

## **O Fenômeno de Ilhas de Calor e o Papel da Arborização Urbana Para Mitigá-lo: Um Estudo em Ituverava, Região Nordeste do Estado de São Paulo, Brasil**

*The Heat Island Phenomenon and the Role of Urban Afforestation in Mitigating It: A Study in Ituverava, Northeast Region of the State of São Paulo, Brazil*

*El Fenómeno de la Isla de Calor y el Papel de la Forestación Urbana en su Mitigación: Un Estudio en Ituverava, Región Noreste del Estado de São Paulo, Brasil*

### **Fabiana Gorricho Costa**

Mestre, UNESP, SP, Brasil  
Especialização, UNINOVE, SP, Brasil  
fabianagc2@hotmail.com

### **Lucas Henrique do Carmo Garcia**

Especialização, UNINOVE, SP, Brasil  
lucashcg29@gmail.com

### **Andreza Portella Ribeiro**

Professora Doutora, UNINOVE, SP, Brasil  
andrezp@uni9.pro.br

### **Anderson de Oliveira**

Mestre, UNINOVE, SP, Brasil  
anderx100@gmail.com

## RESUMO

O crescimento das cidades e o seu entorno tem, em sua relação com o ambiente natural, causado impactos ambientais que transformam severamente o clima local e influenciam a qualidade de vida das pessoas. O objetivo desta pesquisa foi analisar o fenômeno Ilhas de Calor Urbanas (ICU) na cidade de Ituverava/SP, por meio da análise comparativa em imagens de satélite, dos anos de 2014 e 2021, e indicar o potencial da infraestrutura verde urbana para reduzir os efeitos das ilhas de calor. Espera-se que esta pesquisa forneça informações que possibilitem destacar a obrigatoriedade do fortalecimento das políticas públicas verdes brasileiras no contexto urbano. Pode-se considerar que no município ocorre o fenômeno Ilhas de Calor Urbano, apresentando uma sensação de desconforto térmico, devido às áreas degradadas, solo exposto do entorno da área urbana, ausência de sombreamento de árvores, etc. A avaliação usando as simulações do software I-Tree Canopy também contribuiu para evidenciar os potenciais benefícios da arborização urbana, em relação à qualidade do ar, na qual para mitigar os efeitos do fenômeno e proporcionar conforto térmico em áreas urbanas, é urgente a adoção de medidas para aumentar e distribuir melhor as áreas com vegetação verde, principalmente em volta e no centro da cidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sensoriamento remoto, Ilha de calor urbano, Arborização urbana, I-Tree canopy, Ituverava-SP.

## ABSTRACT

*The growth of cities and their surroundings has, in their relationship with the natural environment, caused environmental impacts that severely transform the local climate and influence people's quality of life. The objective of this research was to analyze the Urban Heat Islands (ICU) phenomenon in the city of Ituverava/SP, through comparative analysis in satellite images, from the years 2014 and 2021, and to indicate the potential of urban green infrastructure to reduce effects of heat islands. It is hoped that this research will provide information that will make it possible to highlight the mandatory strengthening of Brazilian green public policies in the urban context. It can be considered that the Urban Heat Islands phenomenon occurs in the municipality, presenting a sensation of thermal discomfort, due to degraded areas, exposed soil around the urban area, absence of tree shading, etc. The evaluation using I-Tree Canopy software simulations also contributed to highlight the potential benefits of urban afforestation, in relation to air quality, in which to mitigate the effects of the phenomenon and provide thermal comfort in urban areas, it is urgent to adopt measures to increase and better distribute areas with green vegetation, mainly around and in the center of the city.*

**KEYWORDS:** Remote sensing, Urban heat island, Urban forestry, I-Tree canopy, Ituverava-SP.

## RESUMEN

*El crecimiento de las ciudades y su entorno ha provocado, en su relación con el entorno natural, impactos ambientales que transforman severamente el clima local e influyen en la calidad de vida de las personas. Esta investigación tuvo como objetivo analizar el fenómeno Islas de Calor Urbano (UCI) en la ciudad de Ituverava/SP, a través de análisis comparativo en imágenes de satélite, de los años 2014 y 2021, e indicar el potencial de la infraestructura verde urbana para reducir la Efectos de isla de calor. Se espera que esta investigación proporcione información que permita resaltar el fortalecimiento obligatorio de las políticas públicas verdes brasileñas en el contexto urbano. Se puede considerar que en el municipio se presenta el fenómeno de las Islas de Calor Urbano, presentándose una sensación de malestar térmico, debido a áreas degradadas, suelo expuesto alrededor del casco urbano, falta de sombra de los árboles, etc. La evaluación utilizando las simulaciones del software I-Tree Canopy también contribuyó a resaltar los beneficios potenciales de la forestación urbana, en relación con la calidad del aire, en la que para mitigar los efectos del fenómeno y brindar confort térmico en las zonas urbanas, es urgente adoptar medidas. aumentar y distribuir mejor las áreas con vegetación verde, principalmente alrededor y en el centro de la ciudad.*

**PALABRAS CLAVE:** Teledetección, Isla de calor urbana, Forestación urbana, I-Tree canopy, Ituverava-SP.

## 1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas constituem, na atualidade, uma das principais ameaças ao ser humano. Diante disto e da crescente expansão urbana, Trindade *et al.* (2017) alertam sobre os impactos que a substituição do meio natural por áreas construídas pode provocar. Segundo o último Censo Demográfico (IBGE, 2010), 84% da população brasileira reside em áreas urbanas. Os processos de industrialização impulsionaram o crescimento e avanço das cidades, fazendo com que pessoas habitassem essas regiões à procura de melhores condições de vida. Com o uso intensivo do solo urbano, as grandes devastações do meio ambiente foram necessárias, já que havia a necessidade de espaço para o homem se instalar (CABRAL, 2013).

Para Torresani (2016), os gestores de cidades e municípios enfrentam grandes problemas relacionados ao uso e ocupação do solo, devido à elevada e acelerada demanda por habitação e ocupação de locais impróprios aliadas à falta ou deficiência de planejamento urbano, prejudicando a capacidade de suporte dos ecossistemas urbanos. Para Cavalcante *et al.* (2020), o crescimento desordenado das cidades brasileiras tem resultado em conturbados processos antropogênicos, ocasionando transformações severas na atmosfera local, influenciando diretamente a qualidade de vida dos cidadãos, uma vez que os dosséis urbanos são compostos por diversos materiais com características específicas de capacidade calorífica, condutividade e difusividade térmica que, conseqüentemente, influenciam diretamente o conforto - ou desconforto - térmico.

Segundo Vieira e Biondi (2008), o desenvolvimento do espaço urbano tem sido um dos principais responsáveis pela perda de cobertura arbórea nas cidades e, conforme afirmam Ortiz e Amorim (2011), a falta de planejamento urbano tem contribuído para o surgimento de problemas ambientais, a partir de perdas na qualidade do ar, com a poluição atmosférica, a formação de ilhas de calor e aumento das temperaturas, entre outros. De fato, a substituição da cobertura natural, por área edificada, contribui para o aumento da temperatura do ar e da superfície, pois os materiais de construção absorvem e retêm maior quantidade de radiação solar em comparação com áreas naturais, originando o fenômeno denominado “Ilha de Calor Urbana (ICU)” (GARTLAND, 2010).

Nucci (2008) afirma que uma das principais consequências das ICU é a alteração da circulação atmosférica local, a qual diminui a dispersão de poluentes atmosféricos em seu interior e, por consequência, eleva as temperaturas. Estudos de Silva *et al.* (2014) relacionam que o surgimento das ICU provoca o desconforto térmico e podem ser responsáveis, principalmente, pela complicação dos problemas respiratórios e cardiovasculares.

