





## ANÁLISE DAS SUPERFÍCIES URBANAS PARA IDENTIFICAÇÃO DE ILHAS DE CALOR ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DE ÍNDICES RADIOMÉTRICOS E DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE

*Analysis of urban surfaces to identify heat islands through the  
application of radiometric indexes and surface temperature*

*Análisis de las superficies urbanas para la identificación de las  
islas de calor mediante la aplicación de índices radiométricos  
y de la temperatura de la superficie*

Paula Carvalho da Silveira  

Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Universidade do Estado de Santa Catarina  
(UDESC)

paulacarvalho.9912@gmail.com

Claudia Guimarães Camargo Campos  

Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade do Estado de Santa Catarina  
(UDESC)

claudia.campos@udesc.br

Eder Alexandre Schatz Sá  

Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade do Estado de Santa Catarina  
(UDESC)

eder.sa@udesc.br

Leonardo Josué Biffi  

Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade do Estado de Santa Catarina  
(UDESC)

leonardo.biffi@udesc.br

Julia Cucco Dalri  

Departamento Acadêmico de Construção Civil, Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de  
Santa Catarina (IFSC)

juliacuccodalri@gmail.com



**Resumo:** O fenômeno denominado Ilhas de Calor começou a ser percebido após o século XIX devido às grandes mudanças nas interações do homem com a superfície. Estudos relacionados à climatologia foram aprimorados com o avanço geotecnológico, possibilitando a análise de diversas áreas através do uso de métodos variados. Dessa forma, o objetivo deste estudo consiste na identificação de ilhas de calor urbanas por meio de técnicas de sensoriamento remoto, em diferentes localidades do estado catarinense: Joinville, Criciúma e Lages. Para melhor compreensão das superfícies urbanas dessas cidades, utilizaram-se os seguintes índices radiométricos: Normalized Density Vegetation Index (NDVI), Normalized Difference Built-up Index (NDBI) e Built-up Index (BU), além da Temperatura da Superfície. Através da análise dos resultados obtidos, identificou-se que as ilhas de calor se formam em áreas que apresentam valores elevados de BU e reduzidos de NDVI. As ilhas formadas em Joinville e Criciúma ocorreram de forma semelhante, na porção central das cidades, devido à elevada densidade de elementos urbanísticos, enquanto na cidade de Lages, o fenômeno também se concentrou em fragmentos de solo exposto, afastados da malha urbana, devido ao predomínio da agricultura e silvicultura.

**Palavras-chave:** Ilhas de Calor. Índices Radiométricos. Temperatura da Superfície.

**Abstract:** The phenomenon called Heat Islands began to be noticed after the 19th century due to the great changes in the interactions of man with the surface. Studies related to climatology with the geotechnological advance were improved, which allows the analysis of different areas through the use of different methods. Thus, the objective of this study is to identify urban heat islands through remote sensing techniques, in different locations in the state of Santa Catarina: Joinville, Criciúma and Lages. For a better understanding of the urban surfaces of these cities, the following radiometric indexes were used: Normalized Density Vegetation Index (NDVI), Normalized Difference Built-up Index (NDBI) and Built-up Index (BU), in addition to Surface Temperature. Through the analysis of the results obtained, it was identified that heat islands are formed in areas that present high values of BU and reduced values of NDVI. The islands formed in Joinville and Criciúma occurred in a similar way, in the central portion of the cities due to the high density of urban elements, while in the city of Lages, the phenomenon was also concentrated in fragments of exposed soil, far from the urban area, due to the predominance of agriculture and forestry.

**Keywords:** Heat Islands. Radiometric Indexes. Surface Temperature.

**Resumen:** El fenómeno nombrado Islas de Calor comenzó a ser percibido tras el siglo XIX debido a los grandes cambios en las interacciones del hombre con la superficie. Los estudios relacionados con la climatología fueron perfeccionados con el avance geotecnológico, lo que posibilita el análisis de diversas áreas a través del uso de métodos variados. De esta forma, el objetivo de este estudio consiste en la identificación de islas de calor urbanas por medio de técnicas de percepción remota en diferentes localidades del estado catarinense: Joinville, Criciúma y Lages. Para una mejor comprensión de las superficies urbanas de estas ciudades, se utilizaron los siguientes índices radiométricos: Normalized Density Vegetation Index (NDVI), Normalized Difference Built-up Index (NDBI) y Built-up Index (BU), más allá de la Temperatura de la Superficie. A través del análisis de los resultados obtenidos, se identificó que las islas de calor se forman en áreas que presentan valores elevados de BU y reducidos de NDVI. Las islas formadas en Joinville y Criciúma ocurrieron de forma semejante en la porción central de las ciudades debido a la elevada densidad de elementos urbanísticos, mientras que en la ciudad de Lages, el fenómeno también se concentró en fragmentos de suelo expuesto, alejadas de la malla urbana, debido al predominio de agricultura y silvicultura.

**Palabras clave:** Islas de Calor. Índices Radiométricos. Temperatura de la Superficie.

Submetido em: 14/09/2022

Aceito para publicação em: 09/08/2023

Publicado em: 16/09/2023

## 1. INTRODUÇÃO

A constante e intensa urbanização, na qual o mundo vivencia desde o início da revolução industrial, resultou em um crescimento rápido e desordenado para inúmeras cidades. Locais altamente urbanizados, com elevada densidade de construções, são cada vez mais comuns atualmente, sejam eles em grandes ou pequenas cidades. A substituição de áreas permeáveis, desde florestas densas até gramíneas, causa diversos impactos nas propriedades da superfície, como a alteração nos balanços de energia e massa. Essas alterações afetam diretamente o clima e a hidrologia, capazes de originar modificações em micro, meso ou macro escala (OKE, 2002).

De acordo com Lucena (2013), as alterações na superfície começaram a ser estudadas e documentadas a partir do século XIX. Howard (1818) foi pioneiro nos estudos através da observação de diferenças na temperatura da cidade de Londres e seus arredores, onde notou que em áreas de campo, a temperatura do ar apresentava-se menor. Esse fenômeno passou a ser denominado “Ilhas de Calor”, que se tornou cada vez mais recorrente ao redor do mundo devido principalmente ao processo de urbanização. Esse fenômeno é caracterizado pelo aumento da temperatura do ar em locais predominantemente impermeáveis como os centros urbanos. Onde a ausência de vegetação, devido à ação antrópica, aumenta as taxas de absorção do calor e reduz as taxas de evapotranspiração do local (ROMERO et al., 2019).

A intensificação da temperatura do ar em áreas urbanizadas apresenta inúmeras consequências, das quais se destaca o desconforto dos indivíduos devido ao estresse térmico ou até mesmo problemas de saúde relacionados à qualidade do ar, provocados pela redução da dispersão de poluentes atmosféricos (TEZA e BAPTISTA, 2005).

O efeito na temperatura da superfície que o fenômeno produz nas cidades pode ser identificado por meio de ferramentas de sensoriamento remoto, através da utilização de imagens de satélite, em que tal efeito é classificado com Ilhas de Calor Urbanas de Superfície (Surface Urban Heat Island — UHIsurf), conforme Oke et al. (2017). O uso das técnicas de geoprocessamento permite comparar valores de temperatura para as mais diversas superfícies, assim como a aplicação de diversos índices radiométricos, sendo possível identificar áreas vegetadas ou edificadas de acordo a resposta dos alvos (MOREIRA, 2016).

Diversos estudos foram realizados a fim de identificar as alterações do uso e ocupação do solo através da utilização dos índices radiométricos NDVI (Normalized Density Vegetation

Index), NDBI (Normalized Difference Built-up Index) e BU (Built-up Index). Como exemplo de aplicações feitas no Brasil, tem-se o estudo de Rezende e Rosa (2019) em Governador Valadares/MG e de Oliveira, Neto e Silva (2021), no município de Eunápolis/BA.

Pesquisas realizadas com o intuito de relacionar a formação de ilhas de calor com o uso e ocupação do solo, como o estudo de Araújo, Silva e Machado (2016) e Nascimento, Jardim e Rangel (2021), concluíram que o fenômeno é intensificado principalmente por processos de retirada da cobertura vegetal e elevada urbanização. Para buscar mitigar esses efeitos, a necessidade de estudos climáticos nas áreas urbanas torna-se essencial, por ser uma medida que pode nortear os gestores públicos a tomarem decisões efetivas voltadas a busca de um planejamento urbano de menor impacto ambiental. Deste modo, o objetivo deste estudo consiste na identificação de ilhas de calor urbanas de superfície, por meio de produtos do sensoriamento remoto, através da aplicação de índices radiométricos e da temperatura da superfície para os últimos vinte anos, em diferentes localidades do estado catarinense: Joinville, Criciúma e Lages.

