

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL  
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS**

**TATIANA BREZOLIN MAGRIN**

**ANÁLISE TEMPORAL DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE NA ÁREA URBANA  
DO MUNICÍPIO DE CAXIAS DO SUL - RS**

**CAXIAS DO SUL**

**2019**

**TATIANA BREZOLIN MAGRIN**

**ANÁLISE TEMPORAL DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE NA ÁREA URBANA  
DO MUNICÍPIO DE CAXIAS DO SUL - RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade de Caxias do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Sensoriamento remoto

Orientadora Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Gisele Cemin

**CAXIAS DO SUL**

**2019**

**TATIANA BREZOLIN MAGRIN**

**ANÁLISE TEMPORAL DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE NA ÁREA URBANA  
DO MUNICÍPIO DE CAXIAS DO SUL - RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade de Caxias do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Sensoriamento remoto

**Aprovado(a) em** \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

**Banca Examinadora**

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Gisele Cemin

Universidade de Caxias do Sul – UCS

---

Prof. Msc. Matheus Lemos Nogueira

Universidade de Caxias do Sul – UCS

---

Dr. Tiago Luis Gomes

Engenheiro Civil - AGESAN

Dedico esse trabalho a todos que estiveram presentes na minha caminhada até aqui. Em especial aos meus pais Zeno e Cleo por todo incentivo e apoio.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradecer aos meus pais Zendenor e Cleomaris por todo apoio e incentivo desde os primeiros passos na escola. Vocês são um exemplo de perseverança e força de vontade que me fazem seguir em frente todos os dias.

Aos meus irmãos José Alberto e Roberta por sempre estarem presentes e fazerem dos meus finais de semana uma verdadeira comédia.

Agradeço também a minha orientadora Gisele Cemin por todo conhecimento, incentivo e amizade de todos esses anos. Certamente grande parte do meu sucesso acadêmico se deve aos teus ensinamentos.

Aos amigos feitos na faculdade, que me deram ânimo para enfrentar todas as aulas, trabalhos, projetos e provas. Em especial a Fabiana Tessari, que por muitas vezes dividiu comigo o desespero dos momentos mais difíceis, mas que também fez parte de muitos momentos divertidos e insanos.

Aos membros da banca, Professor Matheus e Engenheiro Tiago, pela disponibilidade e pela contribuição para evolução desse trabalho.

A todos vocês, muito obrigada por fazerem parte dessa história!

*“Nunca, jamais, desanimeis, embora venham ventos contrários.”*

**Santa Paulina**

## RESUMO

A expansão urbana é um fenômeno global que tem como consequência o aumento da taxa de urbanização nas cidades. Esse fator faz com a temperatura de superfície em centros densamente urbanizados seja superior às áreas verdes representadas principalmente por parques, ruas arborizadas e até mesmo por lagos. Nesse sentido, esse trabalho visou analisar a temperatura de superfície da área urbana de Caxias do Sul-RS por meio do uso de dados de sensoriamento remoto, nos anos de 1993 e 2017. Para isso, foram utilizadas imagens de satélite que representassem cada estação do ano para as datas supracitadas. Inicialmente elaborou-se os mapas de uso do solo para ambos os anos, discriminando cinco classes de uso, a saber: mata, agricultura, solo exposto, urbanização e lâmina d'água. Posteriormente foram corrigidos os efeitos da atmosfera e, na sequência, foi realizada a conversão das imagens para temperatura de superfície. Os resultados indicaram um aumento de cerca de 110% na extensão das áreas urbanizadas no período estudado, juntamente com um aumento, embora menos expressivo, da área de lâmina d'água. As demais classes tiveram decréscimo de suas áreas, justificado pelo avanço da urbanização. Para as temperaturas de superfície, notou-se que o ano de 2017 apresentou os maiores valores em todas as estações do ano quando comparados aos mesmos períodos do ano de 1993. Foi possível identificar sete ilhas de calor na área de estudo, sendo que essas estão localizadas na classe de urbanização e representam áreas de estacionamento e de telhados metálicos oxidados de pavilhões industriais. As temperaturas nas ilhas de calor variaram de 40,26°C até 42,47°C, enquanto as áreas mais frescas, ditas ilhas de frescor, apresentaram temperaturas entre 27,16°C e 32,01°C. As ilhas de frescor são representadas pelos parques, áreas de floresta e reservatórios artificiais de água. Nesses locais, a diferença de temperatura da ilha de frescor para seu entorno chegou a 8,6°C, caso da Represa Dal'Bó e a área urbanizada nas suas proximidades. Nota-se a importância das áreas verdes como refúgios térmicos em ambientes densamente urbanizados. Políticas públicas que valorizam a criação de espaços verdes nos centros urbanos promovem além de espaços de lazer, maior sensação de conforto, principalmente em dias de temperatura elevada.

**Palavras-chave:** Ilha de calor. Ilha de frescor. Uso do solo. Sensoriamento remoto. Geoprocessamento.

## ABSTRACT

Urban expansion is a global phenomenon that has the consequence of increasing the rate of urbanization in the cities. This factor causes a temperature of densely urbanized centers to be higher than the green areas represented mainly by parks, tree-lined streets and even lakes. In this sense, this work was analyzed by the temperature of the urban area of Caxias do Sul-RS through the use of remote sensing data, in the years 1993 and 2017 year for the aforementioned dates. Initially the land use maps were elaborated for both years, discriminating five classes of use, one knowledge: forest, agriculture, naked soil, urbanization and water depth. Afterwards, the effects of the atmosphere were corrected and, afterwards the images were translated to the surface temperature. The results indicate an increase of about 110% in the extension of the urban areas during the studied period, with an increase, less expressive, in the area of water depth. As other classes were decreasing of their areas, justified by the advance of urbanization. For surface temperatures, it was observed that the year 2017 presented the highest values in all the seasons of the year when compared to the same periods of the year 1993. It was possible to identify seven heat islands in the study area, and these are located in the class of urbanization and represented parking areas and rusted metal roofs of industrial pavilions. The temperatures in the heat islands varied from 40.26°C to 42.47°C, while the cooler areas, said islands of freshness, presented temperatures between 27.16°C and 32.01°C. the islands of freshness are represented by parks, forest areas and artificial water reservoirs. In these places, the temperature difference of the island of freshness to its surroundings reached 8.6°C, case of the Dam Dal’Bó and the urbanized areas in its proximities. Note the importance of green areas as thermal refuges in densely urbanized environments. Public policies that value the creation of green spaces in urban centers promote, besides leisure spaces, a greater sense of comfort, especially on high temperature days.

**Keywords:** Heat island.; Island of freshness; Land use; Remote sensing; Geoprocessing.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Relação da temperatura e áreas edificadas .....	19
Figura 2 – Relação das ilhas de calor urbanas com as variáveis .....	20
Figura 3 – Albedo dos materiais.....	21
Figura 4 – Obtenção de dados a partir do sensoriamento remoto .....	27
Figura 5 – Reflectância espectral dos alvos naturais.....	28
Figura 6 - Localização do município de Caxias do Sul.....	31
Figura 7 - Etapas necessárias para realização do estudo .....	32
Figura 8 - Uso do solo na área urbana no ano de 1993 .....	39
Figura 9 - Uso do solo na área urbana no ano de 2017 .....	40
Figura 10 - Temperatura no verão de 1993 .....	42
Figura 11 - Temperatura no verão de 2017 .....	42
Figura 12 - Temperatura no outono de 1993 .....	43
Figura 13 - Temperatura no outono de 2017 .....	43
Figura 14 - Temperatura no inverno de 1993 .....	44
Figura 15 - Temperatura no inverno de 2017 .....	44
Figura 16 - Temperatura na primavera de 1993 .....	45
Figura 17 - Temperatura na primavera de 2017 .....	45
Figura 18 - Temperatura média da área urbana de Caxias do Sul.....	46
Figura 20 - Localização das ilhas de calor em Caxias do Sul .....	48
Figura 21 - Localização das ilhas de frescor em Caxias do Sul .....	50
Figura 22 - Diferença de temperatura, caso Parque Mato Sartori .....	51
Figura 23 - Diferença de temperatura, caso da porção de mata .....	51
Figura 24 - Diferença de temperatura, caso do Parque Cinquentenário.....	52
Figura 25 - Diferença de temperatura, caso do Parque dos Macaquinhos .....	52
Figura 26 - Diferença de temperaturas, caso da Represa Dal’Bó.....	53
Figura 27 - Diferença de temperatura, caso da Lagoa do Rizzo.....	54

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Emitância dos materiais presentes na área urbana .....	28
Tabela 2 - Dados dos satélites Landsat 5 e Landsat 8 .....	29
Tabela 3 - Estações do ano no Hemisfério Sul .....	33
Tabela 4 - Resolução espacial do Landsat 5 e Landsat 8 .....	34
Tabela 5 - Data das imagens utilizadas no estudo .....	34
Tabela 6 - Bandas correspondentes aos comprimentos de onda do azul, verde e vermelho ....	34
Tabela 7 - Constantes utilizadas para correção atmosférica.....	35
Tabela 8 - Parâmetros de conversão dos valores de níveis de cinza para radiância.....	37
Tabela 9 - Coeficientes de correção K1 e K2 .....	38
Tabela 10 - Uso do solo nos anos de 1993 e 2017 e sua variação.....	40
Tabela 11 - Temperatura média por estação do ano .....	46
Tabela 12 - Temperatura nas ilhas de calor em Caxias do Sul.....	48
Tabela 13 - Temperatura nas ilhas de frescor em Caxias do Sul.....	50

