e com as condições meteorológicas como a distribuição das chuvas (JENSEN, 1996), e por esse motivo, a complementação da análise da temperatura da superfície se faz a partir do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), como forma de caracterização biofísica da vegetação via sensoriamento remoto.

O mapeamento da cobertura vegetal a partir do NDVI estima a exuberância da vegetação, considerando o intervalo de +1 a -1, sendo que quanto maior (positivo), mais vigor tem a vegetação, enquanto que menores valores (ou negativos) condizem com a menor abundância ou exuberância da cobertura vegetal.

Também obtido pelo sensoriamento remoto, o NDVI é definido como:

[...] medidas radiométricas adimensionais, as quais indicam a abundância relativa e a atividade de vegetação verde, incluindo índice de área foliar (IAF), porcentagem de cobertura verde, teor de clorofila, biomassa verde, e radiação fotossinteticamente ativa (JENSEN, 1996, p. 384).

A estimação da exuberância da vegetação foi feita no aplicativo Idrisi a partir das bandas do vermelho e do infravermelho próximo, que correspondem, respectivamente às bandas 4 (intervalo espectral 0,630 μm -0,680 μm) e 5 (entre 0,845 μm e 0,885 μm) do sensor Landsat 8.

Visando suplementar esta análise, as imagens foram diferenciadas em períodos secos e chuvosos, considerando o acumulado de precipitação no período antecedente às capturas das imagens de satélite, visto que o desenvolvimento fenológico da vegetação varia conforme a época do ano e em função da disponibilidade hídrica, condição especialmente representativa no entorno rural próximo.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o recorte territorial definido, imagens adquiridas em 12 de maio, 01 de setembro e 19 de outubro foram representativas de episódios com chuvas distribuídas

TEIXEIRA, D. C. F.; AMORIN, M. C. C. T. Intensidade e forma das ilhas de calor de superfície nos períodos seco e chuvoso do ambiente tropical: comparação entre a área urbana e o entorno rural no município de Santo Anastácio, Brasil no período anterior a passagem do satélite (30 dias). Esses exemplos são exibidos na Figura 3. Os “pontos 0” das termografias foram identificados nos fundos de vale presentes no perímetro urbano e no rural circundante de Santo Anastácio.

A ocorrência da precipitação nos dias próximos à tomada da imagem é importante para a determinação dos contrastes térmicos entre as áreas urbanas e rurais, além de interferir na intensidade da ilha de calor de superfície.

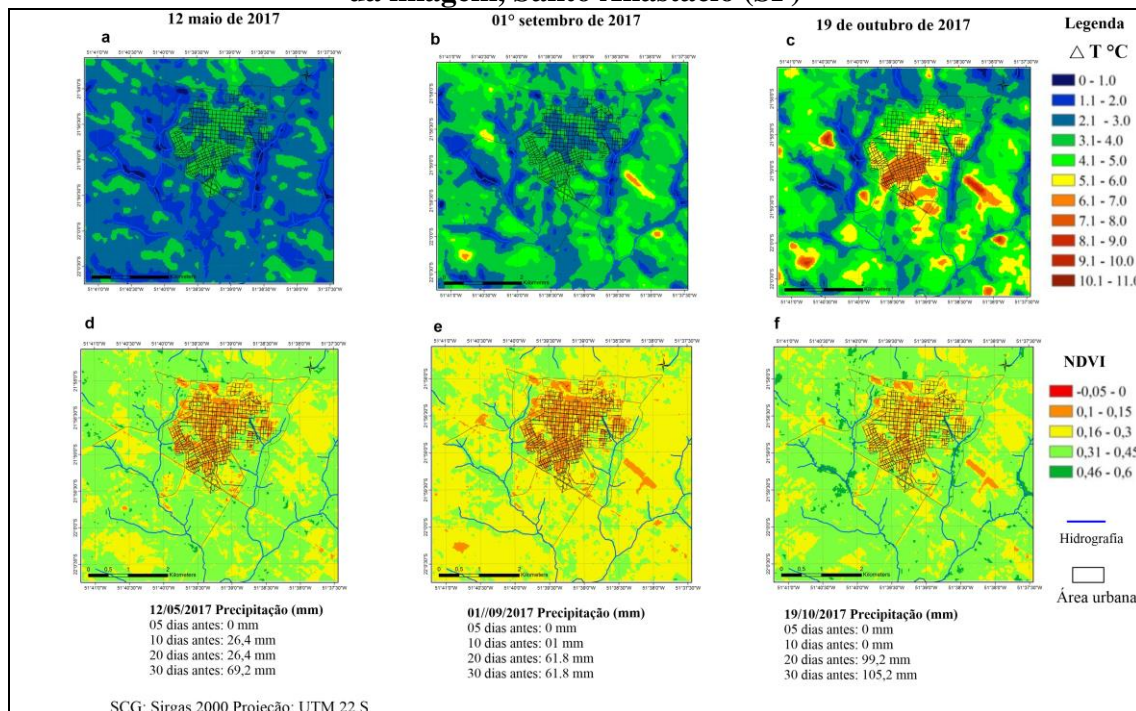
No dia 12 de maio, a ICU_{superf} se configurou em áreas urbanas. Nas áreas periurbanas com predomínio de pastagens ou solos expostos e que se assemelham a condições da superfície urbana mediante o balanço de radiação, diferenças térmicas proporcionais às da ICU_{superf} foram constatadas. Como se verifica na carta de NDVI, pelos valores estimados, a vegetação não estava bem formada posto que houve precipitação nos 10 dias antecedentes à passagem do sensor. Nestas condições, as diferenças entre o ponto 0 e as áreas mais aquecidas atingiram a intensidade de 4°C.