## 2. METODOLOGIA

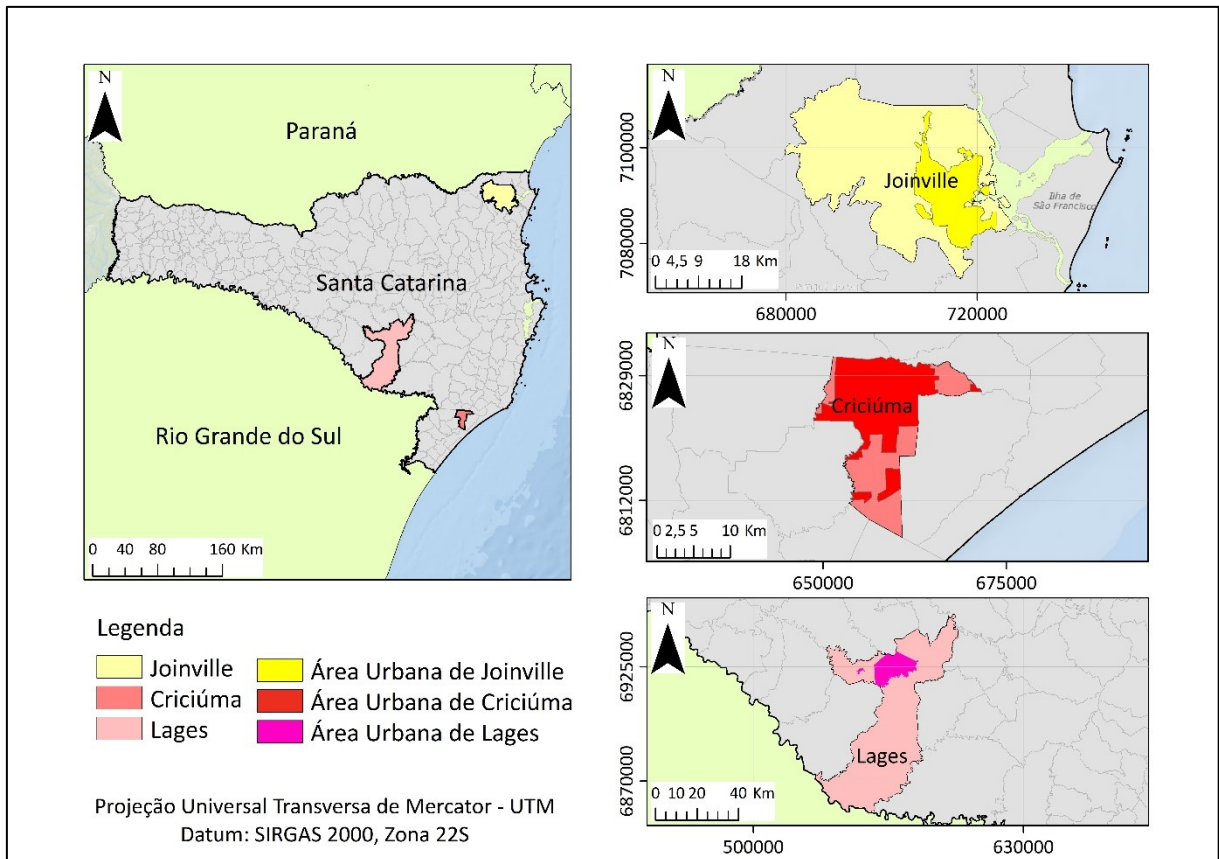
### 2.1. Área de Estudo

As áreas urbanas selecionadas para este trabalho estão localizadas em diferentes mesorregiões do estado de Santa Catarina, sendo caracterizadas pelo desenvolvimento urbano expressivo, em que são consideradas referências para as cidades circunvizinhas com relação aos serviços oferecidos.

O município de Joinville está localizado na Região Norte do estado de Santa Catarina, nas coordenadas geodésicas de latitude  $26^{\circ} 18' 14''$  sul e longitude  $48^{\circ} 50' 45''$  oeste, com área territorial de  $1.127,947 \text{ km}^2$  (Figura 1). Conforme a classificação de Köppen e Geiger, o clima caracterizado como subtropical úmido (Cfa), com temperatura média anual de  $20,9^{\circ}\text{C}$ . Possui a maior população do estado de acordo com o IBGE (2022), com cerca de 96% dos domicílios localizados na área urbana. Atualmente, a população estimada é de 604.708 habitantes, representando um aumento significativo nos últimos vinte anos.



**Figura 1** - Mapa de Localização dos Municípios de Joinville, Lages e Criciúma e suas respectivas áreas urbanas.



**Fonte:** Elaborado pelos autores (2023).

Criciúma apresenta a menor área territorial entre os três municípios selecionados, com uma extensão de 234,865 km<sup>2</sup>, localizada na Região Sul do estado, nas coordenadas geodésicas de latitude 28° 40' 39" sul e longitude 49° 22' 11" oeste (Figura 1). Assim como Joinville, o clima é caracterizado como subtropical úmido (Cfa), com temperatura média anual de 19,7 °C. Possui a quinta maior população de Santa Catarina, de acordo com IBGE (2022), com 98% dos domicílios localizados na área urbana. Atualmente a população estimada é de 219.393 habitantes, apresentando um crescimento populacional reduzido quando comparado à Joinville.

O município de Lages, localizado na Serra Catarinense, nas coordenadas geodésicas de latitude 27° 48' 57" sul e longitude 50° 19' 33" oeste, é caracterizado por apresentar a maior extensão territorial do estado, contando com 2.637,660 km<sup>2</sup> (Figura 1). O clima predominante classifica-se como oceânico temperado (Cfb), com temperatura média anual de 16,0 °C. De acordo com IBGE (2022), Lages possui a oitava maior população do estado e assim como Criciúma, 98% dos domicílios situam-se na área urbana. Atualmente a população estimada é

de 157.158 habitantes, representando a menor variação populacional desde o ano 2000 entre as cidades analisadas.

A Tabela 1 demonstra o comportamento da população ao longo dos anos dos municípios de Joinville, Criciúma e Lages.

**Tabela 1** - Variação da população ao longo dos anos para municípios selecionados.

Cidades	2000	2020	Varição
Joinville	429.604	604.708	40,8%
Criciúma	170.420	219.393	28,4%
Lages	157.682	157.158	-0,3%

**Fonte:** IBGE (2022).

Joinville apresentou o maior aumento populacional, com variação de 40,8% a partir do ano 2000 até o ano de 2020. Tal aumento deve-se principalmente ao fato do grande e significativo polo industrial que a cidade possui, resultando assim em um importante fator de atração populacional. Ainda que a cidade de Lages tenha se tornado uma cidade – polo na região do Planalto Sul, sendo referência regional de atendimentos em diferentes setores, tais como: saúde, educação, comércio, entre outros, a cidade apresentou a menor variação populacional quando comparada às demais, com um declínio gradativo ao longo dos últimos anos. Conforme Amures (2010), esse fato pode ser atribuído à falta de oportunidades de trabalho, como também à intensificação de atividades de monocultura que circundam a cidade, que estimulam o processo de emigração.

## 2.2. Aquisição das Imagens de Satélite e Obtenção dos Índices

As imagens utilizadas para a elaboração dos mapas temáticos foram obtidas gratuitamente através do site do Serviço de Levantamento Geológico Americano (USGS). A escolha dos períodos, observado na Tabela 2, foi estritamente condicionada a ausência de nebulosidade das imagens disponíveis para os anos selecionados. Assim, de forma a determinar um período do ano comum entre elas, grande parte das imagens pertencem ao inverno, visto que atendia os pré-requisitos necessários para obtenção de melhores resultados.

**Tabela 2** - Identificação das imagens utilizadas para cada cidade analisada.

Cidades	Ano	Data	Satélite	Estação do ano
Joinville	2000	19 de agosto	Landsat 05	Inverno
	2020	7 de junho	Landsat 08	Outono
Criciúma	2000	4 de setembro	Landsat 05	Inverno
	2020	23 de junho	Landsat 08	Inverno
Lages	2000	23 de junho	Landsat 05	Inverno
	2020	14 de junho	Landsat 08	Outono

**Fonte:** Elaborado pelos autores (2022).

Para determinar a evolução ao longo dos anos do fenômeno causado pela diferença de temperatura da superfície entre porções permeáveis (vegetadas) e não permeáveis (não vegetadas), que se refere às ilhas de calor de superfície, utilizou-se duas cenas para cada cidade selecionada, que correspondem aos anos de 2000 e 2020. O intervalo entre cada imagem foi escolhido de modo a permitir uma análise de padrão bidecadal, que possibilita o entendimento do comportamento das variáveis a cada vinte anos, visto que é um intervalo suficiente para a ocorrência de mudanças significativas no cenário climático. Para a análise do ano 2000, as imagens foram geradas pelo satélite Landsat 5, sensor TM – *Thematic Mapper*. Apesar de imagens provenientes do satélite Landsat 7 já estarem disponíveis para esse ano, optou-se em utilizar o Landsat 5 por apresentar estudos mais consolidados que servem como base referencial do presente artigo, como o estudo de Ranagalage, Estoque e Murayama (2017) e Orhan, Ekercin e Dadaser-Celik (2014). Enquanto para o ano de 2020 utilizaram-se as imagens do satélite Landsat 8, sensor OLI – *Operational Land Imager*. Para a análise da Temperatura Superficial, utilizou-se o Sensor TIRS – *Thermal Infrared*.

Após a aquisição das imagens, torna-se possível identificar os efeitos da urbanização e, conseqüentemente, a ocorrência de ilhas de calor nas áreas urbanas das cidades ao longo dos anos. Para o presente estudo foram calculados os índices radiométricos NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), NDBI (Normalized Difference Built-up Index) e BU (Built-up Index) através do *software* ArcGIS, versão 10.5. Os índices radiométricos são calculados a partir de respostas à radiação eletromagnética de determinados alvos presentes na área urbana através da utilização e composição de diferentes bandas espectrais, selecionadas conforme o índice que se deseja aplicar (ZHA; GAO; NI, 2003).