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

AATSR	Advanced Along-Track Scanning Radiometer
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission Reflection Radiometer
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
ETM	Enhanced Thematic Mapper
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICU	Ilhas de calor urbanas
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NOAA	National Oceanic Atmospheric Administration
OMS	Organização Mundial da Saúde
SEVIRI	Spanning Enhanced Visible Infrared Imager
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
TM	Thematic Mapper

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
1.1	OBJETIVOS .....	14
1.1.1	Objetivo geral.....	14
1.1.2	Objetivos específicos.....	14
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>15</b>
2.1	EXPANSÃO URBANA .....	15
2.2	CLIMA E O HOMEM.....	16
2.3	ILHAS DE CALOR.....	17
2.3.1	Infraestrutura urbana e as ilhas de calor .....	19
2.3.2	Impactos das ilhas de calor .....	22
2.4	CONFORTO TÉRMICO.....	23
2.5	ILHAS DE FRESCOR .....	25
2.6	SENSORIAMENTO REMOTO.....	26
2.6.1	Energia refletida da superfície terrestre.....	27
2.6.2	Satélites e temperatura.....	29
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>31</b>
3.1	ÁREA DE ESTUDO .....	31
3.2	TRATAMENTO DAS IMAGENS.....	32
3.2.1	Obtenção das imagens de satélite .....	33
3.2.2	Uso do solo .....	34
3.2.3	Correção atmosférica .....	35
3.2.4	Georreferenciamento.....	36
3.2.5	Conversão dos níveis de cinza para radiância .....	36

<b>3.2.6</b>	<b>Conversão da radiação para temperatura de superfície .....</b>	<b>37</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>39</b>
4.1	USO DO SOLO .....	39
4.2	TEMPERATURAS NAS ESTAÇÕES DO ANO.....	41
4.3	ILHAS DE CALOR.....	47
4.4	ILHAS DE FRESCOR .....	49
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>55</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>57</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A população mundial cresceu rapidamente nas últimas décadas, ocasionando uma grande concentração de pessoas nas zonas urbanas (MOTA, 2003). A urbanização, de acordo com Labaki *et al.* (2011), vem crescendo de forma significativa podendo ser considerada um fenômeno global, sendo esta alta densificação em espaços pequenos, a responsável por alterar significativamente as áreas naturais. Dados do último Censo demográfico do IBGE confirmam esse aumento, mostrando que cerca de 85% da população brasileira estava inserida nas áreas urbanas no ano de 2010 (IBGE, 2010), enquanto na década de 1960, esse percentual era de apenas 45% (IBGE, 1960).

Hasstenteufel *et al.* (2012) afirmam que a impermeabilização do solo por pavimentação de ruas e edificações alteram a atmosfera da cidade, ocasionando diversos problemas, dentre eles a perda de umidade atmosférica pela supressão da vegetação e também pela alta taxa de poluentes presentes no ar. As transformações no uso do solo devido à urbanização resultam no efeito de ilha de calor urbana (ICU), fenômeno esse que eleva as temperaturas das áreas urbanas em relação às áreas rurais que a circundam (ARAÚJO, 2011; ALVES, 2017; ASSIS; FERREIRA, 2018).

As ilhas de calor urbanas causam desconforto térmico, podendo ser amenizado quando há presença de vegetação em meio a esses ambientes urbanizados. Muitos estudos têm comprovado a eficiência das áreas verdes na redução da temperatura ambiente urbana e por consequência, a melhora na qualidade de vida da população (GONÇALVES; CAMARGO; SOARES, 2012; ZORZI; GRIGOLETTI, 2016). Esse fenômeno é denominado ilha de frescor e ao contrário das ICU proporcionam a redução da temperatura da superfície, tornando o ambiente mais confortável ao ser humano e outras espécies que habitam nessas áreas.

Desta forma, este trabalho busca apresentar, por meio de mapas temáticos oriundos de dados de sensoriamento remoto, a dinâmica de temperaturas de superfície na área urbana do município de Caxias do Sul-RS, buscando evidenciar a importância das áreas verdes na minimização das ilhas de calor. Essas informações tem a finalidade de aumentar o conhecimento acerca da importância dos parques em áreas urbanizadas, proporcionando subsídios para futuros planejamentos a fim de melhorar o conforto térmico dessas áreas. Uma vez que este estudo é inédito nesse município, os dados aqui apresentados vêm amparar possíveis processos de planejamentos para a melhoria do conforto térmico nas áreas em estudo.

## 1.1 OBJETIVOS

A seguir, são apresentados os objetivos que guiam este trabalho, divididos em objetivo geral e objetivos específicos.

### 1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste estudo é avaliar temporalmente, numa escala de vinte e quatro anos, a dinâmica de temperaturas de superfície na área urbana do município de Caxias do Sul, por meio de dados obtidos por sensoriamento remoto.

### 1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos estão identificados a seguir:

- a) elaborar os mapas de uso e cobertura do solo através das imagens de satélite;
- b) elaborar os mapas de temperatura de superfície por meio da utilização das bandas do infravermelho do termal das imagens dos satélites TM/Landsat 5 e TIRS/Landsat 8;
- c) avaliar temporalmente as mudanças nas temperaturas da superfície do município em estudo.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 EXPANSÃO URBANA

A urbanização é um processo pertinente da história do ser humano. Inicialmente tal processo ocorria em pequena escala, como forma de proteção ao ambiente externo e recentemente, tornou-se cada vez mais necessária, uma vez que as atividades do homem tornaram-se mais suscetíveis às adversidades da natureza, como chuvas intensas e secas prolongadas (KEGLER; WOLLMANN; BANDEIRA, 2017).

Para Araújo e Caram (2006), na segunda metade do século XX, de maneira não prevista, o homem colocou a ciência a serviço da tecnologia e essa a seu próprio serviço. Nesse contexto, a mecanização do campo ocasionou a migração da população para a cidade em busca de emprego, sendo que sua mão de obra estava sendo substituída pelas máquinas (KEGLER; WOLLMANN; BANDEIRA, 2017). Os autores afirmam também que novas funções começaram a surgir nas cidades, proporcionando um aumento no número de pessoas, e como consequência, observou-se o surgimento de problemas relacionados com a ocupação e modificação do meio natural de forma desordenada.

A migração do campo para cidade é um fenômeno que permanece na história. Dados do Censo demográfico realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística no ano de 2010 (IBGE, 2010) mostram uma contínua migração das populações rurais para as cidades no Brasil. Corroborando tal informação, a Population Bulletin (2007) mostra que cerca de 50% da população mundial está concentrada em áreas urbanas e este número tende a se tornar cada vez maior.

No município de Caxias do Sul esse índice é ainda maior, chegando a aproximadamente 93% no ano 2000 (IBGE, 2000), passando para cerca de 96% da população residindo na área urbana (IBGE, 2010). De acordo com Andrade *et al.* (2016), o processo de migração populacional para áreas urbanas resulta no adensamento das construções, diminuições das áreas verdes e maior concentração de poluentes e geradores de calor.

As cidades podem ser entendidas como organizações estritamente humanas, nas quais o homem atua na transformação do meio em função de suas necessidades (SANTOS, 2013). Ainda segundo o autor, os grandes aglomerados urbanos criam um clima específico, gerado através da interferência dos fatores que se processam sobre a camada de limite urbano, e que agem alterando o clima em escala local, gerando uma atmosfera diferente com características

climáticas próprias, ou seja, temperatura e umidade relativas do ar únicas, diferentes das verificadas nas áreas circunvizinhas.

Gomes, Amorim e Dubreuil (2017) afirmam que a urbanização gera uma grande extensão de superfícies impermeáveis e a redução das superfícies ocupadas por vegetação. Ao encontro a isso, Souza, Scopel e Martins (2014) afirmam que este processo traz consigo inúmeras consequências, como o aumento do stress urbano, as ilhas de calor, a poluição urbana, entre outras. Oke (1978) comenta que as mudanças no uso do solo produzem a modificação do balanço energético na cidade, uma vez que a configuração na forma de “cânions” das ruas e das fachadas dos prédios aprisionam a radiação, resultando na pequena diminuição da temperatura na cidade após o pôr do sol, formando as ilhas de calor urbanas noturnas.

Assim sendo, a realização de estudos a fim de quantificar esta influência é de extrema importância. Nesse viés, é possível buscar alternativas para amenizar as consequências negativas das intervenções antrópicas no ambiente natural, construindo-se e preservando-se áreas verdes, a fim de que essas possibilitem o equilíbrio entre as condições naturais e o ambiente urbano (SOUZA; SCOPEL; MARTINS, 2014).

## 2.2 CLIMA E O HOMEM

O clima pode influenciar o homem de diversas maneiras, seja na alteração das condições para a prática de plantio ou na suscetibilidade do agravamento de doenças. Ayoade (1996) afirma que se têm inúmeros estudos dando ênfase em como o clima altera as atividades humanas. No entanto, com o aumento populacional e os crescentes avanços tecnológicos e científicos da humanidade, é possível perceber que o homem pode e de fato tem influenciado o clima. Ainda de acordo o autor, as atividades humanas influenciam diretamente a variação climática, mesmo que em escala local (AYOADE, 1996).

De acordo com o IPCC (2013), a influência humana foi detectada no aquecimento da atmosfera e do oceano, em mudanças no ciclo global da água, na redução da neve e do gelo, na elevação global do nível médio do mar e em mudanças em alguns extremos climáticos. Ainda segundo o IPCC, é muito provável que a influência humana tenha sido a causa dominante do aquecimento observado desde meados do século XX. Para Brönnimann *et al.* (2008) nos últimos 100 anos o clima do planeta Terra deixou de ser dominado pelos processos naturais internos e passou a ser ditado de maneira significativa pelas atividades humanas.