Em primeiro de setembro, observou-se maiores contrastes entre as superfícies urbanas, rurais e os fundos de vale. Nos 10 dias antecedentes ao episódio não ocorreu precipitação. A diferença térmica de 7°C foi diagnosticada externa à área urbana, em áreas de solos expostos de uso agrícola ou de novos loteamentos em expansão, comprovados pela menor exuberância da vegetação estimada. O perímetro urbano também se caracterizou pela ICU_{superf} , mas com intensidades que atingiram até 4°C.

A imagem tomada em 19 de outubro demonstrou padrão de maior diferenciação dos alvos rurais e urbanos. A ICU_{superf} com intensidade de 9 °C se formou na área urbana. No rural limítrofe, a diferença térmica foi semelhante, associada às feições de solo exposto (loteamentos em implantação e pastagens), relacionados aos baixos índices de NDVI, indicando pouco vigor da vegetação ou inexistência dela. Os fundos de vale compareceram como as áreas de temperaturas amenizadas em função do maior desenvolvimento e vigor da vegetação.

TEIXEIRA, D. C. F.; AMORIN, M. C. C. T. Intensidade e forma das ilhas de calor de superfície nos períodos seco e chuvoso do ambiente tropical: comparação entre a área urbana e o entorno rural no município de Santo Anastácio, Brasil

Figura 3 - Intensidade da temperatura da superfície ($\Delta T^{\circ}\text{C}$) e NDVI considerando as precipitações nos 30 dias e com 5 ou 10 dias de estiagem antecedentes à obtenção da imagem, Santo Anastácio (SP)



