



XIX ENCONTRO NACIONAL DA ANPUR
Blumenau - SC - Brasil

ANÁLISE DA ILHA DE CALOR DE SUPERFÍCIE NA ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE
SOROCABA – SP, EM 2013 E 2020.

Fernanda Frois dos Santos (UFSCar - Universidade Federal de São Car) - fernandafrois@estudante.ufscar.br
*Arquiteta e Urbanista pela Universidade de Sorocaba (UNISO). Especialista em Políticas Públicas pela Uninter.
Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Geografia pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Campus Sorocaba*

Profª Drª Edelci Nunes da Silva (UFSCar - Universidade Federal de São Car) - Enunes@ufscar.br
Geógrafa. Professora Associada no curso de Licenciatura em Geografia e no Programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Campus Sorocaba

Prof. Dr. Marcos Roberto Martines (UFSCar - Universidade Federal de São Car) - mmartines@ufscar.br
Geógrafo. Professor Associado no curso de Licenciatura em Geografia e no Programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Campus Sorocaba

Análise da Ilha de Calor de Superfície na Área Urbana do Município de Sorocaba – SP, em 2013 e 2020.

RESUMO

O modelo de crescimento e planejamento das cidades brasileiras, baseado no espraiamento das áreas urbanas e com distâncias cada vez mais longas percorridas por automóveis são alguns dos tópicos que resultam em alterações climáticas, afetando, entre outros elementos, as temperaturas do ar e das superfícies. No caso de cidades de médio porte, esse efeito pode ser atenuado pelo menor número de habitantes, mas ainda assim é real (Sette & Ribeiro, 2011). Desta forma, este estudo tem como objetivo identificar a existência de ilhas de calor, no município de Sorocaba, situado no interior do estado de São Paulo, através do sensoriamento remoto, avaliando a temperatura superficial no mês de agosto dos anos de 2013 e 2020. Para observar as temperaturas de superfície foram utilizadas imagens do satélite Landsat 8; posteriormente, e extraídos os dados de Temperatura Superficial (LST), o Índice Normalizado por Diferença de Construção (NDBI) e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). Os resultados mostram que houve um aumento no tamanho e quantidade de ilhas de calor de superfície, provavelmente advindo da supressão da vegetação e da expansão e adensamento das áreas urbanizadas no município.

Palavras-chave: Clima Urbano. Mudanças Climáticas. Ilhas de Calor de Superfície. Planejamento Urbano. Sensoriamento Remoto.

RESUME

The growth and planning model of Brazilian cities, based on the sprawl of urban areas and the increasingly long distances traveled by cars within urban centers are some of the topics that result in climate change, affecting, among other elements, the temperatures within the urban centers. In the case of medium-sized cities, this effect can be mitigated by the smaller number of inhabitants, but it is still real (Sette & Ribeiro, 2011). Thus, this study aims to identify the existence of heat islands in the city of Sorocaba, located in the interior of the state of São Paulo, through remote sensing, evaluating the surface temperature in August in the years 2013 and 2020. To observe the remote sensing, images from the Landsat 8 satellite were used; subsequently, the Land Surface Temperature (LST), the Normalized Difference Built-Up Index (NDBI) and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) data were extracted. The results show that there was an increase in the size and quantity of surface heat islands, probably resulting from the suppression of vegetation and the increase in urbanized areas in the municipality.

Keywords: Urban Climate. Climate Change. Surface Heat Islands. Urban Planning. Remote Sensing.

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas do planeta Terra fazem parte de um processo cíclico e são derivadas de fenômenos naturais, como atividades vulcânicas intensas, alteração no eixo terrestre, entre outros. No entanto, desde 1990, pesquisas organizadas e reportadas pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC)¹ indicam que as mudanças climáticas observadas nos tempos atuais, desde o século XIX, são causadas por atividade antrópica (OGAWA 2015, IPCC 2021).

Apesar de ser um tópico atual e ter recebido impulso nas últimas décadas, a preocupação com alterações no clima em outras escalas já são observadas há anos. A partir de um estudo sobre o Clima de Londres, que comparou as áreas rurais e urbanas em 1833, Howard se tornou o pioneiro no estudo do clima das cidades. O autor observou que vários elementos do clima são alterados na área urbana em relação à área rural. A modificação da superfície da área onde se assenta a cidade tem implicações no balanço de energia, no balanço hidrológico e na ventilação da área urbana, por sua vez pode levar a alterações nos atributos climáticos, como na temperatura do ar e da superfície, na umidade do ar, na formação de neblina e precipitação (LANDSBERG 2006).