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), proposto por Rouse et al. (1973), é utilizado para obter e analisar diferentes tipos e densidades de cobertura vegetal (XU, 2008). Conforme o estudo de Liu e Huete (1995), os índices de vegetação consistem na absorção da radiação de luz vermelha (RED) pela clorofila e no espalhamento da radiação de infravermelho próximo (NIR), causado pelas folhas das plantas. Através das bandas espectrais é possível obter valores que variam de -1 a +1, assim, valores próximos de +1 correspondem à vegetação de maior densidade, como florestas e menor estresse hídrico, enquanto valores de 0 a -1 indicam áreas como solo exposto, áreas construídas ou a presença de lâmina d'água. As bandas espectrais do vermelho visível (RED) e do infravermelho próximo (NIR) correspondem respectivamente às bandas 3 e 4 para as imagens do satélite Landsat 5, enquanto para as imagens referentes ao Landsat 8, correspondem respectivamente às bandas 4 e 5. Em seguida foi realizado o cálculo da geração dos NDVIs para as três cidades analisadas e seus anos correspondentes, no qual foi executado através da ferramenta *Raster Calculator*, conforme a Equação 1.

$$(1) \quad NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$$

Onde:

*NDVI* - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada;

*NIR* – banda do infravermelho próximo;

*RED* – banda do vermelho.

Posteriormente foi obtido o Índice de Diferença Normalizada para Áreas Construídas (NDBI), proposto por Zha, Gao e Ni (2003). Esse índice foi desenvolvido e projetado para visualizar a resposta espectral de áreas impermeáveis como terrenos construídos através da diferença observada de bandas correspondentes ao infravermelho próximo (NIR) e ao infravermelho médio (MIR) (ESTOQUE; MURAYAMA; AKIYAMA, 2015). Através da combinação de bandas, assim como o NDVI, os resultados variam de -1 a +1, porém valores mais próximos de +1 indicam áreas impermeáveis, como edificações e ocupações urbanas e valores próximos de -1 indicam áreas não construídas.

O índice é obtido pela combinação das bandas 4 e 5 para as imagens do Landsat 5 e das bandas 5 e 6 para as imagens do Landsat 8, que representam respectivamente as bandas



espectrais do infravermelho próximo (NIR) e do infravermelho médio (MIR).

As bandas foram reprojadas para o sistema de referência SIRGAS 2000 e em seguida o índice foi construído através da ferramenta *Raster Calculator* para as cidades selecionadas e seus respectivos anos, conforme a Equação 2.

$$(2) \quad NDBI = \frac{(MIR - NIR)}{(MIR + NIR)}$$

Onde:

*NDBI* - Índice de Diferença Normalizada para Áreas Construídas;

*MIR* – banda do infravermelho médio;

*NIR* – banda do infravermelho próximo.

Apesar do NDBI gerar valores que auxiliam no processo de classificação de áreas urbanizadas, de forma a distinguir seus diferentes tipos de usos e ocupações, segundo Xu (2008) o índice apresenta certa incoerência. Frequentemente, as respostas à radiação eletromagnética de áreas urbanizadas são misturadas com as respostas de solo exposto, gerando assim uma única classificação.

Sendo assim, de modo a reduzir os possíveis erros, utilizou-se o método proposto por He et al. (2010), denominado de Índice de Construção (BU). Através da combinação dos índices NDVI e NDBI é possível diferenciar de forma mais precisa áreas de solo exposto, construções e vegetação. Para o índice, valores positivos, próximos de +1, representam áreas impermeáveis, enquanto valores negativos, próximos de -1, representam áreas permeáveis.

O cálculo para obtenção do BU foi realizado através da ferramenta *Raster Calculator*, para as cidades e anos selecionados, conforme a Equação 3.

$$(3) \quad BU = NDBI - NDVI$$

Onde:

*BU* – Built-up index;

*NDVI* - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada;

*NDBI* - Índice de Diferença Normalizada para Áreas Construídas.

Para gerar mapas termais baseados na Temperatura da Superfície utilizou-se a banda correspondente ao infravermelho termal, na qual se refere à banda 6 para imagens do satélite Landsat 5, no ano de 2000, e banda 10 para imagens do satélite Landsat 8, no ano de 2020.

Primeiramente foi efetuada a conversão de números digitais (DN) para radiância no topo da atmosfera (TOA), em que se utilizou a Equação 4 para imagens do satélite Landsat 5, segundo a metodologia proposta por Chander, Markham e Helder (2009) e a Equação 5 para imagens do satélite Landsat 8, por meio da ferramenta *Raster Calculator*.

$$(4) \quad L\lambda = \left( \frac{Lmáx\lambda - Lmín\lambda}{QCALmáx - QCALmín} \right) \times (QCAL - QCALmín) + Lmín\lambda$$

Onde:

$L\lambda$  - Radiância espectral no topo da atmosfera (TOA) ( $W/m^2*sr*\mu m$ );

$Lmáx\lambda$  - Radiância espectral, dimensionado para  $QCALmáx$  ( $W/m^2*sr*\mu m$ ) = 15,303;

$Lmín\lambda$  - Radiância espectral, dimensionado para  $QCALmín$  ( $W/m^2*sr*\mu m$ ) = 1,2378;

$QCALmáx$  - Valor máximo de píxel quantizado calibrado correspondente para  $Lmáx\lambda$  (DN) = 255;

$QCALmín$  - Valor mínimo de píxel quantizado calibrado correspondente para  $Lmín\lambda$  (DN) = 1;

$QCAL$  - Valor quantizado calibrado pelo píxel referente a banda 6 (DN).

$$(5) \quad L\lambda = (M_L \times Q_{cal}) + A_L$$

Onde:

$L\lambda$  - Radiância espectral no topo da atmosfera (TOA) ( $W/m^2*sr*\mu m$ );

$M_L$  - Fator multiplicativo de redimensionamento da banda 10 =  $3,342e^{-04}$ ;

$QCAL$  - Valor quantizado calibrado pelo píxel referente a banda 10 (DN);

$A_L$  - Fator de redimensionamento aditivo específico da banda 10 = 0,10000.

As constantes  $Lmáx\lambda$  e  $Lmín\lambda$  presentes na Equação 4, assim como  $M_L$  e  $A_L$  presentes na Equação 5, foram retiradas dos metadados contidos nas imagens adquiridas. Os valores correspondentes foram inseridos acima, acompanhados da definição de cada constante.

Posteriormente, foi realizada a conversão da radiância espectral, obtida nas equações anteriores, para a temperatura de brilho no topo da atmosfera (TOA) em graus Celsius ( $^{\circ}C$ )

com o uso da ferramenta *Raster Calculator* (Equação 6). A mesma equação é utilizada para os satélites Landat 5 e Landsat 8, porém baseadas nas bandas 6 e 10, respectivamente.

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

Onde:

$T_c$  - Temperatura de brilho do topo da atmosfera (C°);

$L\lambda$  - Radiância espectral no topo da atmosfera (TOA) ( $W/m^2*sr*\mu m$ );

$K_1$  - Constante de conversão térmica específica da banda = 607,76 (banda 6), 774,8853 (banda 10);

$K_2$  - Constante de conversão térmica específica da banda = 1260,56 (banda 6), 1321,0789 (banda 10).

Os valores das constantes  $K_1$  e  $K_2$  foram retirados dos metadados contidos nas imagens adquiridas. Os respectivos valores estão representados acima.

### 2.3. Obtenção de Dados Meteorológicos

Os dados de precipitação e temperatura do ar foram analisados para os decêndios anteriores das datas referentes as imagens obtidas, de forma a relacionar as condições meteorológicas com os índices gerados, visto que podem interferir na resposta espectral da superfície. Os dados foram obtidos através da plataforma *Nasa-Power* na qual utiliza dados de satélite com cobertura mundial, estimados por meio de sensores. A ferramenta apresenta uma ampla e completa série histórica de dados, além de demonstrar eficiência, visto que quando realizada a validação com estações meteorológicas, seus resultados são semelhantes (SILVA, 2018).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para os índices calculados da área urbana dos municípios selecionados apresentaram-se de forma coerente, tendo em vista o crescimento urbano



observado ao longo dos anos. Serão discutidos separadamente de forma a facilitar a compressão dos mesmos. Todos os índices apresentaram resolução espacial de 30 metros.

Com relação aos eventos meteorológicos ocorridos durante os decêndios anteriores (10 dias anteriores incluindo o dia da captura) da captura das imagens, a Tabela 3 contém os dados obtidos de precipitação e temperatura média do ar, que permite relacionar com as características de cada índice gerado, assim como com a formação de ilhas de calor.

**Tabela 3** - Dados de precipitação e temperatura do ar, correspondentes ao decêndio anterior às datas das imagens, obtidos através da plataforma NASA-Power para as cidades de Joinville, Criciúma e Lages.