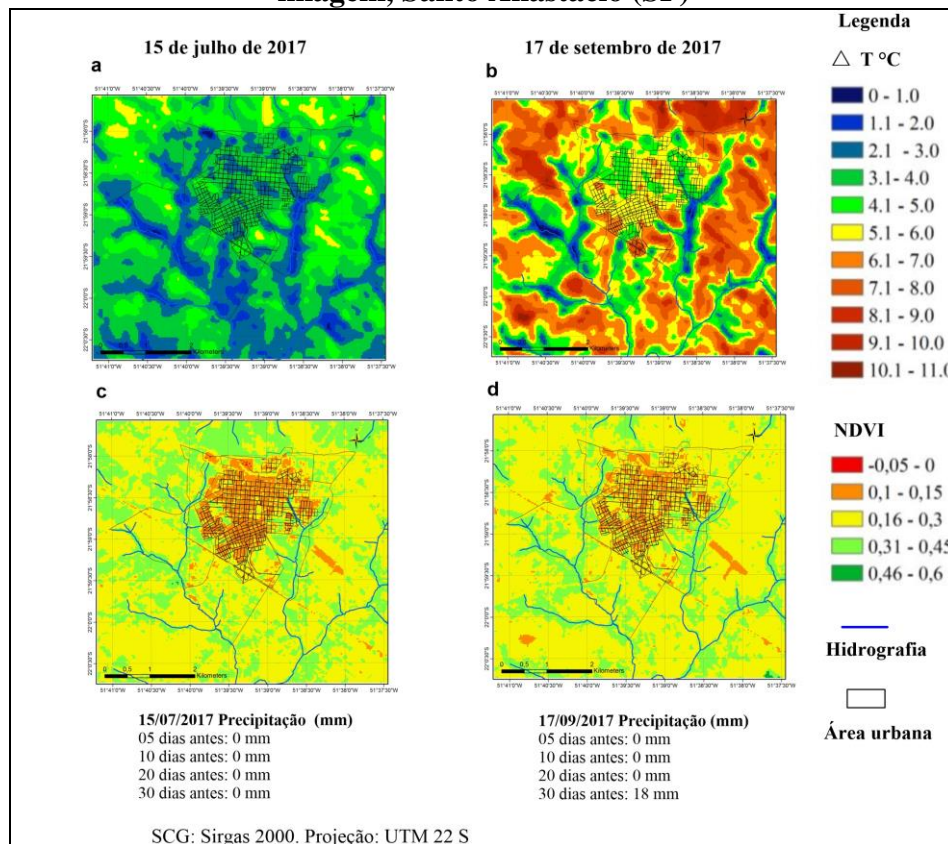
Fonte: USGS (2017); Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2017).

Do período seco foram tratadas imagens dos dias 15 de julho e 17 de setembro de 2017, que estão dispostas na Figura 4. No episódio de 15 de julho, observa-se a homogeneização entre a área urbana e o entorno rural e, na malha urbana, se verificou a ocorrência da ICU_{superf} em menor intensidade (entre 1 e 3°C) do que a diferença térmica presenciada na área rural que alcançou 6°C nas áreas com menor vigor da vegetação rasteira.

Os alvos mais aquecidos do entorno rural foram relacionados a baixos índices de NDVI, refletindo o menor vigor da vegetação no período de estiagem ou a inexistência dela, configurando solos expostos.

TEIXEIRA, D. C. F.; AMORIN, M. C. C. T. Intensidade e forma das ilhas de calor de superfície nos períodos seco e chuvoso do ambiente tropical: comparação entre a área urbana e o entorno rural no município de Santo Anastácio, Brasil

Figura 4 - Intensidade da temperatura da superfície (ΔT °C) e NDVI considerando as baixas precipitações distribuídas nos 30 dias antecedentes à obtenção da imagem, Santo Anastácio (SP)



Fonte: USGS (2017); Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2017)

Os produtos gerados para o dia 17 de setembro representam a resposta térmica dos alvos em período de estiagem, considerando as baixas precipitações nos 30 dias antes da captura da imagem. Verificou-se que ocorreu maior diferenciação entre alvos urbanos e rurais, mas as diferenças térmicas foram potencializadas atingindo 11°C nas áreas de solo exposto localizadas no rural circunvizinho, onde foram estimados baixos valores de NDVI, decorrentes do pequeno vigor da vegetação.

Os resultados demonstram que a ocorrência das chuvas apresenta um papel modulador da exuberância da vegetação, vinculando-se aos padrões de distribuição da temperatura superficial das áreas urbanas e rurais. Nesta relação, a cobertura vegetal se torna mais ou menos evaporativa em função da abundância de vegetação viçosa, o que interfere na resposta térmica das superfícies pela relação com o albedo (JENSEN, 1996).

Verificou-se, portanto, que os padrões térmicos diferenciados nas superfícies não só se vinculam à ocorrência das chuvas, mas, sobretudo, do seu registro no período próximo à captura da imagem (AMORIM, 2017b).

TEIXEIRA, D. C. F.; AMORIN, M. C. C. T. Intensidade e forma das ilhas de calor de superfície nos períodos seco e chuvoso do ambiente tropical: comparação entre a área urbana e o entorno rural no município de Santo Anastácio, Brasil

De forma genérica, chuvas ocorridas no período próximo à passagem do satélite (entre 10 e 5 dias) favoreceram a diferenciação entre alvos urbanos e rurais, com tendência às maiores intensidades térmicas localizarem-se nas feições urbanas. Outro padrão observado se refere à homogeneização da intensidade, mesmo no período chuvoso, em virtude da ausência de precipitação no período próximo à captura da imagem (entre 10 e 5 dias).