Muitos outros estudos foram desenvolvidos nas décadas posteriores, principalmente em países do Hemisfério Norte, porém, durante muito tempo, os estudos focavam apenas nas diferenças entre as áreas urbanas e rurais. A partir dos anos 70, os estudos passaram a tentar compreender como o ordenamento das cidades, em escala intraurbana, impacta na atmosfera e busca apontar soluções para amenizar efeitos causados pela ilha de calor urbana² (LANDSBERG 2006, GARTLAND 2010).

Para maior compreensão do clima urbano cabe citar Oke (1978 citado em Oke et al 2017), com um dos estudos que mais contribuíram nesta área. Além de detalhar as escalas urbanas, trazendo os conceitos de mesoescala, escala local e microescala, o autor ainda apresenta as camadas da atmosfera urbana – a *Urban Boundary Layer*, camada de ar que engloba a cidade, a *Urban Canopy Layer*, área abaixo da altura de elementos de ‘rugosidade’ (edificações, vegetação, tudo que possa interferir na circulação do ar e temperatura) ou seja, zona em que ocupamos, e ainda a *Rural Boundary Layer*, superfície das áreas rurais, que possui um microclima e características diversas das anteriores. Cada camada realiza trocas térmicas entre si, fazendo com que cada área da cidade tenha microclima diferente, configurando o que se chamou de clima urbano (OKE et al 2017).

¹ Criado em 1988 pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) e pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), o IPCC é uma organização de governos membros das Nações Unidas, cujo objetivo é fornecer aos governos informações científicas que possam usar para desenvolver políticas climáticas. Os relatórios do IPCC (seis até o momento, o primeiro foi criado em 1990) são uma contribuição importante sobre mudanças climáticas (IPCC, 2021).

² Ilhas de calor são áreas onde a temperatura do ar é aumentada em relação a áreas do entorno, até mesmo à noite. Isso se dá por diversos fatores, como a alta densidade de materiais que não absorvem a radiação solar (asfalto, concreto, metal, entre outros), bastante encontrados em áreas urbanas, além da supressão de vegetação urbana e falta de cursos d’água. A forma e o tamanho exatos desse fenômeno variam de acordo com as características meteorológicas, locais e urbanas (Oke, et al., 2017).

Diferente dos estudos da ilha de calor atmosférica onde são tomadas as temperaturas ao nível do solo urbano dentro da UCL (*Urban Canopy Layer*), as ilhas de calor de superfície são identificadas através da análise de imagens térmicas e, são correspondentes às temperaturas da cidade no nível dos telhados (FIALHO 2012). Enquanto a primeira permite detecções pontuais em meio a malha urbana, a segunda possibilita uma visão ampla da área urbana, facilitando a detecção das ilhas de calor, para que as áreas afetadas possam ser posteriormente estudadas (OKE et al 2017).

A facilidade de acesso aos dados de satélites e tecnologias de geoprocessamento permitiram a mensuração e captação de diversas informações relacionadas à atmosfera e ao uso do solo. Lombardo (1985) em estudo pioneiro, no Brasil, identificou a Ilha de Calor Urbana no município de São Paulo, utilizando 45 pontos de coleta de temperatura do ar e imagens termais; com isso, foi possível verificar a variação diurna, sazonal e espacial das ilhas de calor. Ribeiro (1996) estudou a diferença de temperatura do ar em estações diferentes e em distintas coberturas do solo, apresentando a variação diurna e sazonal e avaliando as diferenças das respostas térmicas em diferentes usos de solo urbano, através de três estações fixas e a temperatura da superfície gerada com imagem termal de satélite. Tarifa e Armani (2001) estudaram os microclimas naturais e urbanos do município de São Paulo e mostram o mosaico microclimático que se formou com os diferentes tipos de ocupação e uso do solo urbano.

O estudo de ilhas de calor nas cidades pode ser um indicador para a elaboração de políticas e planos municipais, já que cada uma apresenta diversidade única de microclimas (Assis et al 2007). Quando o estudo dos microclimas da cidade é levado em conta no planejamento urbano, podem ser adotadas medidas que atenuam eventos extremos e ocorrência de ilhas de calor, bolsões de poluição atmosférica e diferenças locais no fluxo dos ventos (DUARTE e SERRA 2003).