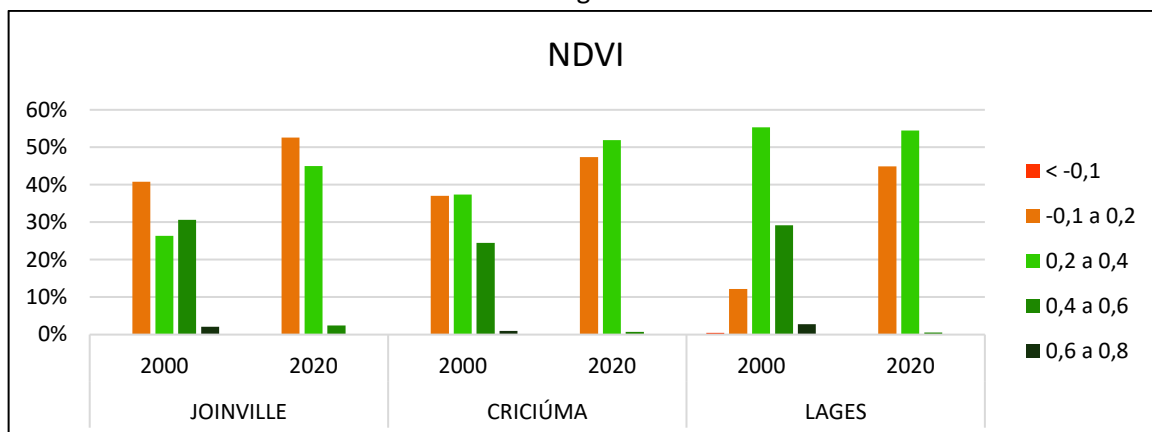
Cidades	Ano	Data da imagem	Decêndio anterior	Precipitação total do decêndio (mm)	Número de dias de chuva no decêndio	Temperatura média do ar no decêndio(C°)
Joinville	2000	19/ago	09/ago	23,47	7	14,2
	2020	07/jun	28/mai	32,14	6	18,3
Criciúma	2000	04/set	25/ago	41,37	6	12,8
	2020	23/jun	13/jun	3,23	6	17,5
Lages	2000	23/jun	13/jun	43,70	5	10,6
	2020	14/jun	04/jun	112,20	10	12,4

**Fonte:** Elaborado pelos autores (2022).

### 3.1. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

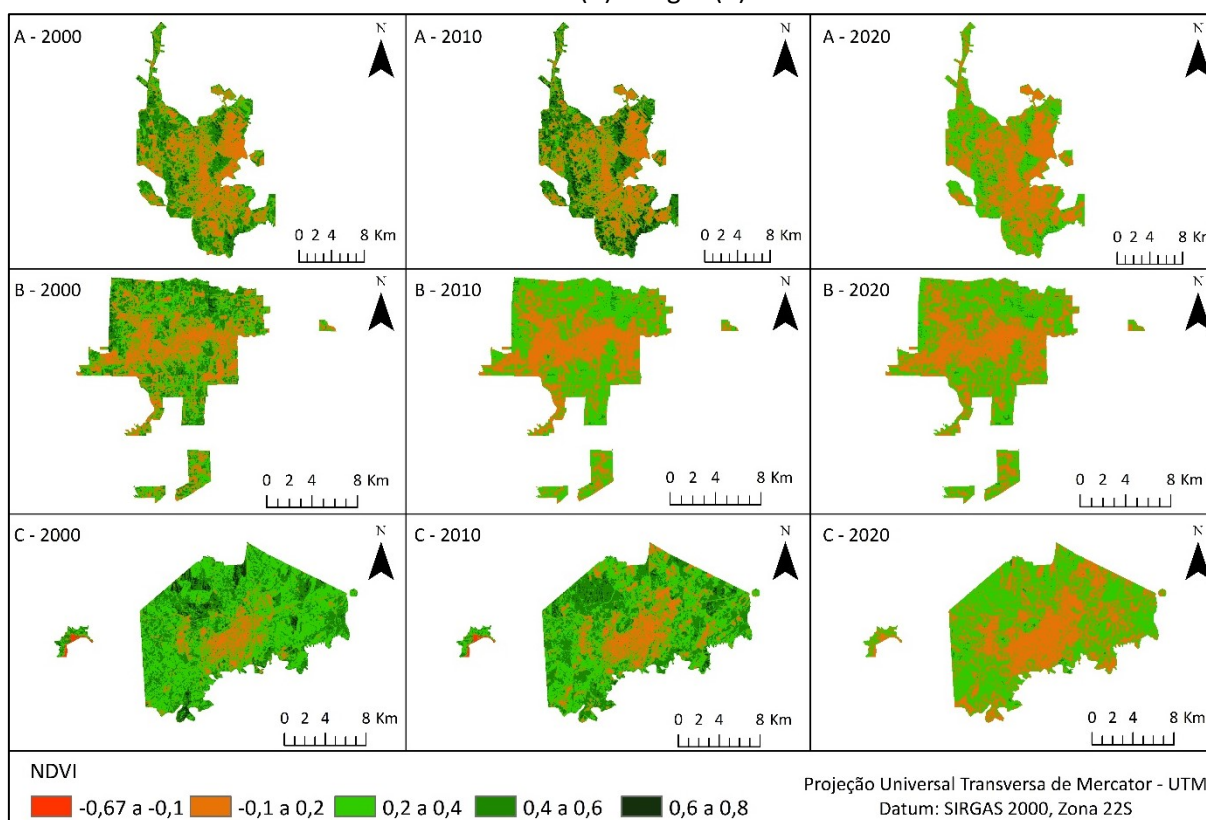
Para as três cidades analisadas observou-se que a média do índice, como também o valor máximo encontrado, que representa a densidade máxima vegetativa, apresentou grandes reduções ao longo dos anos, fato que pode causar influência na formação de ilhas de calor. Através do gráfico representado pela Figura 2 e do mapa da Figura 3, nota-se que para o ano de 2020 as classes com valores de 0,4 a 0,6 e de 0,6 a 0,8 são praticamente nulas. Esse fato está relacionado à substituição de vegetação densa, como matas fechadas, por áreas residenciais e comerciais, principalmente aos arredores da porção central devido ao crescimento urbano das cidades.

**Figura 2** - Variação das classes de NDVI ao longo dos anos para a área urbana de Joinville, Criciúma e Lages.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

**Figura 3** - Representação do índice NDVI ao longo dos anos para a área urbana de Joinville (A), Criciúma (B) e Lages (C).



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

A cidade de Joinville é caracterizada por apresentar intenso desenvolvimento urbano, com expressivo setor industrial, além de ter resultado no maior crescimento populacional ao longo dos anos quando comparada às demais cidades, onde se observa maior frequência de valores negativos e próximos a zero, com o predomínio da cor laranja no mapa da Figura 3.

Segundo Moreira e Amorim (2015), esses valores correspondem a áreas que apresentam solos expostos e elevada urbanização, com alta densidade de edificações e superfícies impermeáveis. A combinação desses fatores favorece a formação das ilhas de calor urbanas, que será discutido posteriormente.

Criciúma apresenta uma peculiaridade visto que a maior parte da área não é ocupada unicamente por porções impermeáveis, como construções urbanas, mas divide espaço com outras classes que indicam áreas cultivadas, além de áreas de vegetação rala, como pastagens, que encontram-se circundando a área urbana. A cidade também possui diversas praças, além de grandes parques ecológicos e municipais, que contribuem para o equilíbrio do NDVI. Ao longo dos anos, Criciúma apresentou variação populacional positiva, que resultou na construção de novos espaços residenciais, como novos loteamentos que cercam a mancha urbana da cidade. Essas novas ocupações causaram uma redução do índice, onde anteriormente, essas áreas estavam concentradas principalmente entre a classe 0,2 e 0,4 e passaram a apresentar valores entre -0,1 e 0,2 para o ano de 2020.

A cidade de Lages possui características diferentes das demais, visto que sua expansão urbana aconteceu de forma mais lenta como pode ser observado na Figura 2, em que classes que indicam áreas urbanizadas (cor laranja e vermelha) para o ano de 2000 apresentaram menor porcentagem quando comparadas às outras cidades. Isso ocorre devido ao seu tamanho populacional e sua variação praticamente nula verificada nas duas últimas décadas. A classe que mais cresceu ao longo dos anos possui valores entre -0,1 e 0,2, que representam o adensamento urbano e ocorrem principalmente na porção nordeste da malha urbana. Tal crescimento ocorreu devido ao plano diretor da cidade que incentiva a expansão para essa área, com o surgimento de novos loteamentos e centros de compra.

Ao redor da porção central da cidade existem vários fragmentos de florestas plantadas em decorrência do forte setor madeireiro presente na cidade, além de possuir diversas fábricas de papel e celulose (GEISER, 2006). Através das imagens foi possível identificar áreas de solo exposto nessas regiões, principalmente na porção noroeste, que resultou na redução do vigor vegetativo para o ano de 2020. A cobertura vegetal dessas áreas varia conforme os anos devido aos ciclos de colheitas das espécies exóticas de *Pinus* e *Eucalyptus*, além de que a redução das classes também pode estar relacionada a eventos de chuva. Para a data da imagem do ano de 2020, houve precipitação mais intensa ao longo do decêndio anterior (10



dias anteriores) quando comparada ao ano de 2000, conforme a Tabela 4, em que pode resultar na alteração da resposta radiométrica dos alvos (SOUZA e FERREIRA, 2012).

**Tabela 4** - Precipitação diária absoluta correspondente ao decêndio anterior das datas das imagens dos anos 2000 e 2020 em Lages obtidos através de estação meteorológica.