Dentre os vários benefícios da conservação da cobertura vegetal, destacam-se o aumento da qualidade de vida humana, a partir de benefícios físicos e mentais para o homem em relação ao meio urbano como: filtragem de poeira e de partículas sólidas em suspensão no ar, absorção de dióxido de carbono no ar, função recreativa, ser fundamental para a sobrevivência e conservação da fauna (FÁVARO e STIPP, 2003; CABRAL, 2013).

Quanto ao diagnóstico e monitoramento das mudanças no uso e cobertura do solo, expansão urbana e temperatura da superfície, estudos destacam o sensoriamento remoto como ferramenta ideal para análise da superfície terrestre, através de imagens de satélites (VIEIRA e MACHADO, 2018; PRINA e TRENTIN, 2016). O processamento digital possibilita a identificação e análise de ICU, por meio da banda do infravermelho termal, que são transformadas em

temperaturas aparentes da superfície, sendo possível realizar o mapeamento da temperatura da superfície terrestre (CORRÊA et al., 2012; VIEIRA e MACHADO, 2018; PRINA e TRENTIN, 2016).

A mitigação dos efeitos de ICU pode ser feita usando duas técnicas: (i) aumentar a taxa de albedo, com materiais refletores sobre a superfície da infraestrutura cinzenta da cidade (construção de telhados e paredes, pavimentos e estradas), para absorver menos calor, e (ii) usar árvores e outras vegetações que permitem resfriar a temperatura ambiente (KLEEREKOPER et al., 2012; NURUZZAMAN, 2015). Com foco na vegetação, o manejo adequado de espécies arbóreas e outras plantas pode fornecer sombra à infraestrutura cinzenta, ajudando a reduzir a temperatura local. Resfriamento adicional também será obtido com a evapotranspiração das árvores, um método natural, usando o calor do ar para evaporar a água e liberar a umidade para a atmosfera (RICHARDS et al., 2020).

O crescimento das cidades apresenta nexos com o aumento do fenômeno ICU e o papel das árvores para controlar a temperatura do ar (EPA, 2008; KLEEREKOPER et al. 2012; AMORIM e DUBREUIL, 2017; ESCOBEDO et al., 2019; FARHADI et al., 2019). De acordo com Yue et al., (2019) a maioria dos estudos sobre o tema foram conduzidos nas cidades da Europa e América do Norte; assim, verificam-se oportunidades para a realização de pesquisas nos países em desenvolvimento, como o Brasil.

Nesse sentido, o artigo tem como objetivo principal analisar a presença do fenômeno de ICU em Ituverava, pequena cidade do interior de São Paulo, na qual se verifica que a utilização de infraestrutura verde, como as árvores urbanas, não faz parte do planejamento urbano, o que poderia trazer benefícios em termos de conforto térmico e paisagísticos. Trata-se de um estudo pioneiro realizado com dados coletados da cidade que indicam se as condições da infraestrutura verde interferem no microclima local.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Área de Estudo

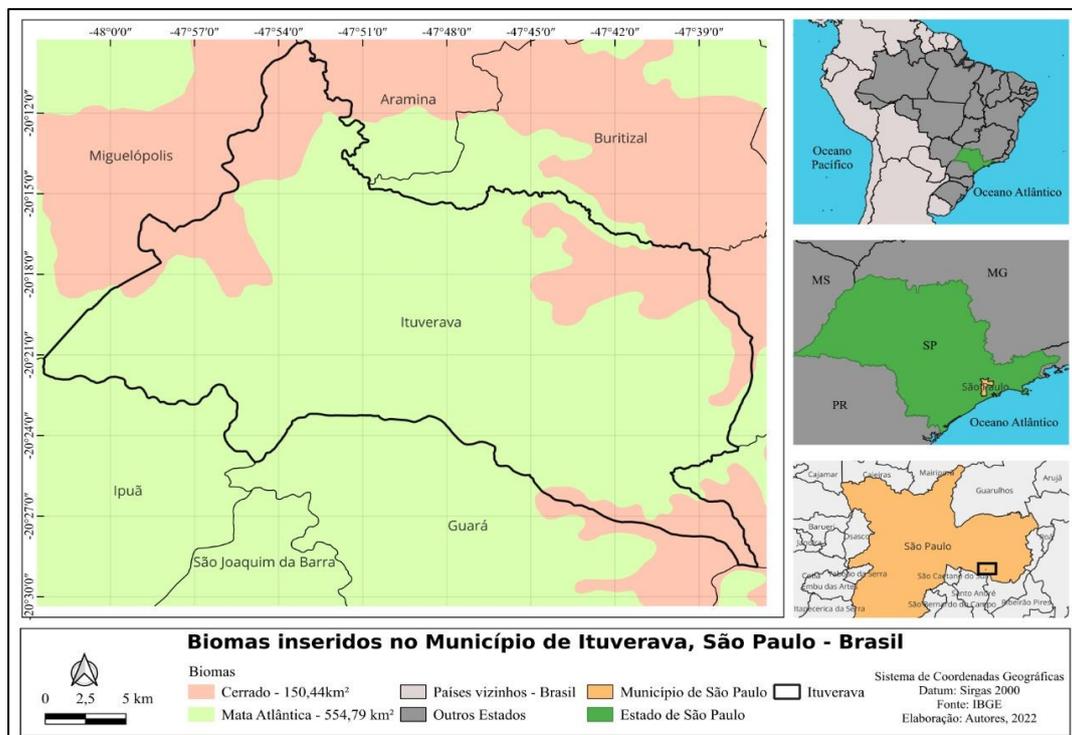
A área escolhida para o estudo foi o município de Ituverava-SP (Figura 1), localizado à Nordeste do Estado de São Paulo, no Planalto Ocidental Paulista, situado na região Sudeste do Brasil (PEREIRA e BARRACHI, 1997). Geograficamente, Ituverava está entre as coordenadas 20°20'31" de latitude Sul e 47°46'07" de longitude Oeste; com altitude de 619 m (MUNHOZ e GARCIA, 2008).

O relevo do município se apresenta inclinado, em direção ao Rio Paraná. A maior parte do solo é constituído de latossolo roxo, também conhecido como terra roxa (oriundo da decomposição do basalto vulcânico) e latossolo arenoso (derivado da decomposição do arenito), o que torna o município um local excelente para o desenvolvimento da atividade agrícola (PEREIRA, 2003).

Segundo o Inventário Florestal do Estado de São Paulo, realizado pelo Instituto Florestal (IF), a vegetação é constituída, em sua maior parte, de Várzea, seguido de Capoeira, Cerrado, Mata e Cerradão. Dados do IF demonstram ainda, que o município possui 746 km<sup>2</sup> de área de extensão, com população estimada, em 2021, pelo IBGE, em 42.259 habitantes, com densidade demográfica de 59,97 hab/Km<sup>2</sup> (<http://s.ambiente.sp.gov.br/sifesp/ituverava.pdf>). Na Figura 1, apresenta-se a localização geográfica do município, bem como a abrangência dos

biomas - Mata Atlântica e Cerrado - que novamente destaca a importância de um estudo com dados ainda inéditos sobre a região, no que se refere às questões sobre os fenômenos de ICU.

Figura 1 - Localização geográfica do município de Ituverava-SP, Brasil.



Fonte: Autores, 2022.

## 2.2 Coleta de Dados

Para a realização do estudo, foram analisadas quatro imagens espaciais do site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (United States Geological Survey – USGS) e obtidas pelo satélite Landsat 8 (equipado com dois sensores), por meio do sensor espectral OLI (*Operational Land Imager*), que utiliza as Bandas Espectrais 1 a 9 e o sensor TIRS (*Thermal Infrared Sensor*), que utiliza as Bandas 10 e 11. A resolução espacial de todas as imagens e os níveis de cobertura de nuvens são apresentados na Tabela 1. Sobre a aquisição de dados, as imagens de satélite escolhidas foram referentes aos anos de 2014 (janeiro e julho) e 2021 (março e junho), correspondendo, respectivamente, às estações de verão e inverno.