Neste sentido, este artigo tem o objetivo identificar a existência de ilhas de calor de superfície, no município de Sorocaba, através do sensoriamento remoto, a partir da temperatura de superfície no mês de agosto dos anos de 2013 e 2020. Busca-se avaliar os efeitos do uso e ocupação do solo nas temperaturas superficiais e na formação das ilhas de calor urbana e subsidiar possíveis políticas que possam amenizar os seus efeitos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Localização da área de estudo

O estudo foi realizado na área urbana de Sorocaba (Figura 1), uma cidade de médio porte no sudoeste do interior paulista, com uma população municipal estimada de 695.328 habitantes, 450,382 km² de área territorial e densidade demográfica de 1.304,18 hab./km² (IBGE, 2020). A cidade é um dos mais importantes polos industriais do estado de São Paulo e do Brasil e compõe, juntamente com outros 25 municípios, a Região Metropolitana de Sorocaba (RMS), criada em 2014, com um PIB (Produto Interno Bruto) de R\$77,9 bilhões, ocupando o 12º lugar na Lista de Regiões Metropolitanas Brasileiras por PIB (2018) (IBGE 2020).

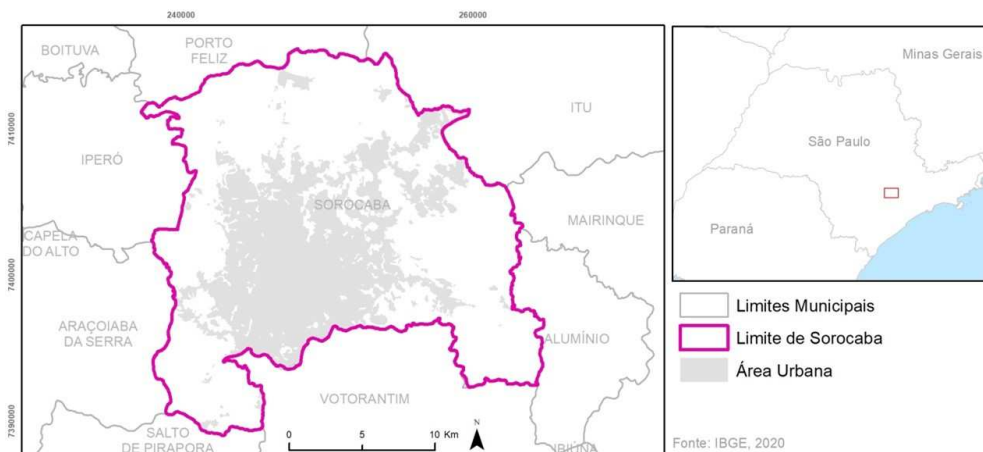


Figura 1 - Localização da área de estudo. Fonte: (IBGE, 2020)

O município é cortado ao norte pelo Trópico de Capricórnio, sendo assim corresponde a uma área de transição entre os climas Tropicais e Subtropicais. Do ponto de vista dinâmico a região é influenciada por sistemas tropicais e extratropicais, sendo atingida por massas de ar tropicais e polares, passagens frontais, instabilidades e a zona de convergência do atlântico sul que, no verão, confere o aumento dos totais de chuva. A intercalação das massas quentes e frias confere outra característica que são as oscilações diárias e interdiária das temperaturas. No inverno é frequente a entrada de anticiclones polares vindos do sudeste. O ar polar faz as temperaturas baixarem de modo que podem ocorrer temperaturas negativas e geadas; este mesmo fenômeno também dificulta a formação de chuva (MONTEIRO 1973, SILVA, RODRIGUES e PISTILLI 2020).

2.2. Elaboração da Temperatura Aparente da Superfície

Chamamos de temperatura de superfície o fluxo de calor dado em função da energia que é absorvido e refletido de um determinado corpo. Esta relação é de grande importância para o conhecimento e compreensão das interações entre a superfície terrestre e a atmosfera e pode auxiliar a compreensão de diversos fenômenos ligados às dinâmicas climáticas (ZIBOGNON, CRAGO e SULEIMAN 2002; ROSAS, HOUBORG e MCCABE 2017).

Para obtenção da estimativa de temperatura de superfície foi utilizada a banda 10 do satélite LandSat 8, nas datas 07/08/2013 e 07/08/2020. O recorte temporal visou buscar o maior intervalo possível entre as imagens disponíveis na plataforma United States Geological Survey (USGS). O mês de agosto foi escolhido por representar o mês mais seco do ano, caracterizado na maior parte do tempo por tempo estável e com pouca nebulosidade. Para essa estimativa iniciou-se com a conversão dos níveis de cinza em radiância espectral (TOA), de acordo com a Equação 1 (BARSÍ et al. 2014):

Eq.1

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L$$

Onde:

L_{λ} = radiância espectral ($\frac{W}{m^2} sr \mu m$);

M_L = fator multiplicativo de redimensionamento da banda (0,0003342);

Q_{cal} = valor quantizado calibrado do pixel em nível de cinza (DN);

A_L = fator aditivo de redimensionamento da banda (0.1000).