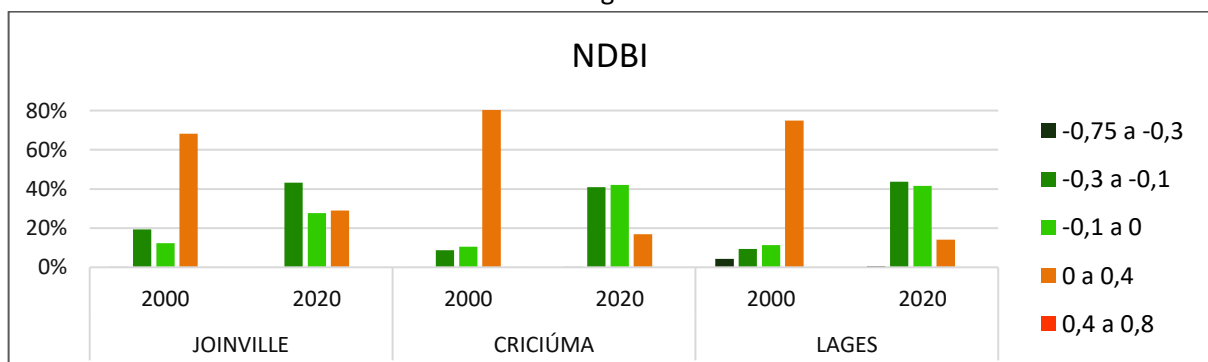
Dias anteriores às datas das imagens	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Precipitação diária (mm) - 2000	0	0	5,7	18,4	15	3,1	0	0	0	1,5	43,7
Precipitação diária (mm) - 2020	4,4	0,4	2,6	27,4	40,8	0,8	0,6	12,6	22,4	0,2	112,2

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

### 3.2. Índice de Diferença Normalizada para Áreas Construídas (NDBI)

Conforme esperado, os valores de NDBI e NDVI demonstraram comportamento oposto, em que áreas com valores negativos de NDVI apresentaram-se de forma positiva no NDBI, como regiões impermeáveis. Porém, o índice apresenta limitações na sua classificação visto que valores de reflectância de áreas construídas são misturados com valores de vegetações mais secas e solo exposto (XU, 2008). Através da Figura 4 observa-se o predomínio dessa classe para o ano 2000, porém para o ano de 2020 ocorre uma drástica redução. Essa redução pode estar relacionada com a melhora da qualidade espectral das bandas utilizadas devido ao avanço tecnológico ao longo dos anos, que resulta em uma classificação mais precisa.

**Figura 4** - Variação das classes de NDBI ao longo dos anos para área urbana de Joinville, Criciúma e Lages.

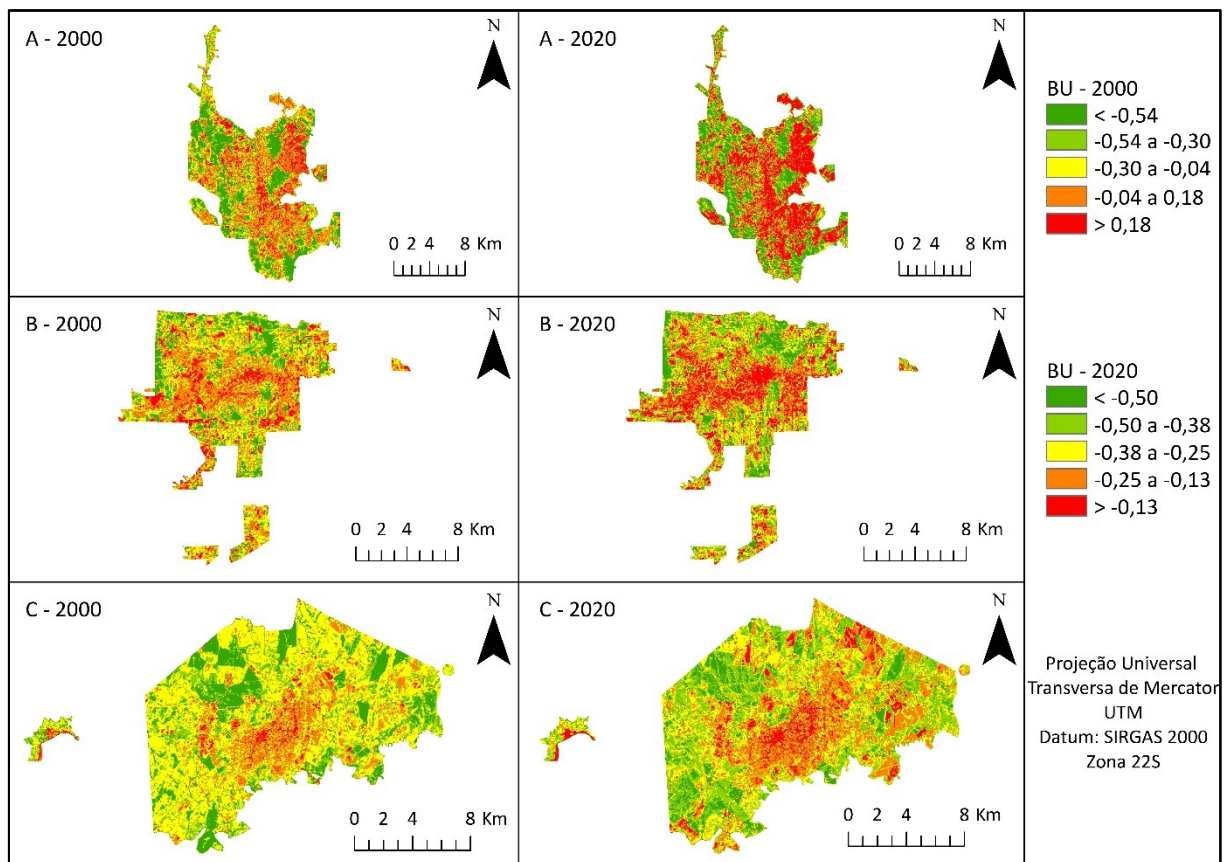


Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

### 3.3. Índice de Construção (BU)

Por conta dos problemas apresentados de classificação do índice NDBI, utilizou-se o BU (Figura 5), de forma a compreender melhor o comportamento do crescimento urbano nas últimas duas décadas. Conforme He et al. (2010) o índice apresenta melhor distinção entre área urbana e solo exposto, possibilitando interpretações mais precisas.

**Figura 5** - Representação do índice BU ao longo dos anos para a área urbana de Joinville (A), Criciúma (B) e Lages (C).



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

A distribuição de classes, observada na Figura 5, foi realizada de uma forma para o ano de 2000, enquanto para o ano de 2020 apresenta-se de forma diferente, pois os intervalos obtidos para esse ano resultaram em menor amplitude, assim como o estudo de Rezende e Rosa (2019). Portanto, para a validação do índice, optou-se pela mudança nos intervalos das classes, baseadas nas imagens de satélite.

Joinville não sofreu mudanças significativas nas duas últimas décadas com relação às áreas impermeáveis, visto que no ano 2000 a cidade já apresentava área urbana fortemente consolidada conforme os resultados obtidos para o BU. As maiores mudanças ocorreram nas

porções leste e noroeste (Figura 5), tal fato está relacionado respectivamente com o crescimento de áreas residenciais e da zona industrial da cidade, que conta com diversos setores como têxtil e metalúrgico.

Com relação à cidade de Criciúma, observa-se a expansão do centro urbano que se dispersa até a porção leste, onde se nota o aumento sutil de pontos vermelhos devido à maior impermeabilização do solo dessa área, os quais são provocados principalmente pelo surgimento de novos centros de compras. As regiões Norte e Nordeste também resultaram em crescimento de áreas impermeáveis em razão de instalações de novas indústrias, assim como da expansão de zonas residenciais.

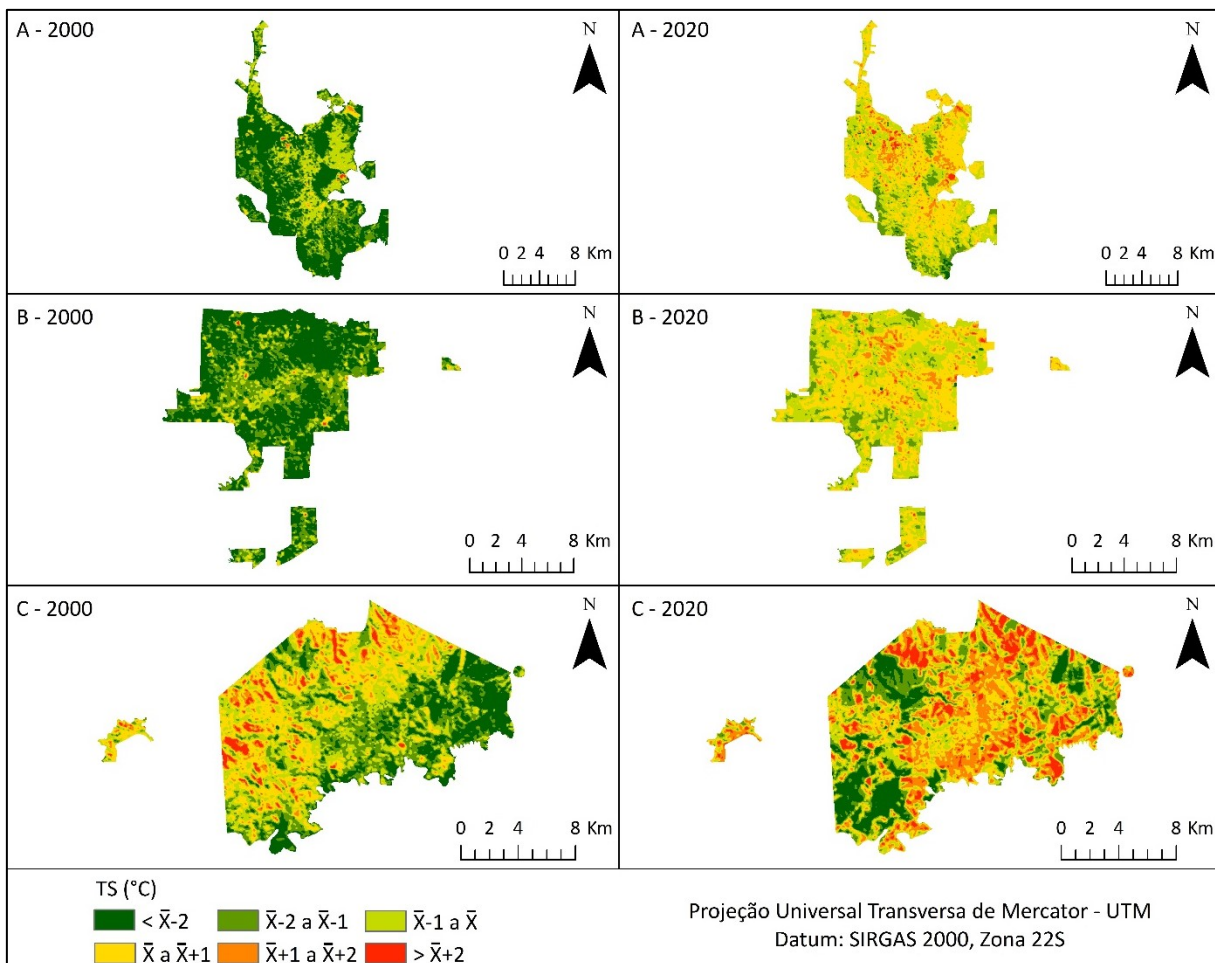
O centro urbano de Lages, assim como ocorrido em Criciúma, registrou um aumento significativo no grau de impermeabilidade devido principalmente ao crescimento de áreas comerciais, novas edificações e pavimentações, além de áreas de solo exposto. Observa-se também, a partir da Figura 5, o crescimento da porção centro-oeste devido à expansão da área industrial da cidade e conseqüente aumento das áreas residenciais ao redor.