Tabela 1 - O sensor utilizado, seu trajeto (rota e linha), cobertura de nuvens e data de aquisição das imagens.

Sensor	Rota	Linha	Nuvem (%)	Data de aquisição
Landsat 8 (OLI)	220	74	10	14/01/2014
Landsat 8 (OLI)	220	74	15	09/07/2014
Landsat 8 (OLI)	220	74	6	22/03/2021
Landsat 8 (OLI)	220	74	0.0	26/06/2021

Fonte: USGS (*United States Geological Survey*).

### 2.2.1 Variáveis Meteorológicas de Ituverava

Além da aquisição das imagens de satélites, levantou-se também informações sobre variáveis associadas a meteorologia. Na Tabela 2, apresentam-se dados sobre umidade relativa

mensal média do ar, precipitação mensal média, radiação solar mensal média e temperatura mensal média do ar. Considera-se que estas variáveis podem ter influência significativa nos microclimas das cidades (RIBEIRO et al., 2021).

Tabela 2 - Informações de variáveis meteorológicas para Ituverava – SP, referentes aos anos 2014 e 2021, segundo registros obtidos na plataforma virtual do Instituto Nacional de Meteorologia.

Média Mês	Umidade Relativa (%) <sup>1</sup>		Precipitação(mm)		Radiação Solar (kj/m <sup>2</sup> ) <sup>1</sup>		Temperatura (°C) <sup>1</sup>	
	2014	2021	2014 <sup>1</sup>	2021 <sup>2</sup>	2014	2021	2014	2021
Janeiro	71,0	54,0	127,0	16	1741	2607	24,5	30,0
Fevereiro	67,1	58,4	55,2	16,7	1724	2562	24,5	29,0
Março	75,4	54,0	150,6	18,6	1508	2247	23,7	29,1
Abril	76,1	55,0	116,8	2,5	1508	1694	22,6	25,2
Mai	71,0	68,0	12,2	1,1	1276	1219	19,5	20,0
Junho	67,4	65,4	4,8	3,6	1176	1285	19,3	19,3
Julho	62,4	55,0	37,2	0	1111	1428	19,2	15,2
Agosto	51,1	47,0	1,8	0	1562	1389	21,4	22,0
Setembro	50,0	43,0	30,2	8,15	1611	1535	24,4	26,3
Outubro	48,0	79,0	76	15,0	1627	1003	26,0	23,0
Novembro	70,4	77,0	185,2	24,3	1447	1688	24,3	23,5
Dezembro	70,3	60,0	109,6	17,2	1669	1696	23,3	23,8

<sup>1</sup>Estação Meteorológica Automática de Ituverava A753; <sup>2</sup>Posto B4-034-SAAE-Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Ituverava.

Uma das variáveis mais importantes a ser considerada no estudo, é a temperatura média do ar, pois esta pode sofrer alterações devido à formação das ICU. Identificou-se então, as temperaturas médias diárias, considerando o seguinte protocolo: 1º - datas de aquisição das imagens e; 2º cálculos da temperatura média do dia anterior, do dia da aquisição da imagem e do dia posterior à aquisição, conforme o Quadro 1. Para a realização do cálculo da temperatura média do ar diária, foram utilizados registros de horários diários aplicados no método Nacional recomendado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os valores de horários da T<sub>máx</sub> e T<sub>mín</sub> foram obtidos a partir da estação Meteorológica Automática (código A753) de Ituverava-SP, pertencente ao INMET, instalada na Faculdade Dr. Francisco Maeda (FAFRAM), localizada a 610,58 m de altitude e possuindo coordenadas geográficas de 20°21'35.0"S (latitude) e 47°46'31.0"W (longitude). Pereira, Angelocci e Sentelhas (2007) informam que o método se baseia em duas medidas realizadas em horários padronizados pela Organização Meteorológica Mundial, sendo às 9h da manhã (T<sub>9h</sub>) e às 21h (T<sub>21h</sub>), que correspondem às 12h às 24h GMT (Hora do Meridiano de Greenwich), e completada por duas medidas correspondentes aos valores extremos do dia (T<sub>máx</sub> e T<sub>mín</sub>). Portanto, os dados utilizados na Equação (01) correspondem aos registros de horários: 09h e 21h; T<sub>máx</sub> e T<sub>mín</sub>.

$$\Rightarrow \text{INMET} : \Rightarrow T_{\text{méd}} = (T_{9h} + T_{\text{máx}} + T_{\text{mín}} + 2.T_{21h}) / 5. \quad \text{Equação (01)}$$

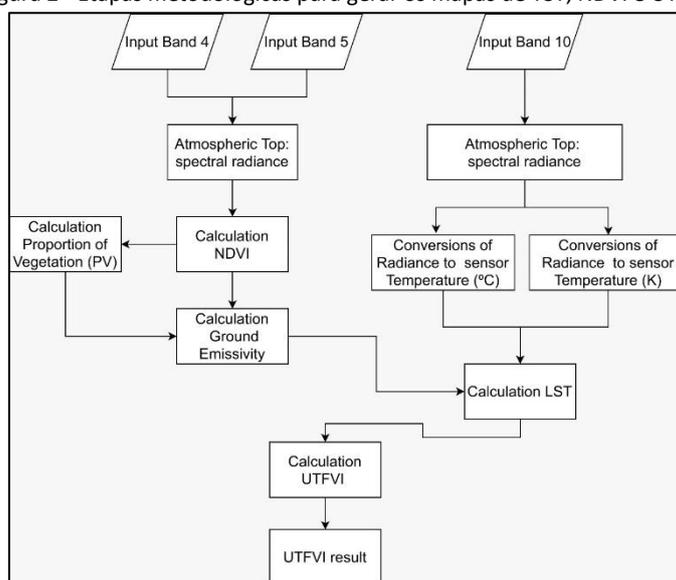
Quadro 1 - Datas em que foram realizadas as análises da temperatura média do ar.

Dia anterior	Data de aquisição	Dia posterior
13/01/2014 = 24,9 °C	14/01/2014 = 24,8 °C	15/01/2014 = 24,4 °C
08/07/2014 = 21,3 °C	09/07/2014 = 21,7 °C	10/07/2014 = 19,0 °C
21/03/2021 = 30,3 °C	22/03/2021 = 29,7 °C	23/03/2021 = 26,9 °C
25/06/2021 = 21,7 °C	26/06/2021 = 21,4 °C	27/06/2021 = 19,4 °C

Fonte: INMET, 2022.

As etapas metodológicas para gerar os mapas temperatura superficial terrestre (TST), índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) e avaliação ecológica das ilhas de calor, no que se refere ao Índice de Avaliação do Campo Térmico Urbano (UTFVI), por meio do satélite Landsat 8, constam na Figura 2, cujas informações foram recuperadas gratuitamente da plataforma Earth Explorer®. As bandas do sensor OLI (*Operational Land Imager*) 4 e 5 foram usadas para calcular o índice NDVI, no que se refere à proporção verde e emissividade, enquanto a banda 10, do sensor TIRS (Thermal Infrared Sensor), foi utilizada para estimar a temperatura de superfície terrestre. A resultante do cálculo da TST é o UTFVI. A partir destes dois parâmetros, pode-se obter o NDVI, índice mais comumente utilizado no sensoriamento remoto, pois é um indicador da biomassa fotossinteticamente ativa, ou seja, realiza o cálculo da saúde da vegetação. Este parâmetro apresenta sensibilidade mais alta correspondente à mudança de densidade da coroa do que outro índice de vegetação (PETTORELLI et al., 2011; AVDAN e JOVANOVSKA, 2016; ZAITUNAH et al., 2018).

Figura 2 - Etapas metodológicas para gerar os mapas de TST, NDVI e UTFVI.