Em seguida, procedeu-se a conversão da radiância espectral para a temperatura de superfície, conforme a Equação 2 (BARSI et al. 2014):

Eq. 2

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1\right)}$$

Onde:

T = temperatura sem correção atmosférica em Kelvin;

K_1 = a constante de calibração 1 (774,89 para banda 10);

L_{λ} = radiância espectral ($\frac{W}{m^2} sr \mu m$).

Por fim, as temperaturas de superfície foram convertidas para graus Celsius (°C), conforme a Equação 3:

Eq. 3

$$T_1 = T - 273.15$$

Onde:

T_1 = temperatura sem correção atmosférica em Graus;

T = temperatura sem correção atmosférica em Kelvin;

2.3. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

O cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é uma aplicação dos processos de realce por operações matemáticas entre bandas de sensores, frequentemente utilizado na estimação de biomassa, na estimação de cobertura vegetal e na detecção de mudanças de padrão de uso e cobertura da terra (SHIMABUKURO et. Al. Duarte, 1998). O NDVI é calculado de acordo com a Equação 4 (MEERA GANDHI et al. 2015):

Eq. 4

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

Onde:

NDVI = índice de Vegetação por Diferença Normalizada;

NIR = refletância no comprimento de onda correspondente ao Infravermelho Próximo (0,76 a 0,90 μm);

R = refletância no comprimento de onda correspondente ao Vermelho (0,63 a 0,69 μm).

2.4. Índice Normalizado por Diferença de Construção (NDBI)

O Índice Normalizado por Diferença de Construção (NDBI) é largamente utilizado na identificação de áreas urbanas, pois "apresenta a diferença normalizada entre as bandas do infravermelho médio (SWIR) e o infravermelho próximo (NIR)"; o resultado mostra pixels de valores negativos para vegetação e corpos d'água e positivos para áreas construídas e solos expostos, tornando-se assim possível identificar áreas construídas (PRATES e LACERDA 2020).

O índice foi criado por Zha, Gao e Ni (2003) e apresenta a diferença normalizada entre as bandas do infravermelho médio (SWIR) e o infravermelho próximo (NIR), sendo calculado da seguinte forma (SARAIVA et al. 2012):

Eq.5

$$NDBI = \frac{MIR - NIR}{MIR + NIR}$$

onde:

NDBI = Índice Normalizado por Diferença de Construção;

MIR (medium infra red) é o infravermelho médio, operando na faixa de 1,550 a 1,75µm;

NIR (near infra red) é o infravermelho próximo, entre 0,76 e 0,90µm.

2.5. Ilha de Calor de Superfície

A definição das áreas com características de ilhas de calor foram obtidas a partir da Equação 6, que resultou na média ponderada de agosto de 2013, em seguida adotou-se os valores de 3°C acima da média de cada cena como áreas indicativas dessas anomalias:

Eq.6

$$\bar{x} = \frac{\sum(x_i f_i)}{\sum f_i}$$

Onde:

x_i = valor de pixel

f_i = frequência acumulada

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do NDBI, NDVI e temperaturas de superfície para o mês de agosto dos anos de 2013 e 2020 são apresentados na Figura 2. A partir da leitura visual da Figura 2 A1 (2013) e A2 (2020) observam-se uma ligeira expansão e forte adensamento de áreas construídas nestes oito anos.

A expansão e o adensamento ocorrem, principalmente, na região nordeste da cidade, referente aos bairros do distrito industrial (Éden e Aparecida), na região norte, referente ao eixo de expansão urbana de bairros populares como o bairro São Bento e Habiteto, bem como de condomínios fechados dirigidos à classe média e média alta como o Golden Park Residence, no extremo norte, onde foi construído um grande conjunto habitacional dirigido às populações de baixa renda denominado Carandá. Observa-se também área no sul da cidade um forte adensamento, na região do bairro Campolim, uma área de uso misto, destinada às classes média e média alta, de expansão residencial, comercial, de serviços e financeira da cidade de Sorocaba (BURGOS 2015).

A Figura 2 B1 (2013) e B2 (2020) mostra o NDVI, ou seja, o indicador de área verde na área urbana de Sorocaba. A leitura visual das imagens aponta que houve um aumento na supressão da vegetação urbana em todas as direções. A imagem referente a 2013 mostra que a escassez de vegetação acompanhava os eixos viários e a área central da cidade. Em 2020, é possível perceber que a supressão da vegetação é expandida em todas as direções e se torna ainda mais acentuada na área central da cidade.