Para Ayoade (1996) o homem pode influenciar o clima de duas maneiras: deliberada ou inadvertidamente. Deliberadamente o homem influencia o clima a fim de alcançar certos

objetivos. Muitas são as motivações que levam a esta ação assim como existem várias práticas para a alteração do clima. As mais conhecidas, de acordo com o autor supracitado são:

- a) redução das perdas econômicas e sociais em virtude de grandes catástrofes climáticas, como é o caso de furacões, enchentes, secas e demais fenômenos naturais severos;
- b) aumento dos suprimentos climáticos que servem de gatilho para a produção de serviços ou artigos de primeira necessidade, como a incidência de chuvas. Um exemplo deste caso é a semeadura das nuvens para a produção de chuvas locais, que visam aumentar a disponibilidade de água para a agricultura;
- c) manutenção da saúde humana através da criação de microclimas que auxiliam na eficiência física e mental.

No entanto, essas práticas evidenciam a limitação das ações humanas, uma vez que estas ficam restritas a curtos prazos e a regiões bem definidas.

A segunda maneira de influência antrópica no clima se dá de forma inadvertida através de várias atividades e ações, como a urbanização, o desmatamento, atividades agrícolas e alteração dos cursos d'água para geração de energia ou até mesmo para a irrigação. Ayoade (1996) afirma que a principal interferência humana no clima é evidenciada em áreas urbanas.

Os padrões identificados nos estudos supracitados fazem referência à superfície terrestre como um todo, no entanto, a alteração no clima e principalmente na temperatura, fica evidente em centros urbanos. As transformações no ambiente urbano, advindas das diferentes atuações dos agentes sociais produtores do espaço geram, entre outros aspectos, um novo padrão de clima sobre o perímetro urbano, criando assim uma nova atmosfera sobre ele (HONORATO; ANDRADE, 2012).

### 2.3 ILHAS DE CALOR

A Ilha de Calor Urbana (ICU) pode ser definida como o aumento das temperaturas superficiais (AYOADE, 1996; MOREIRA; SENE, 2004; MAGNOLI; ARAÚJO, 2005). Este termo surge a partir da semelhança das curvas de nível das ilhas marítimas com o campo formado pelo calor distribuído no centro das grandes cidades, onde as curvas de nível afastam-se do centro como se fosse marcos topográficos que acabam gerando curvas fechadas (ARAÚJO JUNIOR, 2011).

As principais características deste fenômeno dizem respeito ao aumento da temperatura dos elementos que compõem a paisagem urbana. Se comparadas às áreas rurais circundantes, a ilha de calor é mais quente no geral e apresenta padrões de comportamento

distintos. Após o pôr do sol as ICU são mais quentes do que as áreas não urbanizadas e tendem a ser mais frescas ao amanhecer (GARTLAND, 2010).

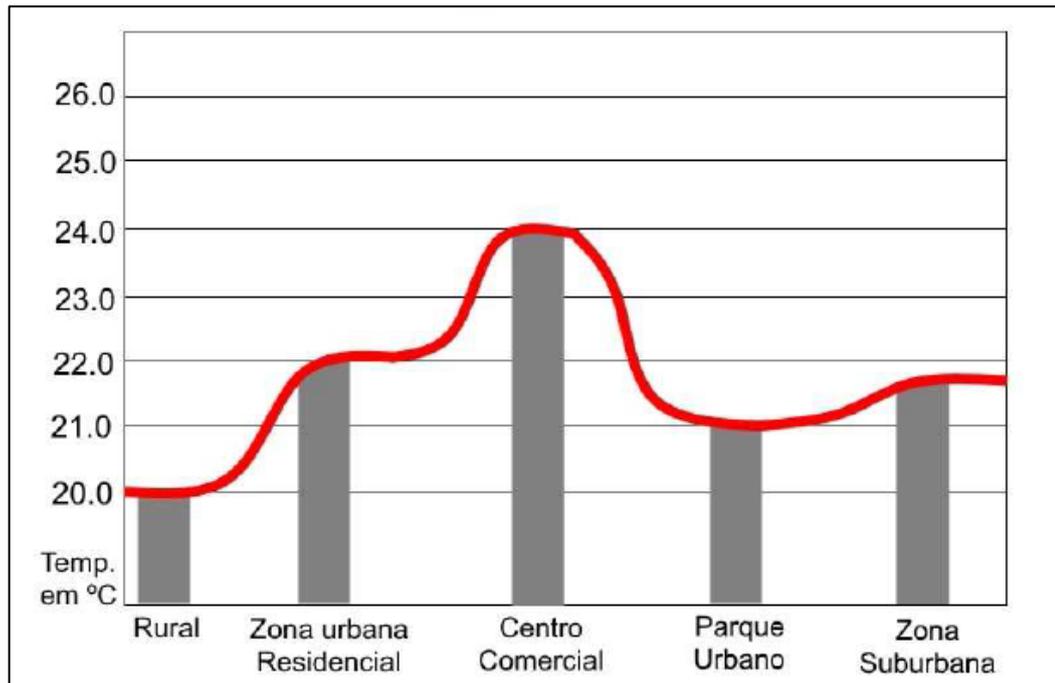
A primeira documentação de calor urbano data do início dos anos 1800 e foi identificada na cidade de Londres em um estudo realizado por Luke Howard (GARTLAND, 2010). O estudo em questão detectou um “excesso de calor” na cidade de Londres quando comparado ao campo que a cercava. Ainda segundo a autora, avaliações posteriores em diversas regiões do mundo, como nos Estados Unidos, Paris e Viena, encontraram resultados muito similares.

No Brasil, o estudo pioneiro do calor em centros urbanos deu-se por Lombardo (1985), no município de São Paulo, onde foram acompanhadas as variações de temperatura ao longo do dia em diversos pontos da cidade. Assim como Lombardo (1985), Hasenack (1989) realizou estudos das alterações de temperatura no centro urbano de Porto Alegre, estado do Rio Grande do Sul, a fim de aprofundar os conhecimentos a respeito do clima local desta cidade.

As áreas urbanas apresentam uma espécie de “oásis inverso”, onde o ar e as temperaturas de superfície são mais quentes que as áreas que os circundam (GARTLAND, 2010; FREITAS; DIAS, 2005). Este fenômeno vem sendo estudado por diversos autores e vem ganhado cada vez mais importância, uma vez que pode servir como ferramenta para o planejamento urbano (BALDASSO, 2016; CORRÊA *et al.*, 2016; FIALHO, 2009; HONORATO; ANDRADE, 2012).

Diversos autores estimam a variação da temperatura do ar na ICU em comparação às áreas menos urbanizadas circundantes. Moreira e Sene (2004) afirmam que a variação térmica pode chegar a 7°C, enquanto Gartland (2010) traz que essa variação pode ser ligeiramente diferente, mas geralmente encontra-se na marca de 6°C. Na Figura 1 é possível observar a diferença de temperatura encontrada por Rosa e Silva (2017) na cidade de Holambra, no estado de São Paulo. As altas temperaturas do ar são consequência da irradiação de calor das áreas impermeabilizadas, da concentração de poluentes, uma vez que bloqueiam a irradiação do calor para a atmosfera, além do tipo de superfície encontrada nos centros urbanos (MOREIRA; SENE, 2004).

Figura 1 - Relação da temperatura e áreas edificadas



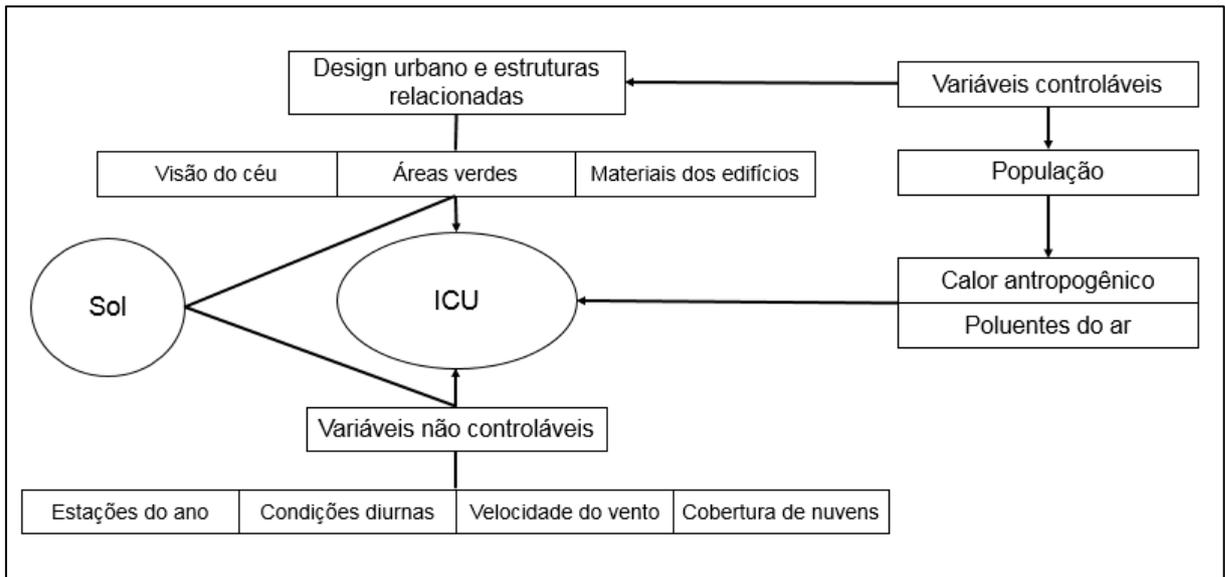
Fonte: ROSA E SILVA (2017).