Fonte: Ribeiro et al. (2021).

## 2.2.2 Mapas NDVI e UTFVI

Neste estudo, o sensoriamento remoto e o sistema de informação geográfica (SIG) foi baseado no desenvolvimento de mapas temáticos, relacionados a: índice de vegetação com diferença normalizada (NDVI) e o índice de variação do campo térmico urbano (UTFVI).

O NDVI é um dos parâmetros que permite calcular a temperatura de superfície do solo, a TST; que também é utilizada na modelagem do UTFVI. A principal informação dada por este último parâmetro se refere ao efeito das transformações urbanas sobre a temperatura; uma avaliação ecológica sobre o meio ambiente urbano. O modelo considera o impacto térmico das diferentes regiões nas cidades, com foco na área de aglomeração urbana; ou seja, fornece informações sobre o grau do fenômeno ICU e/ ou avaliação ecológica das ICU no que se refere

ao conforto térmico. No Quadro 2, apresentam-se os valores limites do UTFVI, bem como suas categorias (SANTOS et al., 2017).

Quadro 2 - Valores limite de UTFVI e Categorias

UTFVI alcance	Grau do fenômeno	Avaliação Ecológica pelo Índice UTFVI
< 0	Nulo	Excelente
0 – 0.005	Fraco	Bom
0.005 – 0.010	Médio	Normal
0.010 – 0.015	Forte	Ruim
0.015 – 0.020	Fortíssimo	Pior
> 0.020	Muito forte	Muito Pior

Fonte: Zhang et al. (2006); Santos et al. (2017)

O cálculo do NDVI é baseado na razão da diferença refletida entre as regiões do vermelho e do infravermelho próximo do espectro, à soma da reflexão do vermelho e do infravermelho próximo. Assim, a vegetação verde saudável reflete a luz em região do infravermelho próximo do espectro e absorve o vermelho leve. O NDVI varia de valores -1 a +1. O maior valor positivo (+1) indica vegetação verde, considerando, portanto, que áreas de construção, rocha estéril, areia ou neve, geralmente mostram muito baixos valores de NDVI (PETTORELLI et al., 2011; ZAITUNAH et al., 2018). Para o cálculo do NDVI, é também necessário proceder a um tratamento matemático prévio dos dados brutos de satélite (AVDAN e JOVANOVSKA, 2016); para o cálculo do UTFVI, com base em Zhang et al., (2006) e Santos et al., (2017).

### 2.3 Software I-Tree Canopy

O espaço verde urbano (EVU) proporciona diversos benefícios que englobam atributos biofísicos, econômicos e sociais, como: a redução dos fenômenos ICU e a melhoria da qualidade do ar. Portanto, quantificar o EVU pode ser útil para motivar conselhos e desenvolvedores a aumentar a infraestrutura verde. Várias pesquisas destacaram que as métricas de cobertura verde, que fornecem medidas rápidas e de baixo custo de EVU, são obrigatórias para converter as cidades tradicionais em cidades “mais saudáveis” (JACOBS et al., 2014; BUCKERIDGE, 2015; CARDOSO-GUSTAVSON et al., 2016). Assim, dados confiáveis sobre a cobertura da copa das árvores urbanas (CAU) também são úteis para o planejamento e gestão de áreas urbanas (HILDE e PATERSON, 2014; NOWAK et al., 2018).

Para tanto, o software I-Tree canopy, desenvolvido pelo Serviço Florestal Americano (I-Tree, 2018), foi utilizado para estimar a CAU nas cidades. Ele fornece um método de amostragem de pontos aleatórios que é usado para classificar as características da paisagem dentro das áreas (PARMEHR et al., 2016) e tem sido utilizado internacionalmente por sua facilidade em criar um conjunto de dados com informações sobre mudanças no uso do solo, remoção de poluentes atmosféricos e benefícios monetários das árvores urbanas (HIRABAYASHI, 2014; HILDE e PATERSON, 2014; NOWAK et al., 2018). Os pontos são classificados manualmente (árvores, água, construções e outros) com base em categorias de uso do solo pré-definidas. O software usa imagens on-line prontamente disponíveis na plataforma do Google Maps® para identificar a cobertura do solo.

Neste estudo, gerou-se um relatório para Ituverava-SP (746 km<sup>2</sup> de área total), com base em 801 pontos, em que sete categorias foram consideradas: (i) grama/herbácea, (ii) edifícios impermeáveis, (iii) impermeáveis a outros, (iv) estrada impermeável, (v) solo/solo nu, (vi) árvore/arbusto e (vii) água. De acordo com a orientação do I-Tree (I-TREE, 2018), os

resultados gerados em cada relatório são: categoria de cobertura (dados em unidades métricas, porcentagem e número de pontos), estimativas dos benefícios das árvores para remoção de carbono (carbono total anual sequestro de dióxido de carbono – CO<sub>2</sub>), estimativas de benefícios de árvores para poluentes do ar (monóxido de carbono anual - CO/ano, dióxido de nitrogênio - NO<sub>2</sub>, ozônio O<sub>3</sub>, dióxido de enxofre – SO<sub>2</sub> e remoção de material particulado MP de MP<sub>2,5</sub> e MP<sub>10</sub> μm), bem como estimativas de benefícios de árvores para aspectos hidrológicos (escoamento evitado, evaporação, interceptação, transpiração, evaporação potencial e evapotranspiração potencial).

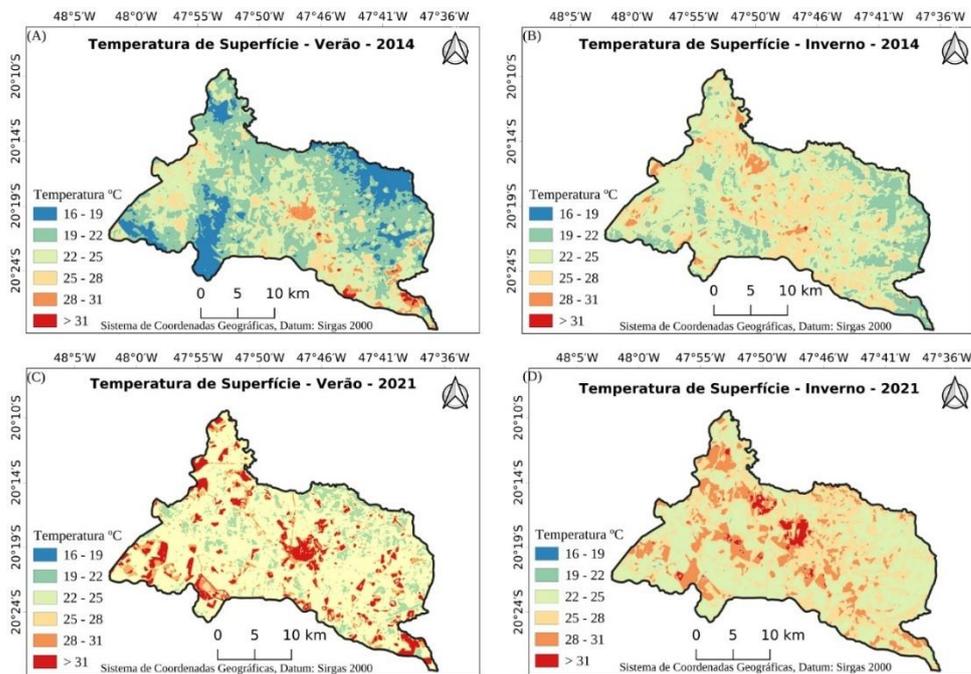
### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em termos de área, Ituverava pode ser considerado um município pequeno, com 746 km<sup>2</sup>. Dados do SEADE (2021), consideram que a ocupação urbana atingiu 94,2% de sua área geográfica. Como consequência, as áreas que apresentam cobertura vegetal densa, são raramente encontradas no município. Os únicos remanescentes florestais encontrados são algumas APP's (áreas de preservação permanente), localizadas nos limites e fora da área urbana (áreas isoladas e nas margens de rios e lagos), e pequenas concentrações florestais, com baixo adensamento vegetal na área urbana.