Com relação às temperaturas de superfície (LST), mostradas na Figura 2 C1 (2013) e C2 (2020) é possível verificar que temperaturas mais elevadas antes predominantes áreas muito pequenas espalhadas pela mancha urbana, na região central e algumas manchas no setor norte e nordeste do município, passaram a ocupar uma área maior da mancha urbana e, principalmente, no extremo norte e nordeste, e intensificaram-se nas regiões central e naquela de expansão financeiro/comercial.

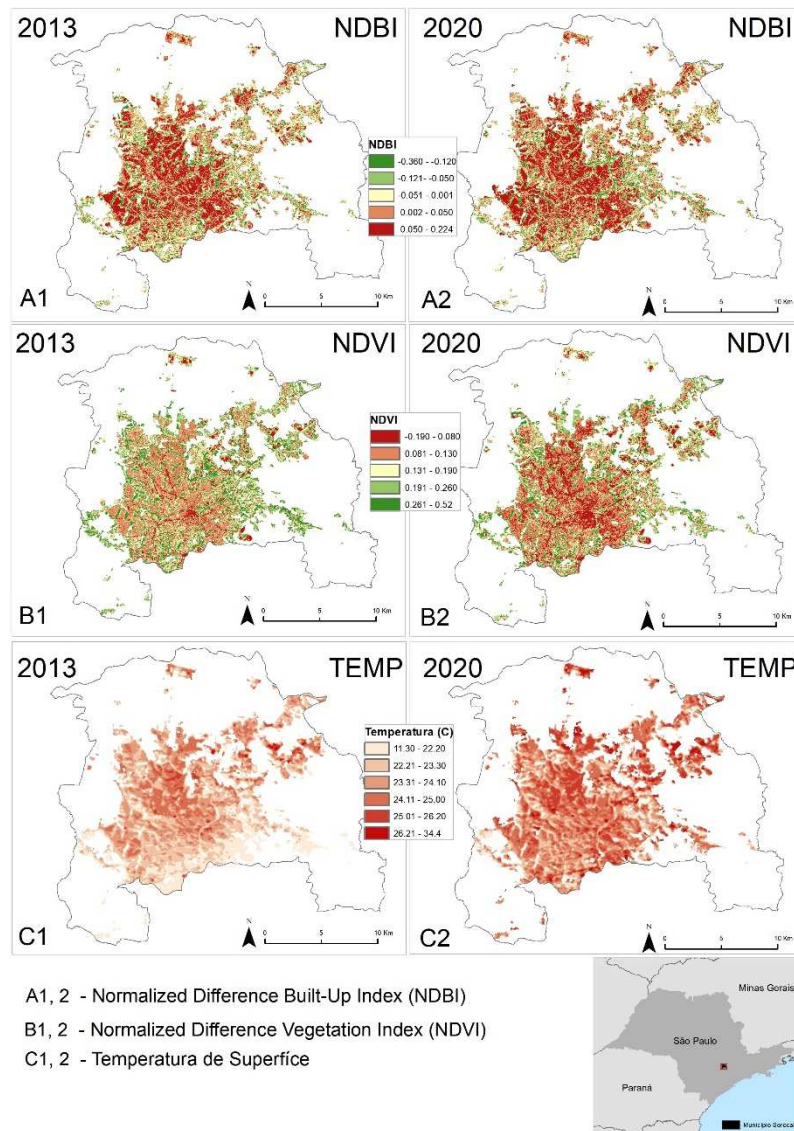


Figura 2 - Resultados de NDBI (A1 e A2), NDVI (B1 e B2) e Temperatura de Superfície (C1 e C2) nos anos 2013 e 2020. Elaborado por Marcos Roberto Martines.

A Figura 3 A (2013) e B (2020) mostram as ilhas de calor de superfície. No ano de 2013 as ilhas de calor estão espalhadas pela mancha urbana de forma mais rarefeita, mas concentradas no setor norte/nordeste. As ilhas maiores estão localizadas à nordeste da área urbana. Em 2020, observa-se o maior adensamento das ilhas de calor e seu espalhamento por toda área urbana de forma fragmentada.

A Figura 3 C, corresponde à superposição das Figuras 3 A (2013) e 3 B (2020), mostra que as ilhas de calor observadas em 2013 continuam presentes em 2020, no entanto elas aumentaram de tamanho. Visualmente, as figuras

indicam que o maior adensamento de construção NDBI (Figura 2 – B1, B2) acompanham o menor índice de vegetação (NDVI) e as maiores temperaturas de superfície (LST). Também é possível inferir que a ocorrência das ilhas de calor de superfície (Figura 3) e sua expansão pode estar relacionada a supressão de superfícies com vegetação, canalização de cursos d'água, expansão de vias públicas e ao adensamento de áreas construídas.