### 2.3.1 Infraestrutura urbana e as ilhas de calor

As modificações naturais são causadas principalmente pelos assentamentos humanos em regiões citadinas, e são motivos de inúmeras discussões atualmente (PAIVA; ZANELLA, 2014). A supressão da vegetação, alteração do albedo local, canalização de recursos hídricos e a impermeabilização dos solos são exemplos bem conhecidos da interferência humana na paisagem natural.

Partindo-se desta compreensão é natural e necessário refletir sobre a influência da urbanização nos climas locais. A Figura 2 mostra algumas causas primárias da formação das ilhas de calor. Observa-se que as causas não são em sua totalidade resultantes de ações antrópicas mas estas contribuem significativamente para o surgimento das ilhas de calor, como já descrito.

Figura 2 – Relação das ilhas de calor urbanas com as variáveis



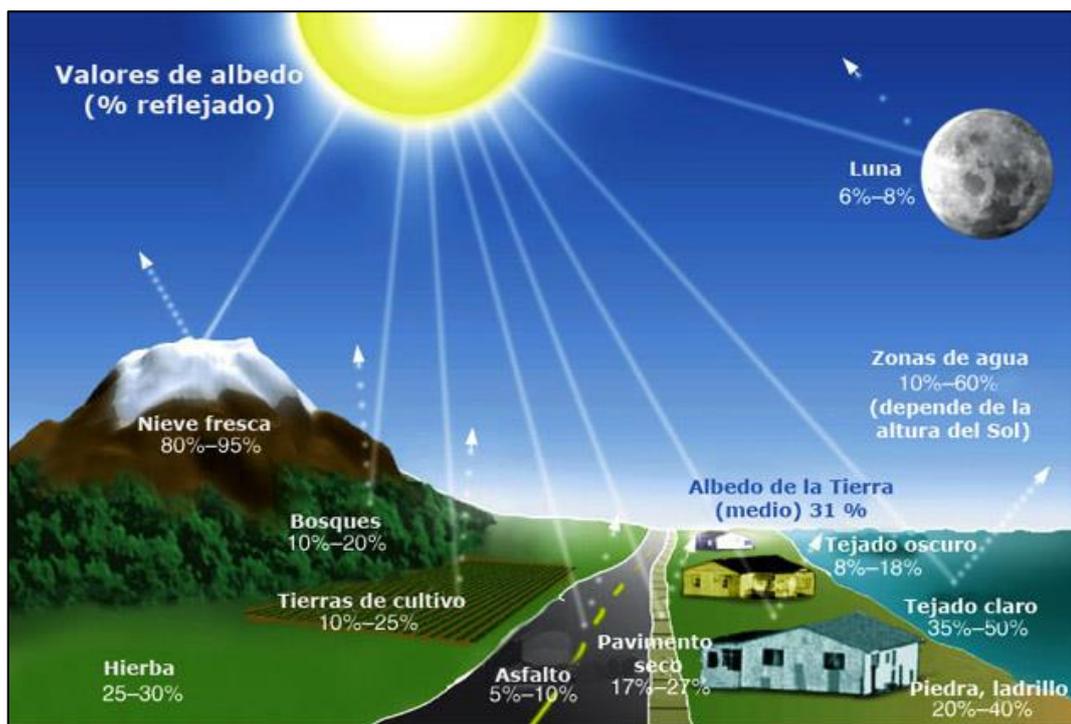
Fonte: Adaptado de RIZWAN, DENNIS E LIU (2008).

Teles (2013) afirma que as superfícies e a geometria urbanas provocam grandes modificações nas características climáticas. Neste mesmo contexto, segundo Shishegar (2013) o microclima das áreas urbanas é influenciado severamente por diversos parâmetros, tais como forma, geometria e densidade urbana, índice de vegetação, níveis d'água e as propriedades da superfície.

As temperaturas da superfície são mais quentes uma vez que os materiais que compõem a paisagem urbana (asfalto, concreto, entre outros) tendem a absorver mais calor do que a vegetação natural. Gartland (2010) estima que as temperaturas das superfícies podem ficar de 27 a 50°C mais quentes do que o ar.

A quantidade de radiação solar refletida por uma superfície é chamada de albedo. O albedo é a relação entre a quantidade de radiação refletida pela quantidade de radiação recebida (LOMBARDO, 1985). A Figura 3 mostra os valores de albedo para algumas superfícies.

Figura 3 – Albedo dos materiais



Fonte: ALBEDO (2018).

Hasstenteufel *et al.* (2012) admitem que a impermeabilização do solo pela pavimentação de ruas e a construção de edifícios altera a atmosfera da cidade, ocasionando a perda de umidade atmosférica. Esta perda não se dá somente através da supressão da área verde do ambiente, mas também pelas altas taxas de poluentes presentes no ar.

Outra característica da ICU é que as diferenças das temperaturas em ambientes urbanizados são realçadas em dias calmos e claros. Isto se deve ao fato de que dias mais calmos apresentam ventos menos intensos que removem o calor de maneira mais vagarosa (GARTLAND, 2010). Teles (2013) afirma que as construções elevadas formam uma espécie de barreira, contribuindo para a diminuição da velocidade dos ventos, fator este que contribui com os efeitos das ilhas de calor. Este fenômeno também foi descrito por Ayoade (1996) que afirma que a diminuição no fluxo dos ventos por causa do efeito de fricção das estruturas urbanas diminui a troca do ar quente da cidade com o ar frio da zona menos urbanizada.

Dias mais claros por sua vez, indicam maior incidência de radiação solar na superfície terrestre, aumentando a quantidade de energia irradiada na forma de calor. Gartland (2010) estima que em dias nublados e com ventos, as diferenças de temperatura nas áreas urbanas e nas áreas rurais varia muito pouco, estando próximas de 1°C.

Entretanto, Souza e Alvalá (2012) e Roth (2000) afirmam que em áreas urbanas a ICU dependem de inúmeros fatores como:

- a) efeitos mecânicos produzidos pelo atrito causado pelos prédios;
- b) efeitos térmicos produzidos pelas diferentes temperaturas dos edifícios, efeitos de sombreamento, variação da incidência de radiação nas ruas.

Para os autores, estes efeitos tem por consequência a redução dos fluxos de calor latente, o que leva a alterações sensoriais dos fluxos de calor para a atmosfera.

O aquecimento não pode ser atribuído exclusivamente ao uso e ocupação do solo e a urbanização, uma vez que este fenômeno também é observado em oceanos. No entanto, Christofolletti (1999) afirma que as mudanças nas condições do clima ganham expressivo espaço na bibliografia por categorizarem impactos antropogênicos, considerando tanto efeitos na temperatura, formando as conhecidas ilhas de calor, como na precipitação.

### **2.3.2 Impactos das ilhas de calor**

As alterações no clima não são resultados exclusivos das ilhas de calor. As consequências do aquecimento em ambientes urbanos vão muito além da sensação de abafamento, e podem impactar de diversas maneiras a população urbana.

Para Rizwan, Dennis e Liu (2008) os efeitos adversos da ICU são muitos e incluem a deterioração do ambiente vivo, aumento do consumo de energia, elevação do nível de ozônio e até mesmo um incremento nas taxas de mortalidade. Em concordância a estes autores, Gomes (2007) afirma que as alterações climáticas na atmosfera urbana além de gerarem stress humano, ocasionam maior consumo de energia e podem comprometer o equilíbrio térmico em uma escala maior.

A sensação de abafamento proveniente da retenção do calor provoca relevante aumento no consumo de energia para o resfriamento dos ambientes situados em áreas urbanas (SALVATI; COCH; CECERE, 2016). Diversos estudos tem dado ênfase à variação de energia em decorrência do fenômeno das ICU. Konopacki e Akbari (2002) analisaram cinco cidades norte-americanas utilizando os efeitos diretos e indiretos de diferentes composições de superfícies. Os autores encontraram variações significativas do consumo de energia em áreas urbanas e a partir de então criaram projetos a fim de mitigar os efeitos das ICU.

Muito além da questão energética, Giordano e Krüger (2014) salientam que as ICU têm diversos efeitos negativos ao ambiente. Os autores afirmam que estes efeitos vão desde as inversões térmicas que dificultam a dispersão dos poluentes, até a maior formação de ozônio

devido às temperaturas mais altas. Estas alterações do comportamento do clima natural resultam numa alteração significativa o ecossistema.

A extensa impermeabilização do solo, densidade populacional e a presença de calor antropogênicos são as principais causas do aumento das temperaturas em áreas urbanas (OKE, 1987). Com isto Salvati, Coch e Cecere (2016) afirmam que as ilhas de calor urbanas exacerbam os efeitos da mudança climática, representando uma séria ameaça à saúde e ao conforto dos cidadãos.

Neste momento salienta-se que os efeitos da ICU não são considerados da mesma maneira em todas as regiões do país. Giordano e Krüger (2014) relatam que em áreas de clima quente a mitigação do fenômeno das ilhas de calor é um objetivo econômico, uma vez que se busca reduzir a necessidade de energia para o condicionamento dos ambientes. Porém, de acordo com os mesmos autores, a região Sul do Brasil enfrenta invernos mais rigorosos, o que faz com que o interesse energético de redução da ICU dependa do ponto de equilíbrio onde a economia com energia no verão não ultrapasse os gastos com a calefação no inverno.

Neste sentido, observa-se a relação direta das ilhas de calor urbana com o conforto térmico, tanto em ambientes fechados quanto em espaços abertos. Mitigar ou reduzir os efeitos das ICU são questões de conforto humano, portanto merecem especial atenção.