O período seco estabelece outro comportamento térmico em virtude da diminuição da biomassa vegetal, condicionando padrões pouco contrastantes entre as áreas urbanas e rurais e, dependendo da recorrência da estiagem, proporcionando diferenças térmicas realçadas nas áreas rurais e ICU_{superf} de menor intensidade, o que se explica pela redução do albedo dos solos expostos. Os resultados mostrados nas imagens representativas do período seco comprovaram, além do padrão de homogeneização, que as maiores diferenças térmicas em relação ao ponto 0 ocorreram no período de estiagem.

4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise das ICU_{superf} mostra-se como um procedimento viável de execução a nível do clima urbano e que permite, além de uma caracterização abrangente da área de estudo para uma inicial aproximação, identificar os alvos mais aquecidos que contribuem para a transferência de calor na camada atmosférica adjacente à superfície. Frequentemente, dependendo da distribuição da precipitação no período anterior à tomada da imagem pelo sensor, os alvos mais aquecidos se localizarão nas superfícies posicionadas nas áreas rurais em função da predominância e exuberância da vegetação rasteira.

Tratando-se da intensidade da temperatura dos alvos, a função moduladora das chuvas nas diferenças térmicas superficiais atesta que a ocorrência da precipitação no período próximo à captura da imagem pelo sensor favorece a distinção entre as áreas urbanas e rurais. As maiores diferenças térmicas foram presenciadas no período seco tanto na área rural próxima como na área urbana de Santo Anastácio.

Os resultados por ora verificados na presente pesquisa apresentaram padrões semelhantes àqueles verificados em outras cidades de pequeno e médio porte do Estado de São Paulo (AMORIM, 2017; MOREIRA, 2016; UGEDA JUNIOR, 2011; ORTIZ-

TEIXEIRA, D. C. F.; AMORIM, M. C. C. T. Intensidade e forma das ilhas de calor de superfície nos períodos seco e chuvoso do ambiente tropical: comparação entre a área urbana e o entorno rural no município de Santo Anastácio, Brasil (PORANGABA, 2015), porém as intensidades da temperatura dos alvos foram notadamente específicas em cada uma delas.

7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, M.C.C.T. **Teoria e método para o estudo das ilhas de calor em cidades tropicais de pequeno e médio porte**. Tese (Livre-Docência). 2017a. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, São Paulo.

AMORIM, M.C.C.T. Detecção remota de ilhas de calor superficiais: exemplos de cidades de porte médio e pequeno do ambiente tropical, Brasil. **Finisterra**, Lisboa, 105, 111-133, 2017b.

AMORIM, M.C.C.T. Spatial variability and intensity frequency of surface heat island in a Brazilian city with continental tropical climate through remote sensing. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, 9, 10-16, 2018.

AMORIM, M. C.C.T. **Ilhas de calor em cidades tropicais de médio e pequeno porte: teoria e prática**. Curitiba: Appris, 2020.

ARNFIELD, A. J. Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water and the urban heat island. **International Journal of Climatology**, 23, 1-26, 2003.

CHEN, X. L.; ZHAO, H. M.; LI, P. X.; YIN, Z. Y. Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. **Remote Sensing of Environment**. 106, 133-146, 2006.

CHUDNOVSKY, A., BEN-DOR, E., SAARONI, H. Diurnal thermal behavior of selected urban objects using remote sensing measurements. **Energy and Buildings**. 36, n. 11, 1063-1074, 2004.

DORIGON, L. P., AMORIM, M.C.C.T. Estrutura térmica da cidade de Paranavaí/PR através do Landsat 7. **Caderno Prudentino de Geografia**, n. 2, 110-129, 2013.

HUANG, F.; ZHAN, W.; VOOGT, J.; HU, L.; WANG, Z.; QUAN, J.; JU, W.; GUO, Z. Temporal upscaling of surface urban heat island by incorporating an annual temperature cycle model: A tale of two cities. **Remote Sensing of Environment**, 186. 1-12, 2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2022. Cidades (cities). Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>.

JENSEN, J. R. **Introductory digital image processing: a remote sensing perspective**. 2 ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1996.