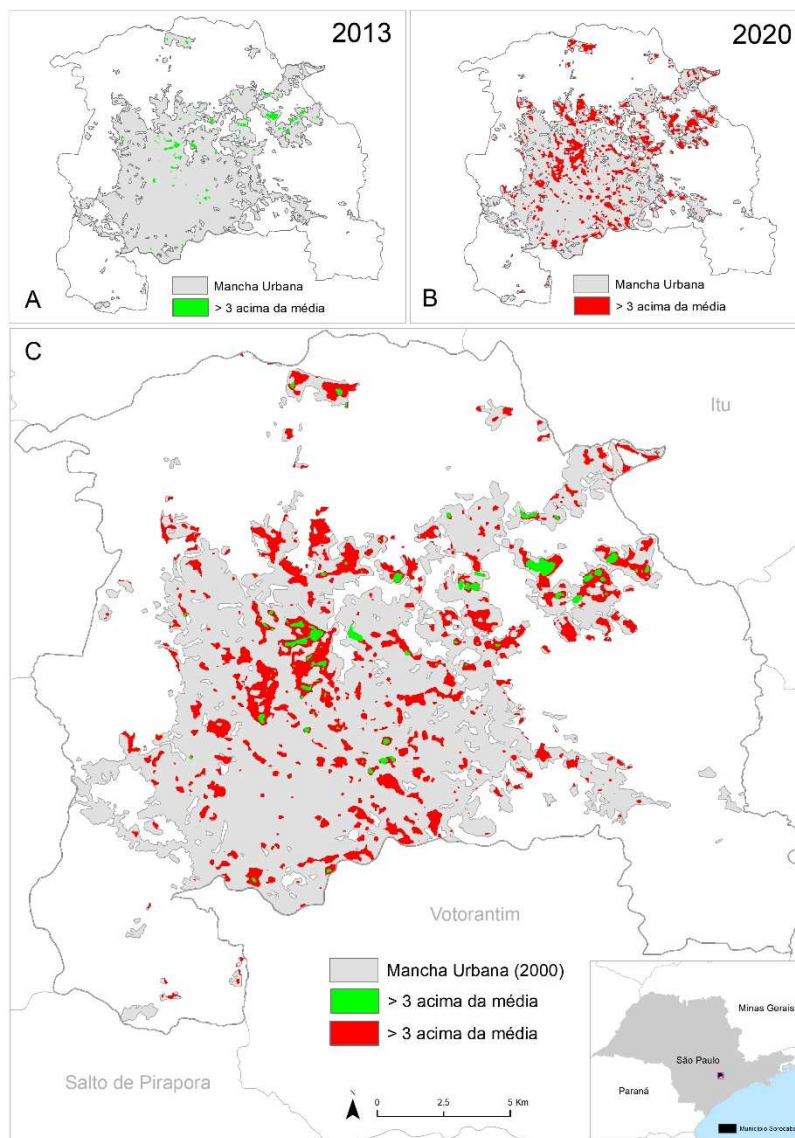


Figura 3 - Comparação das ilhas de calor em 2013 (A), 2020 (B) e sobreposição das ilhas de calor nos dois anos (C). Elaborado por Marcos Roberto Martines.

Shinzato (2009) estudou o impacto da vegetação no microclima urbano em São Paulo, através das análises de temperatura superficial, pontos de medição de temperatura e umidade do ar e simulações computacionais com a vegetação local, com o objetivo de analisar as condições microclimáticas e o efeito da vegetação em áreas urbanas; o estudo apontou que as áreas gramadas aqueceram até 6°C a menos que áreas pavimentadas com asfalto e essa diferença chega a 20°C quando comparada a área pavimentada com as sombras das árvores.

As temperaturas de superfície são influenciadas pelas seguintes condições: período (dia ou noite), quantidade de água (seco ou

úmido), cor (clara ou escura) e posição (sombreada ou exposta). Em consequência, a temperatura do ar corresponde ao aquecimento das superfícies, sendo que nas áreas das cidades a temperatura é mais elevada do que em parques (SHINZATO 2009).

O resultado do estudo mencionado acima mostrou a importância de utilizar a vegetação no espaço urbano, a fim de amenizar o efeito das ilhas de calor; porém, considera que é mais eficiente a distribuição da vegetação ao longo do desenho urbano, do que grandes maciços em um único espaço (SHINZATO 2009).