Na Figura 3, apresentam-se as variações de temperatura na cidade, utilizando imagens de satélite coletadas em janeiro (verão) e julho (inverno) de 2014, e março (verão) e junho (inverno) de 2021.

A TST é um parâmetro que relaciona o fluxo de calor por meio do balanço de radiação que chega e que sai de um corpo. Com base no mapa de verão de 2014, observou-se a existência de áreas com temperaturas amenas, que estão associadas à presença de corpos hídricos (rios e lagos) e de Áreas de Preservação Permanentes (APP) nessas regiões, e aos elevados índices de pluviometria e umidade relativa do ar – características do verão. A temperatura média de 23,5°C foi predominante em todo o território (Tabela 2). No verão de 2021, a temperatura média elevou-se para 26,5°C, tendo um aumento, aproximado, de 3°C; tal fato pode ser explicado por diversos fatores, como a expansão das atividades agrícolas e agropecuárias que, conseqüentemente, podem contribuir para potencializar efeitos adversos nas florestas, visto que que outros parâmetros também são sofrem incrementos como os índices de radiação solar, temperatura média do ar, com a diminuição significativa de níveis de chuva e umidade, em comparação com o mesmo período do ano de 2014. Em relação aos dois anos estudados, pode-se observar temperatura média em torno de 23,5°C. Em 2021, verificou-se o surgimento de inúmeras áreas com aumento de temperatura entre 28 e 31°C. As altas temperaturas sempre predominaram na cidade, sendo registrados os intervalos de 28 a 31°C no verão de 2014, maior que 31°C no verão de 2021, de 25 à 28°C no inverno de 2014 e, de 28 à maior que 31°C no inverno de 2021 (Tabela 2).

Figura 3 - Variações da TST (Temperatura de Superfície Terrestre) registradas no município, referentes às estações de verão e inverno dos anos de 2014 e de 2021.



Fonte: Autores, 2022.

É evidente que as temperaturas na área urbana têm aumentado significativamente e provocado o aumento na ICU, devido às alterações que o município sofreu, como a diminuição constante de cobertura arbórea e aumento de áreas impermeabilizadas (pavimentação e construção) - ambos contribuem com a maior absorção da radiação solar, diminuição dos períodos chuvosos - consequência das mudanças climáticas, etc.

Os dados apresentados corroboram com o relatório apresentado pela CETESB sobre o ano de 2014, na qual:

de maneira geral, as precipitações ocorridas durante os primeiros dez meses do ano de 2014 foram, na maior parte do tempo, abaixo das médias esperadas para cada mês. Nos meses de janeiro, fevereiro e outubro, as médias das temperaturas máximas foram superiores às normais climatológicas. As condições meteorológicas observadas permitem inferir que, nestes meses, houve diminuição no número de dias com nebulosidade e, conseqüentemente, maior incidência de radiação solar e condições mais propícias à formação de ozônio, principalmente no período compreendido entre o final do mês de janeiro e início do mês de fevereiro e no período entre os dias 8 e 19 de outubro (SÃO PAULO, 2015, p. 57).

Já sobre o ano de 2020, na qual não há ainda o relatório de 2021, a CETESB destaca que:

2020 foi um ano com muitos contrastes meteorológicos, quando foram observados recordes de médias mensais das máximas temperaturas em setembro e de recordes de temperaturas máximas absolutas em outubro. Além disso, 2020 teve o mês de fevereiro mais chuvoso desde o início das medições (em 1943) e o mês de março mais seco dos últimos 36 anos (SÃO PAULO, 2021, p. 70).

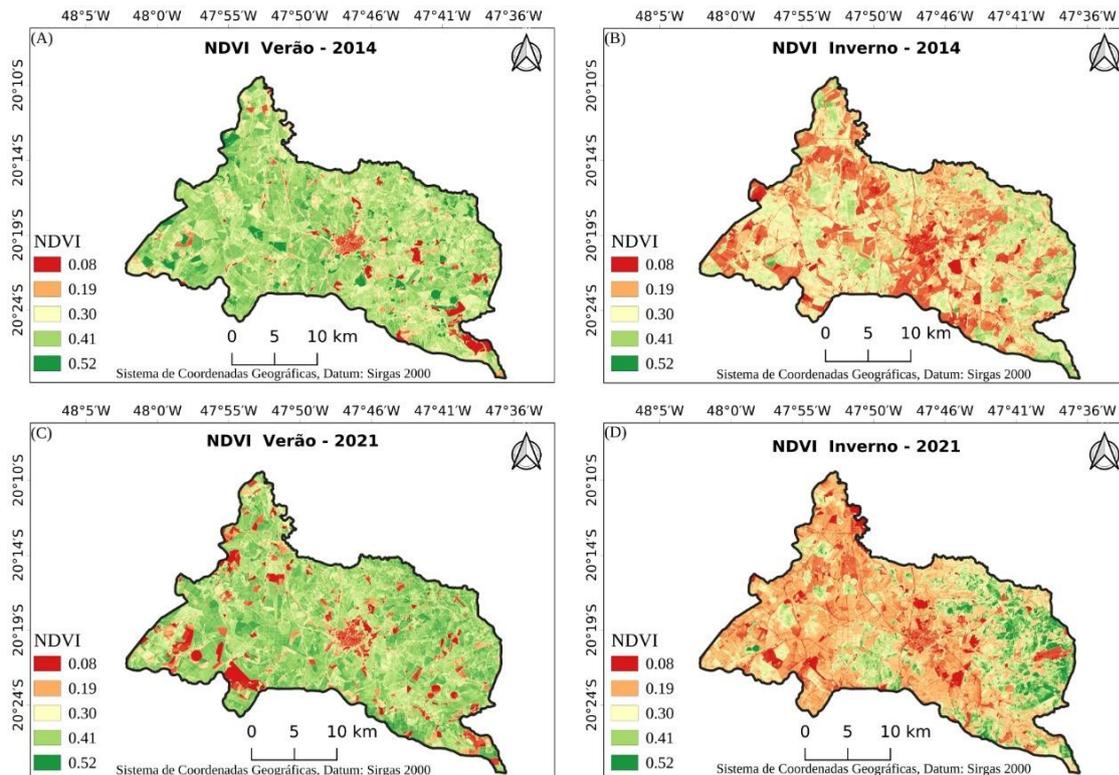
### 3.1 Índice de Cobertura Vegetal

O NDVI possibilitou examinar a relação entre a distribuição espacial e as modificações na biomassa fotossinteticamente ativa; ou seja, a saúde da vegetação. De acordo com a Figura 4, pode-se observar três categorias: (1) valores que variaram de 0,08 à 0,30 = menos vegetação, solos expostos e na área urbana reflete o adensamento urbano; (2) valor de 0,41 = cobertura vegetal esparsa e (3) valor de 0,52 = relacionado às áreas de vegetação densa. Nos mapas, há predominância do valor 0,41 (vegetação esparsa) e o surgimento de diversas áreas com o valor de 0,08 à 0,30 no verão de 2021 em comparação com o verão de 2014. Esse aumento no número de áreas com menos vegetação, pode ser explicado pelo avanço das atividades agropecuárias e agrícolas, expansão da área urbana do município e de seus distritos, diminuição preocupante dos níveis de chuva – queda de 85% em comparação com o mesmo período no ano de 2014 (Tabela 2), aumento da radiação solar (Tabela 2) e pelo aumento exponencial do número de queimadas registrados no ano de 2020 (ano anterior ao estudo), em que o município registrou 103 focos de calor (1,7% dos focos de calor do Estado de São Paulo), segundo dados do INPE.