## 2.4 CONFORTO TÉRMICO

A evidência dos impactos ambientais causados pela urbanização foi identificada por diversos autores em cidades brasileiras como João Pessoa (SILVA *et al.*, 2012), Fortaleza (PAIVA; ZANELLA, 2013), Campina Grande (BRITO, 2007) e Campinas (ABREU-HARBICH *et al.*, 2013). Contudo, alguns autores dedicaram-se a estudar os efeitos das ilhas de calor em relação ao conforto térmico, como é o caso de Rosa e Silva (2017), Freitas, Santos e Lima (2016), Araújo e Caram (2006) e Giralt (2006).

O conforto térmico em ambientes externos é definido por Lamberts e Xavier (2013) como sendo a neutralidade térmica percebida pelas pessoas em determinado local, sendo assim, não há necessidade de acréscimo ou decréscimo de calor. Para Frota e Schiffer (2003) a sensação de bem-estar ou conforto térmico, se dá quando não há esforço nas trocas de calor entre o ser humano e o ambiente, fazendo com que a capacidade de trabalho deste seja máxima. Todavia Leal *et al.* (2017) declaram que se as condições térmicas do ambiente forem adversas às supracitadas, o organismo precisa de em esforço adicional, conseqüentemente haverá uma sobrecarga no indivíduo fazendo com que este apresente menores rendimentos e até problemas

de saúde. Em vista disto, as ilhas de calor causam desconforto térmico e podem agravar alguns problemas de saúde humana (PORANGABA; TEIXEIRA; AMORIM, 2017).

O desequilíbrio ambiental causado pelas diversas formas de uso e ocupação do solo, pela geometria das construções e pela constituição dos materiais presentes nessas construções são responsáveis pelo aumento do calor em centros urbanos (BOURBIA; BOUCHERIBA, 2010; STEWART; OKE, 2012; ANDREOU; AXARLI, 2012). Para Martini *et al.* (2013) esta condição afeta a qualidade de vida da população residente nestes locais, assim como pode repercutir em sua saúde e na redução do bem-estar proporcionado pelo desconforto térmico (ÉGERHÁZI *et al.*, 2013).

Segundo Soares (2014) o ser humano é um ser homotérmico, que busca manter sua temperatura corporal constante em 37°C e possui mecanismos biológicos para realizar a regulação de sua temperatura. Gartland (2010) afirma que a troca de calor entre o organismo e o ambiente é dada através da pele, do suor e da respiração, no entanto, quando as temperaturas estão mais elevadas, o corpo padece para realizar tal ação, causando o chamado estresse térmico. Rojas Cortorreal *et al.* (2016) definem o estresse térmico como sendo o estado em que o corpo cria altas demandas de seus próprios mecanismos de estabilidade térmica, também conhecido como desconforto térmico.

Gartland (2010) aponta que os resultados do estresse térmico prolongado variam de leve a grave, e que estes podem compreender desde câibras e exaustão pelo calor até mesmo a morte. A autora relata ainda que as consequências das ICU vão muito além do desconforto térmico, e que estas podem comprometer a saúde humana. Do ponto de vista da saúde, o ambiente térmico em áreas urbanas, apresenta forte relação entre a termorregulação e a regulação circulatória, que levam à sobrecarga do organismo, ao comprometimento da saúde, até mesmo à morte (RIBEIRO; PESQUERO; COELHO, 2016).

Entretanto, França *et al.* (2015) sustentam que nem sempre é possível manter um ambiente com condições ideais. Santos *et al.* (2012) ressaltam que em países tropicais, como é o caso do Brasil, a discussão do bem-estar dos indivíduos em relação ao conforto térmico é extremamente importante, principalmente em cidades altamente urbanizadas.

Para Andrade *et al.* (2016) manter ou melhorar as condições térmicas das cidades pressupõe um conhecimento do clima local e das condições de conforto térmico a que sua população está submetida. Mas enquanto estudos são realizados, existem ações que podem minimizar a sensação térmica quente, através de atitudes ecológicas e sustentáveis. Azevedo *et al.* (2017) identificam as ilhas de frescor como uma solução para as ilhas de calor prejudiciais.

## 2.5 ILHAS DE FRESCOR

Se por um lado as áreas urbanas produzem maiores alterações no clima local, as áreas que mais se aproximam das condições ambientais normais da natureza, como parques e praças, apresentam um clima diferenciado e conseqüentemente, mais ameno (GOMES; AMORIM, 2003).

Para Azevedo *et al.* (2017) além dos aspectos positivos das áreas verdes nas cidades, elas contribuem para produzir um clima mais agradável influenciando a qualidade de vida da população circundante. Para os autores, essas áreas mais arborizadas e que apresentam temperaturas menores do que a urbanizada, podem ser chamadas de ilhas de frescor, que ao contrário das ilhas de calor, são totalmente benéficas para todos.

Para Rojas-Cortorreal *et al.* (2016) a vegetação sempre teve grande utilidade na vida das pessoas porém, neste momento, são de grande importância especialmente em relação à mitigação das ilhas de calor urbanas. Azevedo *et al.* (2017) afirmam que a vegetação é um dos melhores elementos para a diminuição do calor e ajuda na manutenção da umidade do ar, absorção de gases poluentes e na redução da impermeabilização do solo.

Neste contexto, as áreas verdes vêm ganhando espaço como elemento essencial para o bem-estar da população, uma vez que melhoram a qualidade de vida nas suas variadas funções, como ecológica e social, contribuindo significativamente para o equilíbrio ambiental da cidade (SOUZA; SCOPEL; MARTINS, 2014). Segundo Oliveira, Vaz e Andrade (2014) os espaços verdes ajudam a regular o clima urbano e mitigar os efeitos da ICU, criando um efeito de resfriamento, o qual também pode moderar o consumo de energia.

Ae encontro aos autores já citados, Ferreira, Carrilho e Mendes (2015) apontam que as áreas verdes têm grande relevância tanto para os seres humanos quanto para o próprio ambiente urbano. De acordo com os autores, estas áreas arborizadas influenciam diretamente a população urbana, uma vez que amenizam as condições microclimáticas, assim como são locais de integração social. Por área verde, Lima (1994) entende como um lugar predominantemente ocupado por vegetação arbórea, que engloba praças, jardins públicos e parques urbanos.

Gomes e Amorim (2003) ressaltam que a vegetação é um importante componente regulador da temperatura urbana, uma vez que absorve com mais facilidade a radiação solar e utiliza-a em processos biológicos, como fotossíntese e evapotranspiração. Bueno (2003) afirma que a vegetação influencia na porção da radiação de onda curta absorvida, evitando que a radiação de onda longa, ao ter sua dissipação reduzida devido à poluição, transforme as cidades

em verdadeiras estufas. Este fenômeno, para Zorzi e Grigoletti (2016), aumenta consideravelmente o consumo de energia para o resfriamento das edificações.

As contribuições de Troppmair e Galina (2003) sobre os benefícios da vegetação são várias, dentre elas os autores afirmam que:

- a) a presença de vegetação em áreas urbanas cria um microclima mais ameno e exerce função de centro de alta pressão, que se reflete de forma significativa sobre a dinâmica da ilha de calor e do domo de poluição;
- b) despoluição do ar de partículas sólidas e gasosas, dependendo do aparelho foliar, rugosidade da casca, porte e idade das espécies arbóreas;
- c) diminuição dos efeitos de poluição sonora;
- d) purificação do ar através da redução de microrganismos;
- e) redução da intensidade do vento canalizado em avenidas cercadas por edificações;
- f) vegetação como moldura e composição da paisagem junto a monumentos e edificações históricas.

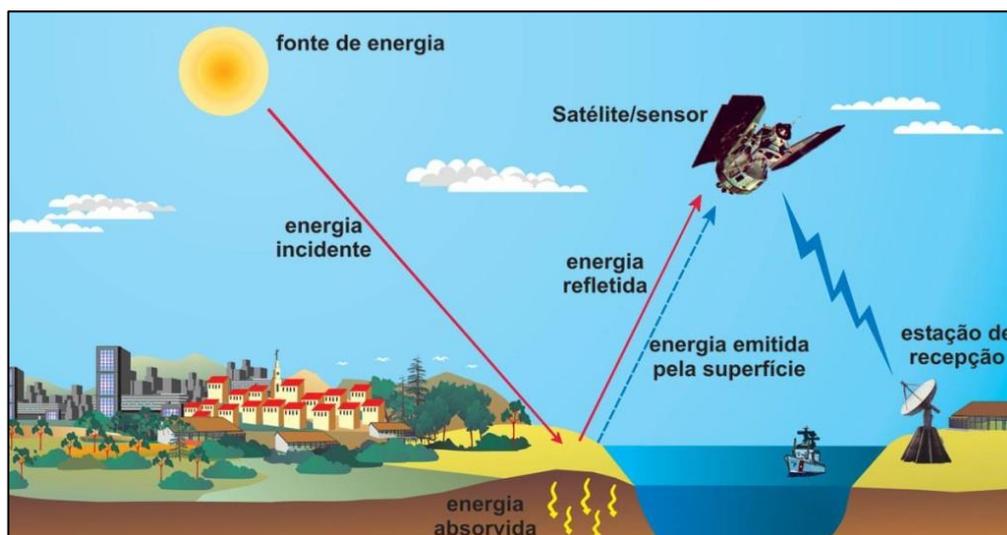
Em síntese, Silva e Lima (2017) afirmam que a arborização urbana é uma alternativa que pode contribuir de diversas maneiras com a paisagem urbana, interagindo com os indivíduos a partir de benefícios físicos e climáticos.

De acordo com dados da Organização Mundial da Saúde (OMS), o índice mínimo de vegetação é de 12 m<sup>2</sup>/habitante, sendo o recomendável de pelo menos 3 árvores ou 36 m<sup>2</sup>/habitante (AZEVEDO *et al.*, 2017). Falcòn (2007) mensura que o efeito refrescante de uma árvore adulta, que transpira aproximadamente 450 litros por dia através de suas folhas, equivale ao efeito de um ar condicionado funcionando cerca de vinte horas diárias em cinco habitações de porte médio.