### 3.4. Identificação de Ilhas de Calor de Superfície

A Figura 6 ilustra as formações do fenômeno ao longo dos anos com base na temperatura da superfície calculada conforme a Equação 6, em que as 6 classes utilizadas foram baseadas na temperatura média dos píxeis das imagens de 2020 ( $\bar{X}$ ) de cada cidade, de forma a possibilitar a análise da evolução dos anos estudados. De acordo com os cálculos realizados, as temperaturas médias encontradas no ano de 2020 para as cidades de Joinville, Criciúma e Lages foram respectivamente 19,5 °C, 20,9 °C e 11,8 °C. A primeira classe (verde escuro) representa os valores de temperatura da superfície menores que 2 °C abaixo da média obtida para a imagem correspondente ao ano 2020 ( $< \bar{X} - 2$ ), a segunda classe (verde claro) representa valores entre 2 °C a 1 °C abaixo da média ( $\bar{X} - 2$  a  $\bar{X} - 1$ ), assim sucessivamente.



**Figura 6** - Identificação de ilhas de calor através da temperatura da superfície para a área urbana de Joinville (A), Criciúma (B) e Lages (C).

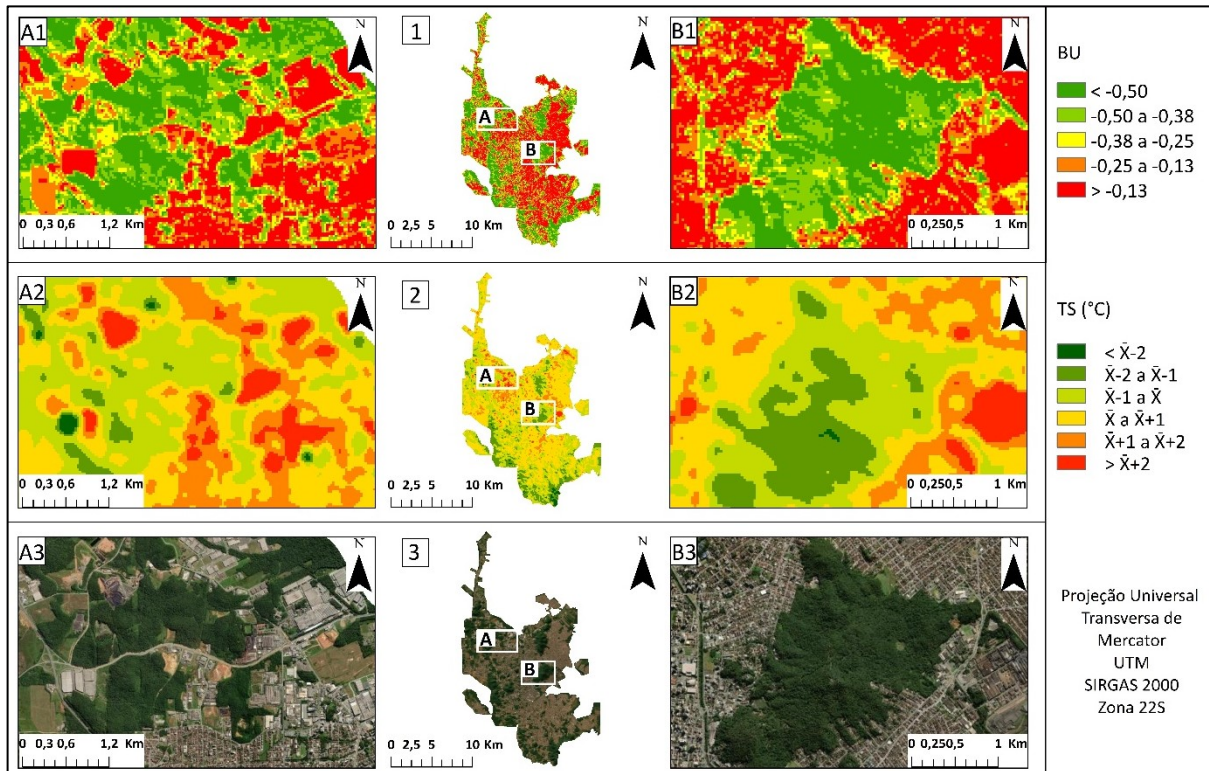


**Fonte:** Elaborado pelos autores (2023).

Para a localidade de Joinville, os grandes focos de calor da cidade corresponderam às porções que apresentaram maiores valores de BU e reduzidos de NDVI, sendo essas, as porções leste e noroeste, caracterizadas por grandes concentrações de áreas impermeáveis. Esses pontos se intensificaram ao longo dos anos, sendo possível observar no ano de 2020 a formação do fenômeno das ilhas de calor devido ao espalhamento da mancha de temperaturas mais elevadas em comparação às áreas circundantes. Essas áreas são formadas principalmente por zonas industriais do setor metalúrgico, representada pela Figura 7A, como também por zonas residenciais circundantes que sofreram expansão ao longo dos anos, contribuindo assim para a formação do fenômeno. As diferenças de temperatura encontradas nessas localidades apresentaram maior variação devido à presença de grandes áreas vegetadas aos arredores de ambos os locais, como o Parque Zoobotânico (Figura 7B) na porção leste, visto que esse tipo de cobertura consegue reduzir a temperatura pelo

sombreamento gerado, assim como pelo processo de evapotranspiração (DIMOUDI e NIKOLOPOULOU, 2003).

**Figura 7** – Representação do índice BU (1), Temperatura da Superfície (2) e Cor verdadeira (3) para diferentes áreas da cidade de Joinville no ano de 2020.