No inverno de 2014, o município teve prevalência do valor de 0,30, seguido de valores no intervalo de 0,08 à 0,19, indicando menos vegetação e maior quantidade de solos expostos. Em 2021, algumas áreas tiveram uma melhoria discreta, como no caso de regiões à oeste, onde possuíam valores de 0,30 à 0,41 e passaram a ter valor de 0,52, enquanto grande parte do território apresentou piora nos valores registrados, passando de 0,30 à 0,41 para 0,19. A queda dos índices de NDVI no inverno, se deve à safra da cana de açúcar, o que torna o solo mais exposto, a queda das folhas das árvores, no outono, para as árvores pouparem energia e suportarem o frio, com registro de 54 focos de calor (1,9% dos focos de calor do Estado) e estiagem severa, que conseqüentemente, causa a baixa umidade – invernos secos e amenos são características típicas desta estação na região analisada.

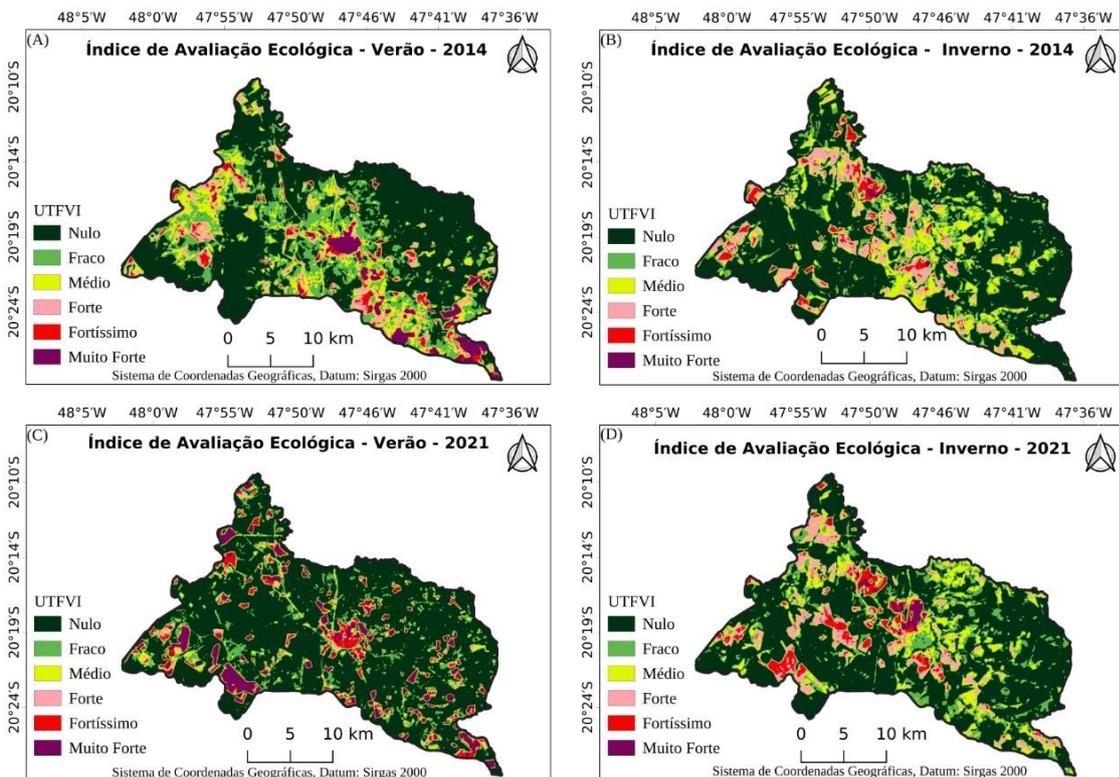
No que se refere à avaliação ecológica das ICU pelo índice UTFVI (Figura 5 e Quadro 2), a fim de descrever, quantitativamente, as mudanças no campo térmico urbano, ou seja, estimar o nível de conforto térmico da população de Ituverava; esta é classificada principalmente com conforto térmico entre normal a excelente. Entretanto, as regiões as quais se encontram as áreas urbanas (município e distritos), assim como áreas não urbanizadas, como as de cultivo da cana de açúcar apresentaram, de acordo com o índice, conforto térmico variando de ruim a muito pior, justificada por ambientes e paisagens degradadas, solo exposto e ausência de sombreamento da copa das árvores, o que facilita a formação do fenômeno Ilhas de Calor Urbano (ICU).

Figura 4 - NDVI (índice de Vegetação da Diferença Normalizada), para as estações de verão e inverno dos anos de 2014 (mapas superiores) e de 2021 (mapas inferiores).



Fonte: Autores, 2022.

Figura 5 - Índice de vegetação do campo térmico urbano.



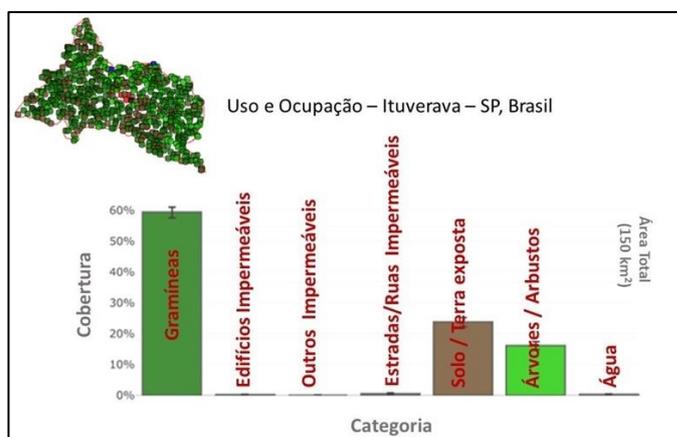
Fonte: Autores, 2022.

## 3.2 I-TREE CANOPY

No município de Ituverava-SP, a atividade agrícola é predominante; na qual, por meio da simulação com o I-Tree, considerando-se 801 pontos de amostragem aleatória, cobrindo cerca de 100% da área total do município de Ituverava, pode-se observar que a maior parte do uso e ocupação da terra (60% de 150 km<sup>2</sup>) é categorizada por gramíneas, relacionadas à monocultura de cana-de-açúcar. As árvores representam cerca de 18% de área; enquanto a terra exposta, que pode também se tratar de solo degradado, 20% da área estudada e, as categorias de materiais impermeáveis e corpos hídricos foram insignificantes, dentro do contexto informado ao software.

Com base nas características do meio físico, o I-Tree elabora um relatório sobre a capacidade das árvores em oferecer alguns serviços ecossistêmicos, que dependeriam da quantidade de árvores/área, características das espécies e seu potencial para atuar como uma barreira natural para contaminantes do ar, por exemplo. No caso de Ituverava, a arborização urbana pode remover da atmosfera em torno de 1080,16 kg/m<sup>2</sup>/ano de poluentes, sendo considerados CO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub>. Softwares assim fornecem informações úteis sobre mudanças no uso da terra, principalmente a cobertura verde, a qual pode-se comparar com o cenário real da cidade estudada.

Figura 6 - Simulação de uso e ocupação da terra estimados pelo I-tree Canopy, com base em 800 pontos para Ituverava-SP.



Fonte: Autores, 2022.

## 4. CONCLUSÕES

A urbanização das cidades, os desmatamentos, pastagens e as monoculturas no entorno delas, trouxeram enormes problemas que precisam ser corrigidos, principalmente aos relacionados ao desbalanceamento da distribuição espacial dos espaços verde urbanos (UGS). Quanto a isso, o artigo apresentou dados sobre fenômenos de Ilhas de Calor Urbana (ICU) no município de Ituverava-SP. As diferenças entre as temperaturas podem ser explicadas pelas áreas rurais e alguns poucos fragmentos de florestas urbanas em Ituverava-SP, bem como pela influência dos importantes bioma.