## 2.6 SENSORIAMENTO REMOTO

Para Florenzano (2002), sensoriamento remoto é a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados, da superfície terrestre, através da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície. A Figura 4 mostra que a obtenção dos dados da superfície terrestre é feita à distância, ou seja, não há contato físico entre o sensor e o alvo a ser caracterizado.

Figura 4 – Obtenção de dados a partir do sensoriamento remoto



Fonte: FLORENZANO (2002).

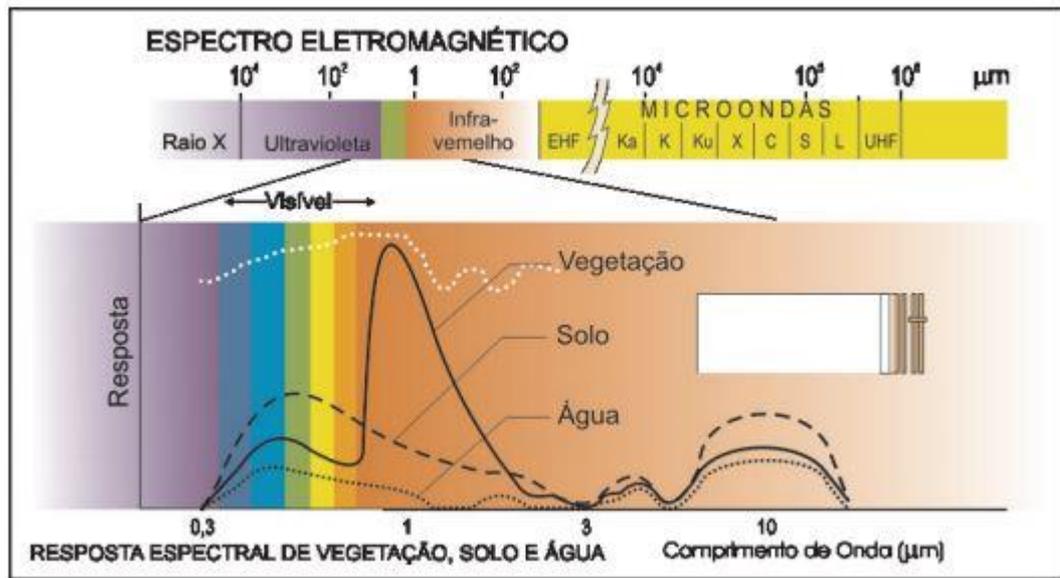
O sensoriamento remoto, como visto anteriormente, é exclusivamente baseado na energia refletida ou emitida pelos alvos que compõem a superfície terrestre. A energia proveniente do Sol incide sobre os alvos, parte dessa energia é refletida e emitida em direção ao sensor, instalado em satélites artificiais, onde é captada e registrada por este. Esta energia é transformada em sinais elétricos, que são transmitidos para estações de recepção na Terra. Esses sinais podem ser transformados em gráficos, imagens ou tabelas, dependendo do tipo de interpretação que se deseja obter.

### 2.6.1 Energia refletida da superfície terrestre

Os objetos terrestres, também chamados de alvos, têm diferentes comportamentos quando expostos a uma mesma radiação eletromagnética. Esse comportamento varia de acordo com as características bio-físico-químicas de cada alvo (FLORENZANO, 2002), e através desse comportamento distinto, é possível identificar os mais variados elementos nas imagens de sensores remotos. A Figura 5 mostra a curva espectral de alguns alvos da superfície.

A curva mostrada na Figura 5 depende, além das características do alvo, do comprimento de onda do espectro eletromagnético. Os dados referentes à reflectância dos materiais são muito utilizados para a identificação das classes de uso e ocupação do solo, no entanto, os dados de satélites permitem obter diversas informações além dos dados de reflectância, é possível obter informações de relevo e temperatura por exemplo.

Figura 5 – Reflectância espectral dos alvos naturais



Fonte: MAIO *et al.* (2008).

Além da reflectância, outra propriedade importante dos materiais é a emitância, que por definição é a quantidade de energia que deixa determinada superfície por unidade de área. Essa energia tem relação com a capacidade de absorção de radiação dos materiais, uma vez que bons absorvedores são bons emissores. Ou seja, quanto mais energia um corpo absorver, mais energia na forma de calor ele pode emitir. A Tabela 1 mostra a emitância de alguns materiais presentes nas áreas urbanas.

Tabela 1 - Emitância dos materiais presentes na área urbana

<b>Material</b>	<b>Emitância (%)</b>
Asfalto	95
Parede de concreto	71 – 90
Parede de tijolo	90 – 92
Cobertura em chapa metálica	13 – 28
Cobertura em telha	90

Fonte: Adaptado de MASCARÓ (1996).

Na Tabela 1 é possível observar que materiais como asfalto e paredes tendem a emitir grande quantidade de energia. Uma vez que esses materiais estão presentes em grande quantidade nas áreas urbanas, essas áreas são as mais afetadas pelo calor emitido por esses materiais.

## 2.6.2 Satélites e temperatura

Para Collishonn (2012) a exploração dos dados de satélite nos estudos do clima permite a elaboração de documentos que retratem, com maior resolução, a distribuição espacial de alguns elementos e fatores do clima. Para Streutker (2002) existe uma significativa quantidade e disponibilidade de dados de sensores obtidos a partir de plataformas orbitais para o estudo das ilhas de calor. Uma das formas de se obter a temperatura da superfície terrestre é através de imagens de sensores a bordo de satélites, pois além de favorecer informações em diferentes escalas e tempo, esses permitem a transformação de dados do infravermelho termal (temperatura radiante) em temperaturas aparentes da superfície (PIRES, 2015).

Jensen (2009) explica que a temperatura superficial é obtida tendo em vista que o calor interno de um alvo é convertido em energia radiante. Nesse sentido, Pires (2015) afirma que a temperatura de superfície diz respeito ao fluxo de calor dado em função da energia que chega e sai do alvo, e este processo é de suma importância para entender a relação entre a superfície da terra e a atmosfera.

Tomlinson *et al.* (2011) listaram alguns sensores em operação, os quais disponibilizam os dados na faixa do infravermelho termal: Landsat ETM; MODIS/Aqua e MODIS/Terra; ASTER/Terra; AVHRR; AATSR e SEVIRI. Além deste autor, diversos outros têm utilizado ferramentas SIG a fim de analisar as temperaturas das superfícies, como é o caso de Foissard *et al.* (2013); Foissard (2015); Amorim *et al.* (2015); Teixeira e Amorim (2017); Shanshan e Geng-Ming (2018).

As imagens dos satélites Landsat 5 e 8 são de ampla aplicação na climatologia local por meio do canal de infravermelho dos seus sensores *Thematic Mapper* (TM) e *Thermal Infrared Sensor* (TIRS). A Tabela 2 mostra os dados referentes aos satélites recém descritos.

Tabela 2 – Dados dos satélites Landsat 5 e Landsat 8

<b>Dados</b>	<b>Landsat 5</b>	<b>Landsat 8</b>
Lançamento	01 de março de 1984	11 de fevereiro 2013
Operação	Até novembro de 2011	Até os dias atuais
Passagem	16 dias	16 dias
Sensor	<i>Thematic Mapper</i> (TM)	<i>Thermal Infrared Sensor</i> (TIRS)

Fonte: Adaptado de LANDSAT SCIENCE (2018).

Para tanto, Souza; Silva e Silva (2015) afirmam que a utilização de técnicas de SIG e sensoriamento remoto em diferentes áreas da superfície terrestre tem alcançado resultados satisfatórios, consistentes e importantes para o monitoramento e gerenciamento dos recursos naturais, sobretudo em áreas urbanas. No entanto, as informações geradas pelos sensores que operam nesta região só podem ser utilizadas após terem seus dados convertidos, passando pela correção dos efeitos atmosféricos e da superfície, a qual é um parâmetro de importância fundamental para o estudo da climatologia urbana (COSTA; SILVA; PERES, 2010).