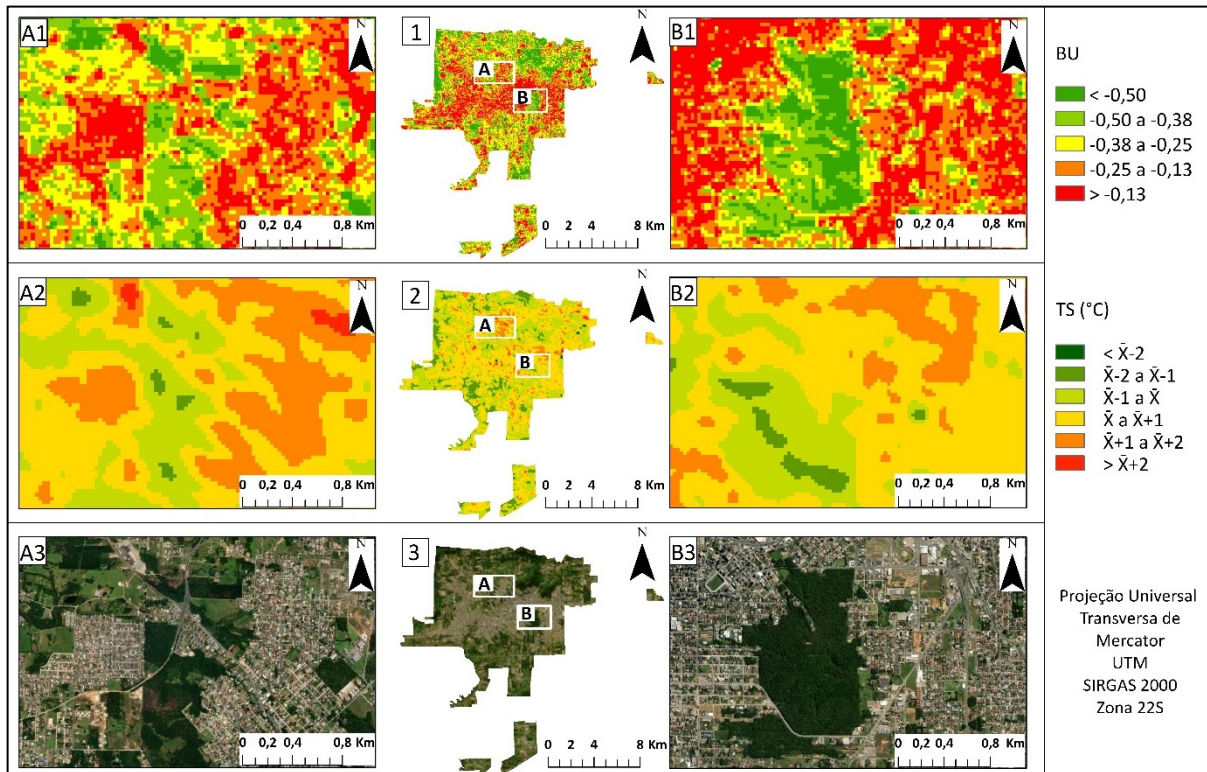


Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Para a cidade de Criciúma, as ilhas de calor surgem de forma mais consolidada na imagem referente ao ano de 2020, localizadas principalmente nas porções norte, nordeste e central da cidade, que corresponderam aos locais onde se observou o aumento de valores de BU. Os focos de calor identificados ao norte e nordeste, principalmente para o ano de 2020, caracterizam-se pela presença de mineradoras, áreas de solo exposto, grandes adensamentos residenciais, representado pela Figura 8A, além da presença de indústrias de diversos setores. Já as ilhas de calor localizadas na porção central da cidade são caracterizadas pela presença de alta densidade de edifícios, centros comerciais, fábricas e fragmentos de solo exposto, em que a ausência de vegetação dificulta a passagem de ar e facilitam a condução do calor devido às propriedades térmicas desses materiais (LUCENA, 2013). Essas regiões também resultaram elevadas temperaturas quando em comparação com áreas circundantes como o Parque Municipal Morro do Céu, observado na Figura 8B, que possui 85,5 hectares de áreas

preservadas, no qual apresentou valores superiores de NDVI (0,4) e o valor inferiores de BU (-0,7).

**Figura 8** – Representação do índice BU (1), Temperatura da Superfície (2) e Cor verdadeira (3) para diferentes áreas da cidade de Criciúma no ano de 2020.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

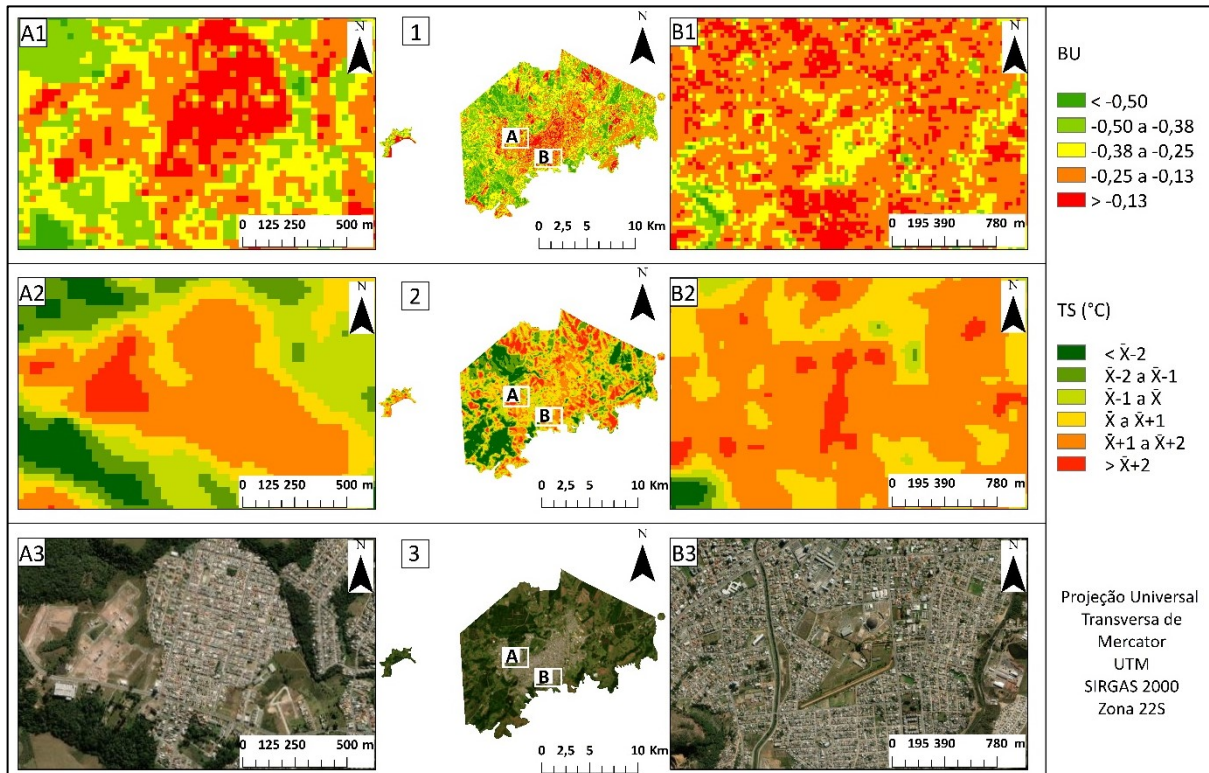
Com relação a Lages, na imagem referente ao ano de 2000 (Figura 6), diferente do ocorrido para as outras cidades, é possível identificar a formação do fenômeno ao norte e extremo oeste da cidade, que representam áreas destinadas à pastagem, agricultura e fragmentos de áreas reflorestadas, em que no período da imagem, corresponderam a épocas de solo exposto. Conforme Mashiki (2012), esse tipo cobertura possui a capacidade de aumentar a temperatura do local, visto que aquece de forma rápida quando sujeito à exposição solar.

Para a cena de 2020, nota-se a maior frequência de manchas vermelhas em comparação a 2000, mesmo com maior registro de precipitação para os dias anteriores da data da imagem (Tabela 3), que pode ter influenciado nas respostas dos alvos. Esse aumento está relacionado com o surgimento de ilhas de calor para porções unicamente urbanas na parte central (Figura 9A) e centro-oeste (Figura 9B), devido ao crescimento de áreas residenciais e industriais, respectivamente. O comportamento dos índices deu-se de forma semelhante às demais



idades, em que os valores máximos de BU e mínimos de NDVI corresponderam a áreas propensas à formação de ilhas de calor.

**Figura 9** – Representação do índice BU, Temperatura da Superfície e Cor verdadeira para diferentes áreas da cidade de Lages no ano de 2020.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de técnicas de sensoriamento remoto tornou-se imprescindível para a análise e compreensão dos fenômenos que ocorrem na superfície terrestre, quando se trata principalmente da obtenção de resultados abrangentes. O uso dessa tecnologia permitiu o detalhamento das características das superfícies urbanas de diferentes cidades do estado de Santa Catarina através dos índices calculados. A manipulação de tais ferramentas promoveu a identificação do fenômeno de ilhas de calor urbanas de superfície, mesmo em períodos mais frios, entre os meses de inverno e outono, em que as superfícies se encontram mais resfriadas.

As ilhas de calor de superfície identificadas nas cidades de Joinville e Criciúma possuem características semelhantes, assim como o comportamento dos índices NDVI, NDBI e BU, visto que resultam de processos de ocupação urbana ao longo dos anos, seja por indústrias ou

aglomerados residenciais. Ambas as cidades detêm de elevada concentração populacional, em comparação às demais cidades do estado, que contribui para a formação do fenômeno.

Já para a cidade de Lages, as ilhas de calor formadas apresentaram características diferentes das demais, visto que não se concentram apenas na porção central, mas também nas porções mais extremas relacionadas a fragmentos de solo exposto, que representaram valores elevados de BU ( $> -0,13$ ) e reduzidos de NDVI ( $-0,1$  a  $0,2$ ). Com relação à malha urbana, o fenômeno demonstrou maior intensidade para o ano de 2020 em comparação à Joinville e Criciúma, apesar do seu tamanho reduzido. Dessa forma, pode-se afirmar que as ilhas de calor dependem diretamente do grau ocupação de solo que a cidade apresenta, em que podem se formar nas mais diversas configurações de crescimento urbano.

Diante do exposto, ressalta-se a importância da preservação de áreas verdes em centros urbanos, como parques e praças arborizadas, em razão da manutenção que exercem na temperatura da superfície, como identificado nas cidades analisadas. Além disso, faz-se necessário a construção adequada de edificações que respeitem a legislação urbana do município no que se refere às áreas permeáveis conforme as taxas de permeabilidade determinadas. Sendo assim, estudos como esse auxiliam na fundamentação teórica para a tomada de decisão da gestão pública e assim, para um avanço em práticas mais sustentáveis no desenvolvimento das cidades.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Elânia Daniele Silva; SILVA, Janaína Barbosa da; MACHADO, Célia Cristina Clemente. Identificação de Ilhas de Calor na Cidade de Campina Grande-PB utilizando Sensoriamento Remoto. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 2, p. 614-626, maio, 2016. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/233670>>. Acesso em: 4 maio. 2022.

CHANDER, Gyanesh; MARKHAM, Brian; HELDER, Dennis. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, p. 893-903, jan. 2009. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425709000169>>. Acesso em: 16 mar. 2022.

DIMOUDI, Argiro; NIKOLOPOULOU, Marialena. Vegetation in the Urban Environment: Microclimatic Analysis and Benefits. **Energy and Buildings**, v. 35, n. 1, p. 69-76, jan. 2003. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778802000816>>. Acesso em: 14 set. 2023.