De acordo com os mapas da IEE, as áreas urbanas foram classificadas como

“ruim/muito pior”, considerando a UTFVI como forte a muito forte, apresentando uma sensação de desconforto térmico, devido às áreas degradadas, solo exposto, ausência de sombreamento de árvores, o que favoreceu o fenômeno Ilhas de Calor Urbano, ainda que as Temperaturas mensais médias não fossem tão significativamente altas; normalmente abaixo dos 30°C. Estes fenômenos costumam ser bastante desconfortantes em cidades que usualmente ultrapassam os 35°C.

As simulações do i-Tree também contribuíram para evidenciar o quão deficitária é a presença da arborização urbana, seus potenciais benefícios, em relação à retenção de contaminantes atmosféricos e conseqüentemente, em mitigar os efeitos do fenômeno ICU.

Por fim, o artigo trouxe informações inéditas sobre a paisagem urbana de Ituverava com a necessidade de aumentar e distribuir de forma equânime as áreas verdes. Vale destacar a importância do comprometimento dos gestores com as Políticas Públicas Verdes. Aqui, cita-se novamente a Lei da Mata Atlântica (Lei 11.428/2006), o Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica (PMMA) (Decreto nº 6660/2008), que abrem a possibilidade de os municípios, cujo território está total ou parcialmente nela inserido, atuarem proativamente na defesa, conservação e restauração da vegetação nativa da Mata Atlântica, através de definição de áreas e ações prioritárias. Esta seria, portanto, uma oportunidade de começar a elaboração do PMMA de Ituverava e com ele criar outras iniciativas para orientar as ações públicas e privadas, bem como para a atuação de entidades acadêmicas, de pesquisa e das organizações da sociedade, empenhadas em promover o planejamento urbano sustentável da cidade.

## AGRADECIMENTOS

RIBEIRO, A.P agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela Bolsa de Produtividade em Pesquisa (CNPq -317071/2021-1) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp - 2020/05383-9), pelo suporte financeiro ao desenvolvimento de seus projetos de pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- AMORIM MCDCT, DUBREUIL V. *Intensity of urban heat islands in tropical and temperate climates*. *Climate* 5(4):91. 2017.
- AVDAN U, JOVANOVSKA G. *Algorithm for automated mapping of land surface temperature using LANDSAT 8 satellite data*. *J Sens*. Article ID1480307. 2016.
- BUCKERIDGE M. *Árvores urbanas em São Paulo: planejamento, economia e água*. *Estudos Avançados* 29(84):85–101. 2015.
- BRASIL. Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. **DAS DEFINIÇÕES, OBJETIVOS E PRINCÍPIOS DO REGIME JURÍDICO DO BIOMA MATA ATLÂNTICA**, Brasília, DF, 22 dez. 2006. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2006/lei/l11428.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/l11428.htm). Acesso em: 22 jun. 2022.
- BRASIL. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC e dá outras providências. Brasília, DF, 29 dez. 2009. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm). Acesso em: 22 jun. 2022.
- BRASIL. Decreto nº 6.660, de 21 de novembro de 2008. Regulamenta dispositivos da Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006, que dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica. Brasília, DF, 21 nov. 2008. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2008/decreto/d6660.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/decreto/d6660.htm). Acesso em: 22 jun. 2022.
- CABRAL, P.I.D. Arborização Urbana: Problemas e Benefícios. *Revista Especialize On-line IPOG*, Goiânia, v. 1, n. 6, p. 1-15, dez. 2013. Disponível em: <https://ipog.edu.br/institucional/academico/#revista-especialize>

CARDOSO-GUSTAVSON P, FERNANDES FF, ALVES ES, VICTORIO MP, MOURA BB, DOMINGOS M, FIGUEIREDO AMG et al. Tillandsia usneoides: a successful alternative for biomonitoring changes in air quality due to a new highway in São Paulo, Brazil. **Environ Sci Pollut Res** 23(2):1779–1788. 2016.

CAVALCANTE, L. B.; GOMES, H. B.; CAVALCANTE, A. DA S. I.; DA COSTA, B. C. A.; DA COSTA, M. C. A.; DA SILVA, C. M., COSTA, R. L.; DA ROCHA JR, R. L., DOS SANTOS, F. S, SILVA, F. D. DOS S., LINS E SILVA JÚNIOR, T. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. Especial, 835 846, 2020 rbmet.org.br. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778635500001>.

CORRÊA, P.B.; CORRÊA, J. A. de J. Análise da temperatura de superfície da área urbana de Santarém através de imagens termais do Landsat 5. **REVISTA GEONORTE**, Manaus - AM, Edição Especial, v. 3, n. 5, p. 714-722, jun. 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/2126>. Acesso em: 10 julho 2022.

ESCOBEDO FJ, GIANNICO V, JIM CY, SANESI G, LAFORTEZZA R. **Urban forests, ecosystem services, green infrastructure and nature-based solutions: nexus or evolving metaphors?** Urban for Urban Green 37:3–12. 2019.

EPA USEPA. Heat Island Compendium. In: **Heat island compendium**. 2008. Disponível em: <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>. Acesso em: 20 fev. 2022.

EARTH EXPLORER. **Download de imagens orbitais** 2014 – 2021. United States Geological Survey (USGS). Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em 10 maio 2022.

FARHADI H., FAIZI M., SANAEIAN H. **Mitigating the urban heat island in a residential area in Tehran: Investigating the role of vegetation, materials, and orientation of buildings**. 2019. *Sustain Cities Soc* 46:101448.

FÁVARO, F. de L.; STIPP, N. A. F. Análise dos remanescentes florestais da bacia do Ribeirão dos Apertados, a partir de imagens Landsat. **Geografia**, Londrina - PR, v. 12, n. 2, p. 87-96, jul./dez. 2003. Disponível em: <https://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/view/6672>. Acesso em: 25 maio 2022.

FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS (SEADE). **SEADE Municípios**. 2022. Disponível em: <https://municipios.seade.gov.br/>. Acesso em: 10 junho 2022.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 247p.

HILDE T., PATERSON R. **Integrating ecosystem services analysis into scenario planning practice: Accounting for street tree benefits with i-Tree valuation in Central Texas**. *J Environ Manag* 146:524–534. (2014)

HIRABAYASHI S. **I-Tree Canopy air pollutant removal and monetary value model descriptions**. The Davey Institute, Syracuse, New York, p 11. 2014. Disponível em: [https://www.itreetools.org/documents/560/i-Tree\\_Canopy\\_Air\\_Pollutant\\_Removal\\_and\\_Monetary\\_Value\\_Model\\_Descriptions.pdf](https://www.itreetools.org/documents/560/i-Tree_Canopy_Air_Pollutant_Removal_and_Monetary_Value_Model_Descriptions.pdf). Acesso em: 10 junho 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **IBGE cidades: ITUVERAVA - SP**. 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/ituverava/panorama>. Acesso em: 10 fev. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/downloads-estatisticas.html>. Acesso em: 10 fev. 2022.

INSTITUTO FLORESTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Sistema de Informações Florestais do Estado de São Paulo (SIFESP)**. 2021. Disponível em: <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/sifesp/mapas-municipais/>. Acesso em: 10 fev. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Mapa de Estações**. Estação Meteorológica Automática de Ituverava A753. 2014 – 2021. Disponível em: <https://mapas.inmet.gov.br/#>. Acesso em: 27 maio 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Programa Queimadas. BD Queimadas**. 2020. Disponível em: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal>. Acesso em: 25 maio 2022.

I-TREE. **I-Tree Canopy**. 2018. Disponível em: <https://canopy.itreetools.org/>. Acesso em: 20 maio 2022.

ITUVERAVA/ SP. **Posto Pluviométrico – Prefixo: B4-034**. Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Ituverava/ SP. 2021.