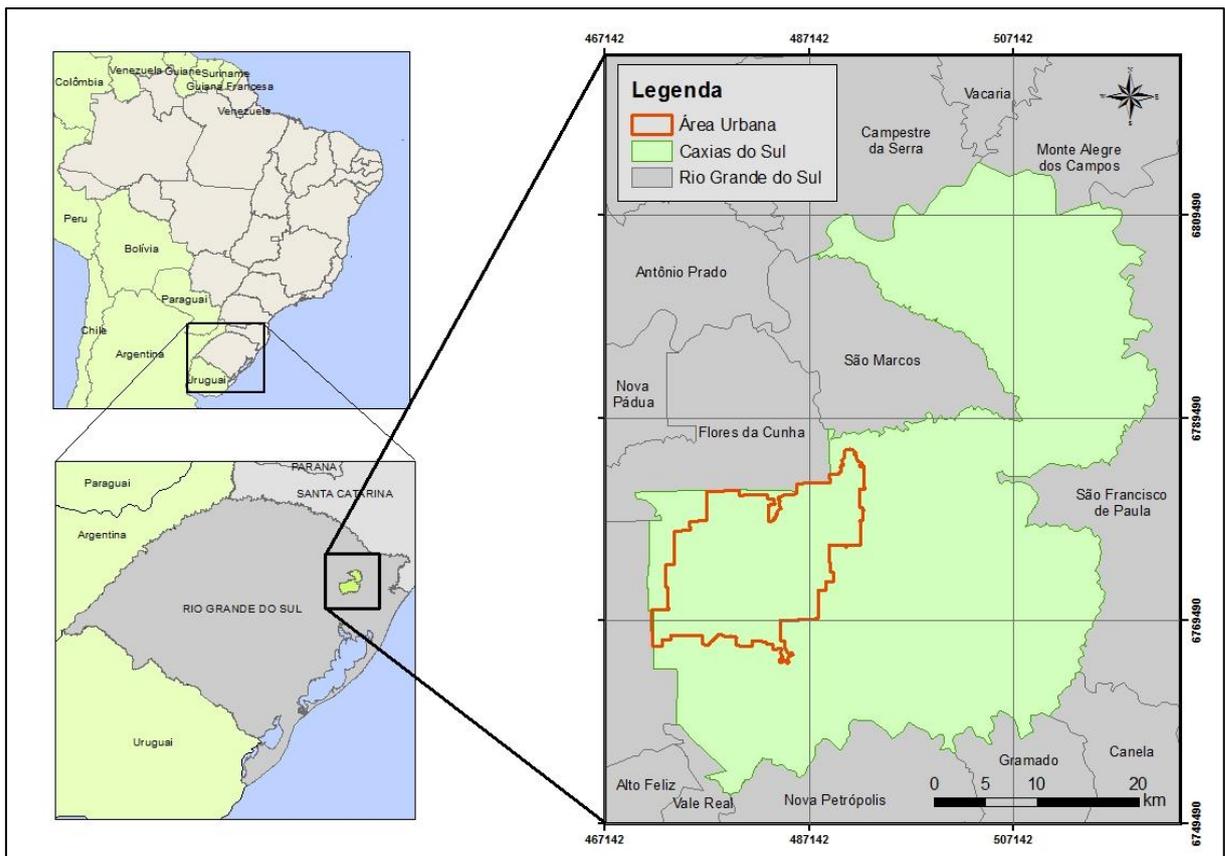
Inevitavelmente as imagens oriundas do sensoriamento remoto são sensíveis às condições atmosféricas durante sua obtenção (LIU *et al.*, 2017). Para Wicaksono e Hafizt (2018) essa interferência, resultado da interação entre a reflectância dos objetos e da irradiância, deve ser minimizada ou, se possível, eliminada, a fim de remover valores de reflectância que não são originados pelo objeto de interesse.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

O município de Caxias do Sul está inserido na porção nordeste do Estado do Rio Grande do Sul (Latitude Sul 28°45' a 29°25' e Longitude Oeste 50°45' a 51°20'), totalizando uma área de aproximadamente 1.652,308 km<sup>2</sup> (IBGE, 2018), como mostra a Figura 6. O Censo Demográfico realizado no ano de 2010 pelo IBGE, mostra que a população de Caxias do Sul no ano supracitado era de 435.564 habitantes, sendo que desse total, aproximadamente 96,3% (419.406 habitantes) da população residia em área considerada urbana (IBGE, 2010). Ainda segundo o IBGE, a população estimada para o ano de 2018 era de 504.069 habitantes no município em questão (IBGE, 2018).

Figura 6 - Localização do município de Caxias do Sul



Fonte: Do Autor (2018).

A área urbana de Caxias do Sul passou por diversas alterações no decorrer dos anos. A última delimitação do perímetro urbano municipal foi realizada em 2016 pela Prefeitura

Municipal de Caxias do Sul. Esta delimitação conta com uma área de aproximadamente 235,6 km<sup>2</sup> sendo que 79,7% das vias públicas conta com arborização (IBGE, 2010).

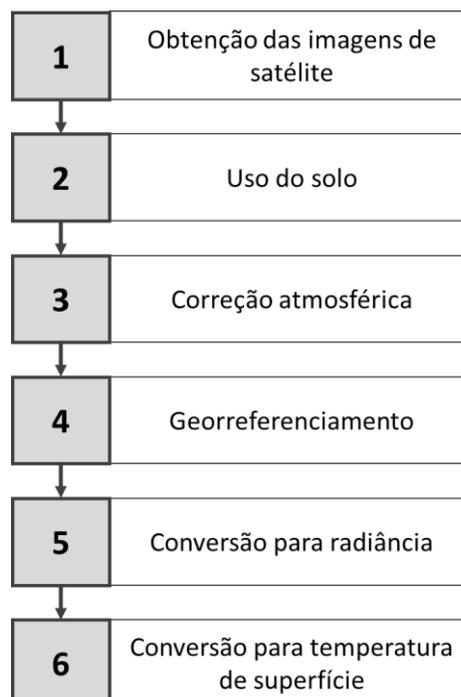
A área urbana em estudo conta com a presença de diversos parques arborizados, que são utilizados para lazer pela população. Dentre os parques localizados nessa área, merecem destaque o Parque Municipal Mato Sartori, localizado no bairro Centro, e o Parque Getúlio Vargas, mais conhecido como Parque dos Macaquinhos, que está localizado no bairro Exposição. Além da importância para o lazer, esses parques contribuem com a melhora do conforto térmico do centro densamente urbanizado.

O clima característico do município é caracterizado como Cfb de acordo com o Sistema Köppen-Geiger. Por meio dessa classificação, o clima de Caxias do Sul pode ser definido como clima temperado úmido com verão temperado, o qual apresenta incidência de chuvas em todos os meses do ano e não possui estação seca definida (ROSSATO, 2011).

### 3.2 TRATAMENTO DAS IMAGENS

Para atender o objetivo delineado nessa pesquisa, que visa fazer uma análise temporal da temperatura no município de Caxias do Sul – RS, foram necessárias seis etapas, como mostra o esquema da Figura 7.

Figura 7 - Etapas necessárias para realização do estudo



Fonte: Do Autor (2019).

### 3.2.1 Obtenção das imagens de satélite

Para o estudo, foi delimitada uma faixa temporal que vai do ano de 1993 até o ano de 2017, totalizando um período de 24 anos. Optou-se pela utilização do Landsat 5 em função desse oferecer um longo período de dados. Apesar do satélite Landsat 5 disponibilizar imagens desde outubro de 1984, apenas em 1993 foram possíveis a obtenção de imagens de qualidade suficiente (sem cobertura de nuvens) para análise, em todas as estações. Já o Landsat 8 foi escolhido por apresentar as imagens mais recentes e na mesma resolução do Landsat 5.

A fim de avaliar o comportamento das temperaturas da superfície ao longo do ano, foram analisadas quatro imagens de satélite a cada ano estudado, sendo essas correspondentes às quatro estações do ano. Para tanto, se fez necessário identificar o período correspondente a cada estação do ano no Hemisfério Sul, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3 - Estações do ano no Hemisfério Sul

<b>Estação</b>	<b>Data de início</b>	<b>Data de término</b>
Verão	21 de dezembro	19 de março
Outono	20 de março	20 de junho
Inverno	21 de junho	21 de setembro
Primavera	22 de setembro	20 de dezembro

Fonte: CPTEC (2018).

Inicialmente foram adquiridas as imagens de satélite junto ao Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS). Lançados pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), tanto o Landsat 5 quanto o Landsat 8 operam na faixa do visível, infravermelho próximo, infravermelho médio e infravermelho termal. Esta última, possui um intervalo espectral de 10,4 – 12,51  $\mu\text{m}$  e a resolução espacial varia, como observa-se na Tabela 4.

Foram obtidas, no total, quatro imagens para cada ano de estudo, referentes a cada estação do ano e localizadas na órbita-ponto 221-080, região a qual Caxias do Sul está englobada. A Tabela 5 mostra a data das imagens utilizadas para o processamento.

Tabela 4 - Resolução espacial do Landsat 5 e Landsat 8

Satélite	Banda	Intervalo espectral ( $\mu\text{m}$ )	Resolução (m)
Landsat 5	6	10,40 – 12,50	120
Landsat 8	10	10,60 – 11,19	100
	11	11,50 – 12,51	100

Fonte: ADAPTADO DE LANDSAT SCIENCE (2018).

Tabela 5 - Data das imagens utilizadas no estudo

Estação	1993	2017
Verão	28 de fevereiro	13 de janeiro
Outono	19 de maio	18 de março
Inverno	08 de setembro	24 de julho
Primavera	11 de novembro	13 de novembro

Fonte: Do Autor (2019).

### 3.2.2 Uso do solo

Para fazer a correlação das temperaturas com o local onde são observadas anormalidades é inevitável a realização do estudo do uso do solo para ambos os anos estudados. Para isso utilizou-se o *software* IDRISI SELVA 17.0 e as imagens correspondentes aos comprimentos de onda do azul, verde e vermelho de cada satélite, como mostra a Tabela 6.

Tabela 6 - Bandas correspondentes aos comprimentos de onda do azul, verde e vermelho

Comprimento de onda	Landsat 5	Landsat 8
Azul	Banda 1	Banda 2
Verde	Banda 2	Banda 3
Vermelho	Banda 3	Banda 4

Fonte: Do Autor (2019).

Primeiramente, criou-se uma composição colorida com as imagens descritas na Tabela 6, a fim de facilitar a identificação dos alvos. O passo seguinte consistiu em realizar uma classificação, de forma supervisionada, do uso do solo das imagens para ambos os anos. Assim, foi necessário coletar amostras dos pixels que representam cada tipo de uso do solo, coletando somente amostras de pixels puros, ou seja, que representem exclusivamente a classe a ser

identificada. Para esse estudo, foram definidas cinco classes de uso do solo, a saber: mata, agricultura, solo exposto, urbanização e lâmina d'água. Além disso, realizou-se a delimitação manual de alguns parques localizados na área central do município e da classe identificada como lâmina d'água.