Barros e Lombardo (2016) estudaram a ilha de calor em São Paulo utilizando imagens térmicas do Landsat 5 e analisando as variáveis de temperatura de superfície, índice de área foliar, padrões de uso do solo e classificação termal da ilha de calor urbana. Da mesma maneira, os autores apontam que a principal causa da intensidade da ilha de calor urbana é a ausência ou pequenas quantidades de vegetação; e indica que o segmento que mais apresentou relações com a ilha de calor foram os armazéns (galpões), indústrias, comércios e serviços devido a abundância de asfalto, concreto e telhados de zinco, amianto e alumínio. Esse ambiente aumentou a diferença da temperatura de superfície em relação a ambientes rurais em mais de 8°C (BARROS e LOMBARDO 2016).

Além disso, é muito necessário expandir o arboreto urbano e as áreas verdes em geral, pois, mesmo quando em meio a condensadas áreas urbanas, os distritos com altos índices de biomassa vegetal apresentam características de ilhas de frescor (BARROS e LOMBARDO 2016, pág. 09).

Assim, considera-se a análise da temperatura de superfície no meio urbano como um método eficiente para o estudo das ilhas de calor e clima urbano de cidades médias e grandes, pois permite relacionar elementos como cobertura e uso do solo, vegetação e cursos d'água, podendo auxiliar nas investigações do campo térmico atmosférico, bem como no planejamento urbano e na orientação de políticas em diversos setores, a partir da sua composição nos indicadores de meio ambiente, saúde, economia, entre outras áreas.

4. CONCLUSÃO

O estudo apresentado foi realizado com base em imagens de satélite, mostrando as ilhas de calor de superfície. Os dados mostraram que o comportamento das temperaturas de superfície na malha urbana é heterogêneo, indica que a supressão da vegetação e o adensamento das áreas construídas podem contribuir com o aumento das temperaturas. Observou-se, também que houve aumento no adensamento, nas temperaturas de superfície e diminuição da área de vegetação no intervalo de oito anos, além de uma expansão das ilhas de calor de forma fragmentada.

Além de apontar que existem ilhas de calor de superfície em Sorocaba, os resultados deste estudo mostraram que houve um crescimento considerável no tamanho das manchas existentes em relação a 2013, bem como um aumento no número de manchas referentes a ilhas de calor de superfície em 2020.

Porém, há limitação no estudo, uma vez que as temperaturas observadas são referentes ao nível da camada de superfície, ou seja, nível dos telhados, não representando a camada em que habitamos a UCL (*Urban Canopy Layer*), onde acontece a ilha de calor atmosférica.

Para a atenuação das ilhas de calor urbanas torna-se necessária a criação de políticas públicas ambientais, a atualização de índices de ocupação e permeabilidade, bem como a utilização dos instrumentos urbanísticos para balizar na tomada de decisões e no planejamento da cidade, especificando o uso e a ocupação do solo e incentivando o aumento de áreas verdes em espaços urbanos, promovendo o conforto ambiental. Alguns exemplos que podem contribuir no conforto em espaços urbanos são o uso de coberturas verdes, o incentivo de térreo livre para circulação em edifícios comerciais e multiuso; a proibição do trânsito de veículos no centro urbano, criando 'calçadas' permeáveis e ruas arborizadas; e políticas de preservação e conservação das áreas periurbanas existentes.

REFERÊNCIAS

- ASSIS, E. S. D., RAMOS, J. G. L., SOUZA, R. V. G. D. & CORNACCHIA, G. M. M. Aplicação de dados do clima urbano no desenvolvimento de planos diretores de cidades mineiras. *IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído*, 08 a 10 Agosto, 152-161, 2007.
- BARROS, H. R., LOMBARDO, M. A. A ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo em São Paulo-SP. *Geosp - Espaço e Tempo*, v.20, 160-177.
- BARSI, J. A. ; SCHOTT, J. R. ; HOOK, S. J.; RAQUENO, N. G.; MARKHAM, B. L.; RADOCINSK, R. G. Landsat-8 Thermal Infrared Sensor (TIRS) Vicarious Radiometric Calibration. *Remote Sensing*, ed.6, 11607-11626, 2014.
- BURGOS, R. Pesquisa qualitativa: reflexões geográficas a partir de um estudo de caso sobre as contradições urbanas da cidade de Sorocaba - SP. *Geographia Meridionalis*, ed.01, v.01, 145-159, 2015.
- DUARTE, D. H. S., SERRA, G. G. Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental brasileira: correlações e proposta de um indicador. *Ambiente Construído*, 7-20, 2003.
- FIALHO, E. Ilha de calor: reflexões acerca de um conceito. *ACTA Geográfica*, Issue Ed. Esp. Climatologia Geográfica, 61-76, 2012.
- GARTLAND, L. *Ilhas de calor : como mitigar zonas de calor em áreas urbanas*. São Paulo: Oficina de Texto, 2010.
- GOMES, P., LAMBERTS, R. O estudo do clima urbano e a legislação urbanística: considerações a partir do caso Montes Claros, MG. *Ambiente Construído*, ed.9, v.1, 73-91, 2009.
- IBGE, 2020. *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Cidades e Estados - Sorocaba*. [Online] Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp/sorocaba.html> [Acesso em 27 Novembro 2021].
- IBGE, 2020. *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Produto Interno Bruto dos Municípios 2018*. [Online] Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101776_informativo.pdf [Acesso em 27 Novembro 2021].