KIMUKU, C.W.; NGIGI, M. Study of Urban Heat Island Trends to Aid in Urban Planning in Nakuru County-Kenya. **Journal of Geo-graphic Information System**, n. 9, 309-325, 2017.

MOREIRA, J. L.; AMORIM, M. C. C. T. O clima urbano de Penápolis, São Paulo, através da temperatura da superfície e de índices radiométricos. **Geosaberes**, Fortaleza, v. 6, n. 3, p. 190 – 202, 2015.

Oke, T.R. **Boundary Layer Climates**. London: Methuem & Ltd. A. Halsted Press Book, John Wiley & Sons, New York, 1987.

- TEIXEIRA, D. C. F.; AMORIM, M. C. C. T. Intensidade e forma das ilhas de calor de superfície nos períodos seco e chuvoso do ambiente tropical: comparação entre a área urbana e o entorno rural no município de Santo Anastácio, Brasil
- ORTIZ, G. F.; AMORIM, M. C. C. T. Índice de vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), temperatura da superfície e do ar na cidade de Tarumã (SP). In: **XIV Encuentro de Geógrafos da América Latina: reencuentro de saberes territoriales latinoamericanos**. Anais... Lima/Peru: UGI. XIV, pp. 1–20, 2013.
- ORTIZ-PORANGABA, G. F.; TEIXEIRA, D. C. F.; AMORIM, M.C.C.T. 2017. Procedimentos metodológicos para análise das ilhas de calor em cidades de pequeno e médio porte. **Revista Brasileira de Climatologia**. v. 21, p. 225-247, 2017.
- PENG, J.; JINGLEI, J.; LIU, Y.; LI, H.; WU, J. Seasonal contrast of the dominant factors for spatial distribution of land surface temperature in urban áreas. **Remote sensing of Environment**. n. 215, p. 255-267, 2018.
- RIZWAN, A. M; DENNIS Y.C. L; LIU C. A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. **Journal of Environmental Sciences**. 20, p. 120-128, 2008.
- SANT'ANNA NETO, J. L.; TOMMASELLI, J. T. G. **O tempo e o clima de Presidente Prudente**. Presidente Prudente: FCT/UNESP, 2009.
- TEIXEIRA, D.C. F.; AMORIM, M. Teledetection et etude du climat urbain dans des villes de petite taille dans l'état de são paulo, bresil, en episode d'ete: l'exemple de rancharia. In: **Environnement et géomatique: approches comparées France-Brésil**. Anais.... Rennes, pp. 357-364, 2014.
- TEIXEIRA, D.C. F; AMORIM, M. C. C. T. Perfil térmico noturno de cidade pequena do ambiente tropical em episódios de inverno. **Rae'ga**. n. 36, p. 208-228, 2016.
- UGEDA JUNIOR, J. C. Correlação entre a temperatura da superfície e temperatura do ar na cidade de Jales-SP. In: AMORIM, M. C. de C. T.; SANT'ANNA NETO, J. L.; MONTEIRO, A. (org.). **Climatologia urbana e regional: questões teóricas e estudos de caso**. São Paulo: Outras Expressões, 2013. p. 291-316.
- VOOGT, J. A.; OKE, T.R. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote Sensing of Environment**, n. 86, p. 370-384, 2003.
- WALKER, J.J.; BEURS, K. M., HENEBRY, G.M. Land surface phenology along urban to rural gradients in the U.S. Great Plains. **Remote Sensing of Environment**, 165, 2015.
- WENG, Q. 2003. Fractal Analysis of Satellite-Detected Urban Heat Island Effect. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. N. 69 (5), p. 555-566, 2003.
- WENG, Q. 2009. Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 1-10, 2009.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pelo financiamento à pesquisa através de bolsa e reserva técnica (Processo N° 2015/26224-8).

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPQ, pela bolsa de Pós-Doutorado Júnior (Processo n° 151597/2020-0).

TEIXEIRA, D. C. F.; AMORIN, M. C. C. T. Intensidade e forma das ilhas de calor de superfície nos períodos seco e chuvoso do ambiente tropical: comparação entre a área urbana e o entorno rural no município de Santo Anastácio, Brasil

À Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia campus Presidente Prudente e ao Grupo de Pesquisa Interações na Superfície, Água e Atmosfera – GAIA, pelo apoio institucional.