JACOBS B, MIKHAILOVICH N, DELANEY C. Benchmarking Australia's urban tree canopy: an i-Tree assessment, Final Report, p 44p.2014. Disponível em: <https://opus.lib.uts.edu.au/handle/10453/37506>. Acesso em: 20 maio 2022.

KLEEREKOPER L., VAN ESCH M, SALCEDO T.B. **How to make a city climate-proof, addressing the urban heat island effect**. *Resour Conserv Recycl* 64:30–38. 2012.

MUNHOZ, F.C.; GARCIA, A. Caracterização da velocidade e direção predominante dos ventos para a localidade de Ituverava (SP). **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos – SP, v. 23, n. 1, p. 30-34, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/rbQWXPpHmsLxybBXP3xyGp/?lang=pt>. Acesso em: 20 maio 2022.

NOWAK DJ, HIRABAYASHI S, DOYLE M, MCGOVERN M, PASHER J. Air pollution removal by urban forests in Canada and its effect on air quality and human health. **Urban for Urban Green** 29:40–48. 2018.

NUCCI, J.C. **Qualidade ambiental e adensamento urbano**: um estudo de ecologia e planejamento da paisagem aplicado ao distrito de Santa Cecília (MSP). 2ª ed. Curitiba: O Autor, 2008. 150p. Disponível em: <https://tgpusp.files.wordpress.com/2018/05/qualidade-ambiental-e-adensamento-urbano-nucci-2008.pdf>. Acesso em: 28 maio 2022.

NURUZZAMAN M. **Urban heat island: causes, effects and mitigation measures—a review**. *Int J Environ Monit Anal* 3(2):67–73. 2015.

ORTIZ, G.F.; AMORIM, M.C.C.T. Temperatura da superfície da cidade de Cândido Mota – SP a partir da imagem de satélite Landsat 7. **Revista Geográfica da América Central**, Costa Rica, v. 2, n. 47E, p. 1-16, jul. 2011. Disponível em: <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/2481>. Acesso em: 14 março 2022.

PARMEHR EG, AMATI M, TAYLOR EJ, LIVESLEY SJ Estimation of urban tree canopy cover using random point sampling and remote sensing methods. **Urban for Urban Green** 20:160–171. 2016.

PEREIRA, A.H.B.; BARRACHI, S.B.M. **História e geografia de Ituverava**. Ituverava: Sed, 1997.

PEREIRA, A.H.B. Evolução da agricultura no município de Ituverava e a criação da Faculdade de agronomia. **Revista Nucleus**, Ituverava – SP, v. 1, n. 1, p. 233-257, 2003. Disponível em: <http://www.nucleus.feituverava.com.br/index.php/nucleus/article/view/231>. Acesso em: 28 maio 2022.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Meteorologia Agrícola**. ESALQ (Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”) – LEB (Departamento de Engenharia de Biosistemas) e LCE (Departamento de Ciências Exatas), Piracicaba – SP, p. 01-192, 2007. Disponível em: <http://www.leb.esalq.usp.br/leb/aulas/lce306/lce306.html>. Acesso em: 12 jun.2022.

PETTORELLI N., RYAN S., MUELLER T., BUNNEFELD N., JĘDRZEJSKA B., LIMA M., KAUSRUD K. **The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)**: unforeseen successes in animal ecology. 2011. *Clim Res* 46(1):15–27.

PRINA, B.Z.; TRENTIN, R. Análise da temperatura da superfície por meio de imagens Landsat-8: estudo de caso para o município de Jaguarí/ RS/ Brasil. **Revista Formação (Online)**, Presidente Prudente – SP, v. 3, n. 23, p. 264-285, mai-ago. 2016. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/formacao/article/view/4471>. Acesso em: 14 março 2022.

RIBEIRO, A.P. et al. The role of tree landscape to reduce effects of urban heat islands: a study in two Brazilian cities. *Trees*, p. 1-14, 2021.

RICHARDS DR, FUNG TK, BELCHER RN, EDWARDS PJ. **Differential air temperature cooling performance of urban vegetation types in the tropics**. *Urban for Urban Green* 50:126651. 2020.

SANTOS A.R., OLIVEIRA F.S., SILVA A.G., GLERIANI J.M., GONÇALVES W., MOREIRA G.L., MOTA PHS et al. **Spatial and temporal distribution of urban heat islands**. *Sci Total Environ* 605:946–956. 2017.

SÃO PAULO. Lei nº 16.924, de 10 de janeiro de 2019. Altera a Lei nº 13.550, de 2 de junho de 2009, que dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Cerrado no Estado e dá outras providências correlatas. **Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo**, São Paulo, SP: Diário Oficial. 10 jan. 2019. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/norma/189181>. Acesso em: 25 jun. 2022.

SÃO PAULO. **Qualidade do ar no estado de São Paulo 2014 [recurso eletrônico] / CETESB**. São Paulo: CETESB, 2015. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/publicacoes-relatorios/>. Acesso em: 20 jan 2022.

SÃO PAULO. **Qualidade do ar no estado de São Paulo 2020 [recurso eletrônico] / CETESB**. São Paulo: CETESB, 2021. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/publicacoes-relatorios/>. Acesso em: 20 jan 2022.

SILVA, E.N.; RIBEIRO, H.; SANTANA, P. Clima e saúde em contextos urbanos: Uma revisão da literatura. **Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales**, Barcelona, v. 19, n. 1092, p. 1-24, ago. 2014. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/270880278\\_Clima\\_e\\_saude\\_em\\_contextos\\_urbanos\\_uma\\_revisao\\_da\\_literatura](https://www.researchgate.net/publication/270880278_Clima_e_saude_em_contextos_urbanos_uma_revisao_da_literatura). Acesso em: 19 julho de 2022.

TORRESANI, B.D.C.G. et al. Análise da cobertura arbórea no município de Guarulhos (SP), como um dos indicadores da variação de temperatura superficial e da qualidade ambiental. **Revista UNG – Geociências**, Guarulhos – SP, v. 15, n. 2, 2016. Disponível em: <http://revistas.ung.br/index.php/geociencias/article/view/2434>. Acesso em: 14 março 2022.

TRINDADE, P.M.P.; SALDANHA, D.L.; FILHO, W.P. Utilização do infravermelho termal na análise espaço temporal da temperatura de superfície e ilhas de calor urbanas. **Revista Brasileira de Cartografia (RBC)**, Rio de Janeiro, v. 69, n. 4, p. 837-855, abr. 2017. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44338>. Acesso em: 14 março 2022.

VIEIRA, C.H.S.D.; BIONDI, D. Análise da cobertura vegetal de Curitiba, PR (de 1986 a 2004), utilizando imagens LANDSAT TM. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 32, n. 3, p. 479-487, 2008. Disponível em: <https://search.scielo.org/?lang=pt&q=au:Vieira,%20Carolina%20Haddad%20Souza%20Dias>. Acesso em: 14 março 2022.

VIEIRA, M.G.; MACHADO, G. Geotecnologias e ilhas de calor urbanas: uma aplicação a Uberlândia – MG. **Geographia Opportuno Tempore**, Londrina – PR, v. 4, n. 3, p. 137-160, 2018. Disponível em: <https://www.uel.br/revistas/uel/index.php/Geographia/article/view/36161>. Acesso em: 19 julho de 2022.

YUE W, Liu X, Zhou Y, Liu Y (2019) Impacts of urban configuration on urban heat island: An empirical study in China mega-cities. **Sci Total Environ** 671:1036–1046.

ZAITUNAH A, AHMAD AG, SAFTRI, RA. **Normalized difference vegetation index (ndvi) analysis for land cover types using landsat 8 oli in besitang watershed, Indonesia**. IOP Conf Ser Earth Environ Sci 126(1):012112. 2018.

ZHANG J, WANG Y, LI Y. **A C++ program for retrieving land surface temperature from the data of Landsat TM/ETM+ band6**. Comput Geosci 32(10):1796–1805. 2006.