- IPCC, 2021. *Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Online] Disponível em: <https://www.ipcc.ch/about/> [Acesso em 29 Novembro 2021].
- LANDSBERG, H. E. O Clima das Cidades. *Revista do Departamento de Geografia*, 95-111, 2006.
- LOMBARDO, M. A. *A ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo*. São Paulo: Hucitec, 1985.
- MEERA GANDHI, G., PARTHIBAN, S., NAGARAJ THUMMALU, A. NDVI: Vegetation change detection using remote sensing and gis: A case study of Vellore District. *Procedia Computer Science*, ed.57, 1199-1210, 2015.
- MONTEIRO, C. *A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo: estudo geográfico sob forma de atlas*. São Paulo: Laboratório de Climatologia, 1973.
- OGAWA, F. S. *Análise das projeções de mudanças climáticas do quinto relatório do IPCC dentro das áreas protegidas brasileiras*, Rio Claro: Universidade Estadual Paulista, 2015.
- OKE, T. *Boundary Layer Climates*. 2nd edition ed. London and New York: Methen, 1978.
- OKE, T., MILLS, G., CHRISTEN, A., VOOGT, J. *Urban Climates*. Cambridge: Cambridge University Press, 2017.
- PRATES, L., LACERDA, C. Comparação entre o uso de NDVI, NDBI e classificação não-supervisionada para avaliação da expansão urbana. *12ª Jornada Científica e Tecnológica*, 1-14, 2020.
- RIBEIRO, H. *Ilha de calor na cidade de São Paulo: sua dinâmica e efeitos na saúde da população*. Tese de Livre-docência: Faculdade Saúde Pública da Universidade de São Paulo, 1996.
- ROSAS, J., HOUBORG, R., MCCABE, M. Sensitivity of landsat 8 surface temperature estimates to atmospheric profile data: A study using modtran in dryland irrigated systems. *Remote Sensing*, ed.9, v.10, 988, 2017.
- SARAIVA, L., CONCEIÇÃO, A., JESUS, N., FURTADO, A. Caracterização temporal do município de Campinas usando NDVI, NDBI e Temperatura de Superfície. *6º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica - CIIC 2012*, 2012.
- SETTE, D., RIBEIRO, H. Interações entre o clima, o tempo e a saúde humana. *Interfacehs*, ed.6, v.2, 37-51, 2011.
- SHIMABUKURO, Y.E.; BATISTA, G.T.; MELLO, E.M.K.; MOREIRA, J.C.; DUARTE, V. Using shade fraction image segmentation to evaluate deforestation in Landsat Thematic Mapper images of the Amazon region. *International Journal of Remote Sensing*, ed.3, v.19, 535-541, 1998.
- SHINZATO, P. *O impacto da vegetação nos microclimas urbanos*. São Paulo: Dissertação de mestrado: Tecnologia da Arquitetura. FAUUSP, 2009.
- SILVA, E. N., RODRIGUES, P. L., PISTILI, A. F. S. Interações entre escalas climáticas na cidade de Sorocaba, São Paulo. Em: MOURA, et al [org.]. *Climatologia geográfica: do local ao regional e dimensões socioambientais*. João Pessoa: UFPB, 64-82, 2020.
- TARIFA, J.R., ARMANI, G. Os climas urbanos. TARIFA, J.R., AZEVEDO, T.R., [org.]. *Os climas na cidade de São Paulo: teoria e prática*. São Paulo: FFLCH/USP, 47-70, 2001.

ZHA, Y., GAO, J., NI, S. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban. *International Journal of Remote Sensing*, ed.4, v.3, 583-594, 2003.

ZIBOIGNON, M., CRAGO, R., SULEIMAN, A. Conversion of radiometric to aerodynamic surface temperature with an anisothermal canopy model. *Water Resources Research*, ed.31, v.6, 3-1-3-6, 2002.