ESTOQUE, Ronald; MURAYAMA, Yuji; AKIYAMA, Chiaki Mizutani. Pixel-based and object-based classifications using high- and medium-spatial-resolution imageries in the urban and suburban landscapes. **Geocarto International**, v. 30, n. 10, p. 1113-1129, abr. 2015. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/274712833\\_Pixel-based\\_and\\_object-based\\_classifications\\_using\\_high-\\_and\\_medium-spatial-resolution\\_imageries\\_in\\_the\\_urban\\_and\\_suburban\\_landscapes](https://www.researchgate.net/publication/274712833_Pixel-based_and_object-based_classifications_using_high-_and_medium-spatial-resolution_imageries_in_the_urban_and_suburban_landscapes)>. Acesso em: 9 jul. 2022.

GEISER, Gustavo Caminoto. **O Pólo Madeireiro E Suas Implicações No Desenvolvimento Da Região Dos Campos De Lages, Santa Catarina**. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006. Disponível em: <[http://docente.ifsc.edu.br/roberto.komatsu/MaterialDidatico/Agroneg%C3%B3cio\\_2Mod\\_2017\\_1\\_Agric2/Florestas/MaterialConsultaMadeira/PoloMadeireiroLages2007.pdf](http://docente.ifsc.edu.br/roberto.komatsu/MaterialDidatico/Agroneg%C3%B3cio_2Mod_2017_1_Agric2/Florestas/MaterialConsultaMadeira/PoloMadeireiroLages2007.pdf)>. Acesso em: 11 jun. 2022.

HE, Chunyang et al. Improving the normalized difference built-up index to map urban built-up areas using a semiautomatic segmentation approach. **Remote Sensing Letters**, v. 1, n. 4, p. 213-221, dez. 2010. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/233088045\\_Improving\\_the\\_normalized\\_difference\\_built-up\\_index\\_to\\_map\\_urban\\_built-up\\_areas\\_using\\_a\\_semiautomatic\\_segmentation\\_approach](https://www.researchgate.net/publication/233088045_Improving_the_normalized_difference_built-up_index_to_map_urban_built-up_areas_using_a_semiautomatic_segmentation_approach)>. Acesso em: 14 set. 2023.

Howard, Luke. **The climate of London: Meteorological Observations, Made at Different Places in the Neighborhood of Metropolis**. Londres: Baldwin C, 1818. Disponível em: <[https://books.google.com.br/books?id=7skTAAAYAAJ&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.br/books?id=7skTAAAYAAJ&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)>. Acesso em: 5 jun. 2023.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo demográfico. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/25089-censo-1991-6.html?=&t=downloads>>. Acesso em: 9 mar. 2022.

LIU, Hui Qing; HUETE, Alfredo. A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmosphere noise. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 33, n. 2, p. 457-465, mar. 1995. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8746027>>. Acesso em: 10 mar. 2022.

LUCENA, Andrews José de. Notas Conceituais e Metodológicas em Clima Urbano e Ilhas de Calor. **Continentes**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 2, p. 28-59, jan. 2013. Disponível em: <<https://www.revistacontinentes.com.br/index.php/continentes/article/view/17>>. Acesso em: 26 jun. 2022.

MASHIKI, Mônica Yuri. **Geoprocessamento na Identificação de Ilhas de Calor e Influência do Uso e Ocupação do Solo na Temperatura Aparente da Superfície no Município de Botucatu/SP**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012. Disponível em:

<[https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90507/mashiki\\_my\\_me\\_botfca.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90507/mashiki_my_me_botfca.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Acesso em: 26 jun. 2022.

MOREIRA, Janaína Lopes; AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade. 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, jul. 2015. Disponível em: <<http://www.geosaberes.ufc.br/geosaberes/article/view/468>>. Acesso em: 10 mar. 2022.

MOREIRA, Janaína Lopes. **O clima urbano em Penápolis/SP: análise da temperatura e umidade intraurbana**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/146745>>. Acesso em: 4 maio. 2022.

NASCIMENTO, Fabrício Holanda do; JARDIM, Carlos Henrique; RANGEL, Silênia de Azevedo Silveira. Variação Da Temperatura De Superfície Através De Técnicas De Sensoriamento Remoto: Análise De Dois Episódios Para O Concelho De Coimbra, Portugal/2018. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 28, p. 118-137, abr. 2021. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/75954>>. Acesso em: 4 maio. 2022.

OKE, Timothy Richard. **Boundary Layer Climates: Second Edition**. Routledge, 2002. Disponível em: <[https://www.academia.edu/16752781/T\\_R\\_Oke\\_Boundary\\_Layer\\_Climates\\_1988\\_PDF](https://www.academia.edu/16752781/T_R_Oke_Boundary_Layer_Climates_1988_PDF)>. Acesso em: 14 set. 2023.

OKE, Timothy Richard et al. **Urban climates**. Cambridge: Cambridge University Press, 2017. Disponível em: <[https://aerisfuturo.pl/wp-content/uploads/2018/09/Urban\\_Climates-1.pdf](https://aerisfuturo.pl/wp-content/uploads/2018/09/Urban_Climates-1.pdf)>. Acesso em: 22 fev. 2023.

OLIVEIRA, Jeorge Luis Martins de; NETO, Sebastião Pinheiro Gonçalves de Cerqueira; SILVA, João Batista Lopes da. Avaliação das mudanças no uso e ocupação do solo do Município de Eunápolis-BA através da análise da eficiência dos índices espectrais de NDVI, NDBI e Built-Up. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 9, p. 87529-8754, set. 2021. Disponível em: <<https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/35597>>. Acesso em: 4 maio. 2022.

ORHAN, Osman; EKERCIN, Semih; DADASER-CELIK, Filiz. Use of Landsat land surface temperature and vegetation indices for monitoring drought in the Salt Lake Basin Area, Turkey. **The Scientific World Journal**, v. 2014, jan. 2014. Disponível em: <<https://www.hindawi.com/journals/tswj/2014/142939/>>. Acesso em: 8 maio. 2022.

POPULAÇÃO SERRANA ESTÁ ENCOLHENDO, APONTA CENSO/2010. **Amures**, 2010. Disponível em: <<https://amures.org.br/noticias/ver/2014/09/populacao-serrana-esta-encolhendo-aponta-censo2010>>. Acesso em: 10 jul. 2022.

RANAGALAGE, Manjula.; ESTOQUE, Ronald; MURAYAMA, Yuji. An Urban Heat Island Study of the Colombo Metropolitan Area, Sri Lanka, Based on Landsat Data (1997–2017). **International Journal of Geo-Information**, v. 6, n. 7, jun. 2017. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2220-9964/6/7/189>>. Acesso em: 22 fev. 2023.



ROMERO, Marta Adriana Bustos et al. **Mudanças Climáticas E Ilhas De Calor Urbanas**. Brasília: ETB, 2019. Disponível em: <<https://repositorio.unb.br/handle/10482/34661>>. Acesso em: 18 mar. 2022.

REZENDE, Patrícia Soares; ROSA, Roberto. Análise Temporal De Superfícies Impermeáveis Em Área Urbana Através Do Índice Built-Up (Bu). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO INSTITUTO DE GEOGRAFIA, 19., 2019, Santos. **Anais eletrônicos** [...] São José dos Campos: INPE, 2019, p. 328-331, 2019. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbsr-2019/papers/analise-temporal-de-superficies-impermeaveis-em-area-urbana-atraves-do-indice-built-up--bu-?lang=pt-br>>. Acesso em: 20 maio. 2022.

ROUSE, J. W et al. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: ERTS SYMPOSIUM, 3., 1973, Washignton, **Proceedings** [...], v. 1, p. 309-317, 1973. Disponível em: <<https://ntrs.nasa.gov/citations/19740022614>>. Acesso em: 14 set. 2023.

SILVA, Tecla Ticiane Félix. **Parâmetros Biofísicos a Partir de Sensoriamento Remoto na Avaliação de Mudanças do Uso e Ocupação do Solo no Município de Petrolina, Pernambuco**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2018. Disponível em: <<http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/7630>>. Acesso em: 26 jun. 2022.

SOUZA, Silvio Braz de; FERREIRA, Laerte Guimarães. Análise da temperatura de superfície em ambientes urbanos: um estudo por meio de sensoriamento remoto no município de Goiânia, Goiás (2002-2011). **Confins**, n. 15, jun, 2012. Disponível em: <<https://journals.openedition.org/confins/7631?gathStatIcon=true&lang=pt>>. Acesso em: 26 jun. 2022.

TEZA, Cláudio Tavares Viana; BAPTISTA, Gustavo Macedo de Mello. Identificação do fenômeno ilhas urbanas de calor por meio de dados ASTER on demand 08 – Kinetic Temperature (III): metrópoles brasileiras. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais** [...] Goiânia: INPE, p. 3911-3918. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.01.17.52/doc/3911.pdf>>. Acesso em: 4 maio. 2022.

XU, Hanqiu. A new index for delineating built-up land features in satellite imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 29, n. 14, p. 4269-4276, fev. 2008. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/232724035\\_A\\_new\\_index\\_for\\_delineating\\_built-up\\_land\\_features\\_in\\_satellite\\_imagery](https://www.researchgate.net/publication/232724035_A_new_index_for_delineating_built-up_land_features_in_satellite_imagery)>. Acesso em: 16 mar. 2022.

ZHA, Yong; GAO, Jingqing; NI, S. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imager. **International Journal of Remote Sensing**, v. 24, n. 3, p. 583-594, fev. 2003. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/248977308\\_Use\\_of\\_normalized\\_difference\\_built-up\\_index\\_in\\_automatically\\_mapping\\_urban\\_areas\\_from\\_TM\\_imagery](https://www.researchgate.net/publication/248977308_Use_of_normalized_difference_built-up_index_in_automatically_mapping_urban_areas_from_TM_imagery)>. Acesso em: 15 set. 2021.