Após coletadas as amostras, utilizou-se a ferramenta *Makesig* pra a geração das assinaturas espectrais das amostras coletadas, o que permitiu a identificação das características dos pixels coletados no passo anterior. Na sequência, utilizou-se o algoritmo de classificação supervisionada de Máxima Verossimilhança Gaussiana (*Maxver*), disponível no módulo *Maxlike*, o qual faz a busca por pixels semelhantes nas bandas supracitadas, a fim de unir todos os pixels referentes à mesma classe.

### 3.2.3 Correção atmosférica

As imagens baixadas anteriormente foram importadas para o *software* ENVI, versão 4.8, a fim de processar os dados contidos nessas. Inicialmente foi utilizada a ferramenta de correção atmosférica para a correção do conjunto de dados.

Existem vários métodos de correção atmosférica que podem ser aplicados a fim de reduzir essa interferência. Para este estudo, optou-se por utilizar a ferramenta *Dark Subtraction* que, segundo Melnikova *et al.* (2018), reduz os efeitos atmosféricos não-homogêneos. Chavez Jr (1988) explica que essa técnica consiste em subtrair um valor de DN (*Digital Number*) constante da imagem, o que pressupõe um valor de neblina constante em toda a imagem. De acordo com o mesmo autor, essa constante varia de acordo com cada banda espectral e varia também de imagem para imagem.

Essa constante foi obtida através da análise do histograma de cada imagem em questão. A Tabela 7 mostra os valores utilizados para cada imagem.

Tabela 7 - Constantes utilizadas para correção atmosférica

<b>Estação</b>	<b>1993</b>	<b>2017</b>
Verão	125	192
Outono	106	180
Inverno	102	180
Primavera	113	200

Fonte: Do Autor (2019).

### 3.2.4 Georreferenciamento

As imagens geradas pelo processo de correção atmosférica foram exportadas do *software* ENVI no formato TIFF. A etapa seguinte consiste em corrigir as imagens geometricamente, orientando-as para correto fuso. Para a reprojeção das imagens em estudo, utilizou-se a ferramenta *Project* do *software* IDRISI SELVA 17.0. O sistema de coordenadas original foi convertido para o sistema UTM (Universal Transversa de Mercator), Datum SIRGAS 2000, fuso 22 Sul.

Após a reprojeção as imagens passaram pelo processo de recorte, através da ferramenta *Window*, a fim de reduzir a área de processamento. O recorte das imagens foi feito de modo que esse englobasse todo o município de Caxias do Sul, não só do limite da área urbana, a fim de evitar a perda de informações.

### 3.2.5 Conversão dos níveis de cinza para radiância

As imagens de satélite são caracterizadas por possuírem suas informações no formato de números digitais, também chamados de níveis de cinza. Os níveis de cinza das imagens obtidas podem ser transformados em temperatura por meio de três passos. A primeira etapa consiste na transformação dos valores ND (números digitais coletados pelo satélite) em valores de radiância, como é expresso na Equação 1. A mesma metodologia foi utilizada por Monteiro (2012); Hussain, Bhalla e Palria (2014) e Avdan e Jovanovska (2016);

$$L_{\lambda} = (ML * Q_{cal}) + AL \quad (1)$$

Onde:

$L_{\lambda}$  = radiância espectral do sensor de abertura [W/(m<sup>2</sup> sr μm)];

ML = fator multiplicativo de redimensionamento de banda do termal;

$Q_{cal}$  = valor quantizado calibrado do pixel em número digital;

AL = fator de redimensionamento aditivo específico da banda do termal.

Os parâmetros referentes aos dados de ML e AL, que constam da equação supracitada, são valores que variam de acordo com o satélite utilizado. Nesse caso, utilizaram-se os satélites

Landsat 5 para o ano de 1993 e Landsat 8 para 2017, e os valores referentes a esses parâmetros foram extraídos do metadados de cada imagem, como encontram-se descritos na Tabela 8.

Tabela 8 - Parâmetros de conversão dos valores de níveis de cinza para radiância

Satélite	ML	AL
Landsat 5	0,055375	1,18243
Landsat 8	0,0003342	0,1

Fonte: Adaptado de USGS (2018) e USGS (2016).

### 3.2.6 Conversão da radiância para temperatura de superfície

Baseada na Lei de Planck, a etapa seguinte consistiu na transformação dos valores de radiância em temperatura. A Equação 2 traz a fórmula utilizada para fazer essa conversão. A mesma equação utilizada nessa etapa foi também utilizada por Rosas, Houborg e McCabe (2017) e García-Santos *et al.* (2018).

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1 * \epsilon}{L_\lambda} + 1\right)} - 273,15 \quad (2)$$

Onde:

T = temperatura efetiva no satélite [°C];

K1 = constante de calibração 1 [W/(m<sup>2</sup> srµm)];

K2 = constante de calibração 2 [K];

ε = emissividade;

L<sub>λ</sub> = valor de radiância [W/(m<sup>2</sup> sr µm)].

A fim de mostrar o valor obtido em graus *Celsius*, desconta-se um valor de 273,15 unidades, transformando então a temperatura dada em Kelvin para graus *Celsius*.

O valor da emissividade (ε) tipicamente adotado é de 0,95 (HUSSAIN; CHALLA; PALRIA, 2014; ADVAN; JOVANOVSKA, 2016). Já os valores de K<sub>1</sub> e K<sub>2</sub> são constantes de calibração e apresentam diferentes valores para os satélites utilizados, como mostra a Tabela 9.

Tabela 9 – Coeficientes de correção K1 e K2

<b>Coeficiente</b>	<b>Landsat 5</b>	<b>Landsat 8</b>
K <sub>1</sub>	607,76	774,8853
K <sub>2</sub>	1260,56	1321,0789

Fonte: Adaptado de USGS (2018) e USGS (2016).

Todos os processamentos referentes às conversões de informação foram realizados por meio da calculadora *Raster*, disponível no *software* IDRISI. Após o processamento esses dados foram submetidos à ferramenta *Area* para que fosse analisada a representatividade das temperaturas de superfície encontradas.

Os mapas de temperatura de superfície foram subdivididos em faixas de temperatura, onde cada faixa varia de 5°C. Os mapas foram elaborados no *software* ArcMap, versão 10.

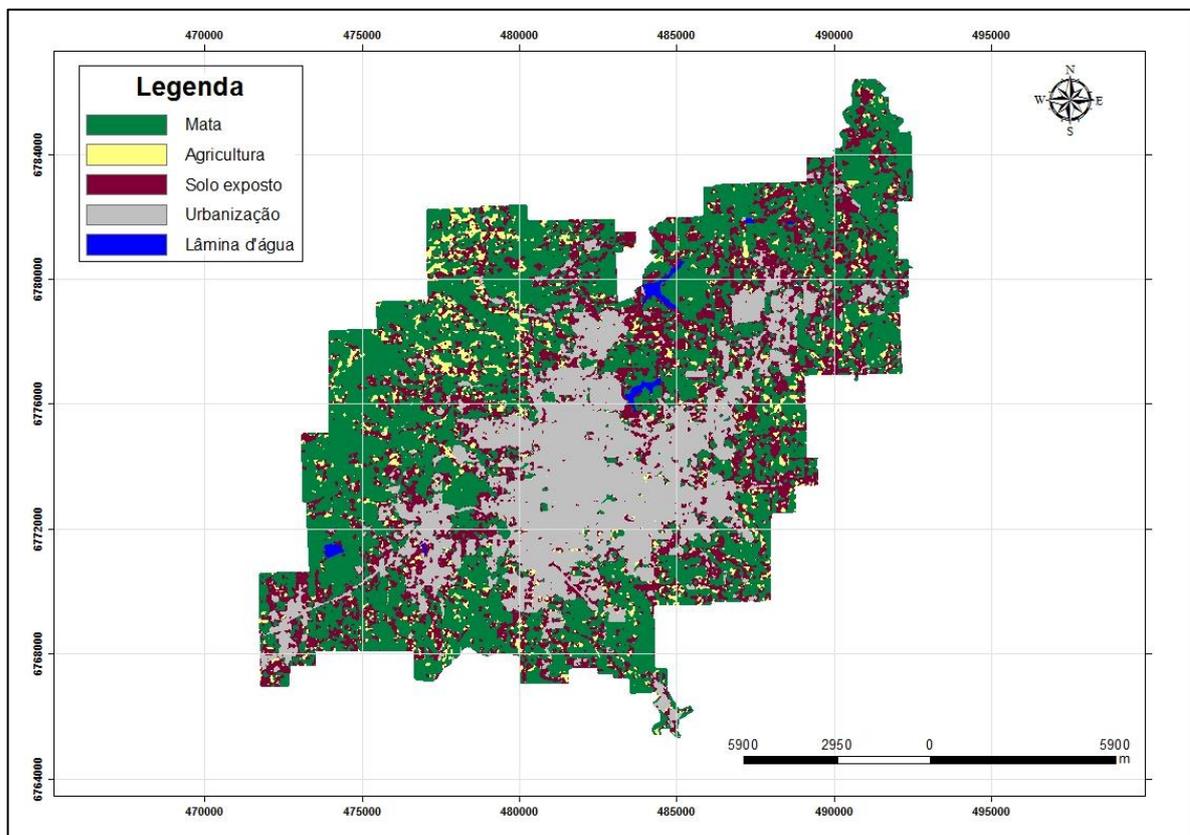
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir são expostos os resultados e discussões dos dados de temperatura de superfície da área urbana de Caxias do Sul, gerados a partir desse estudo. Primeiramente, são apresentados os dados de uso do solo e, posteriormente, são apresentados os mapas de temperatura de superfície para as estações do ano de 1993 e 2017, assim como a temperatura média obtida em cada imagem. Na sequência, são apresentados pontos identificados como possíveis ilhas de calor e ilhas de frescor na área urbana do município.

### 4.1 USO DO SOLO

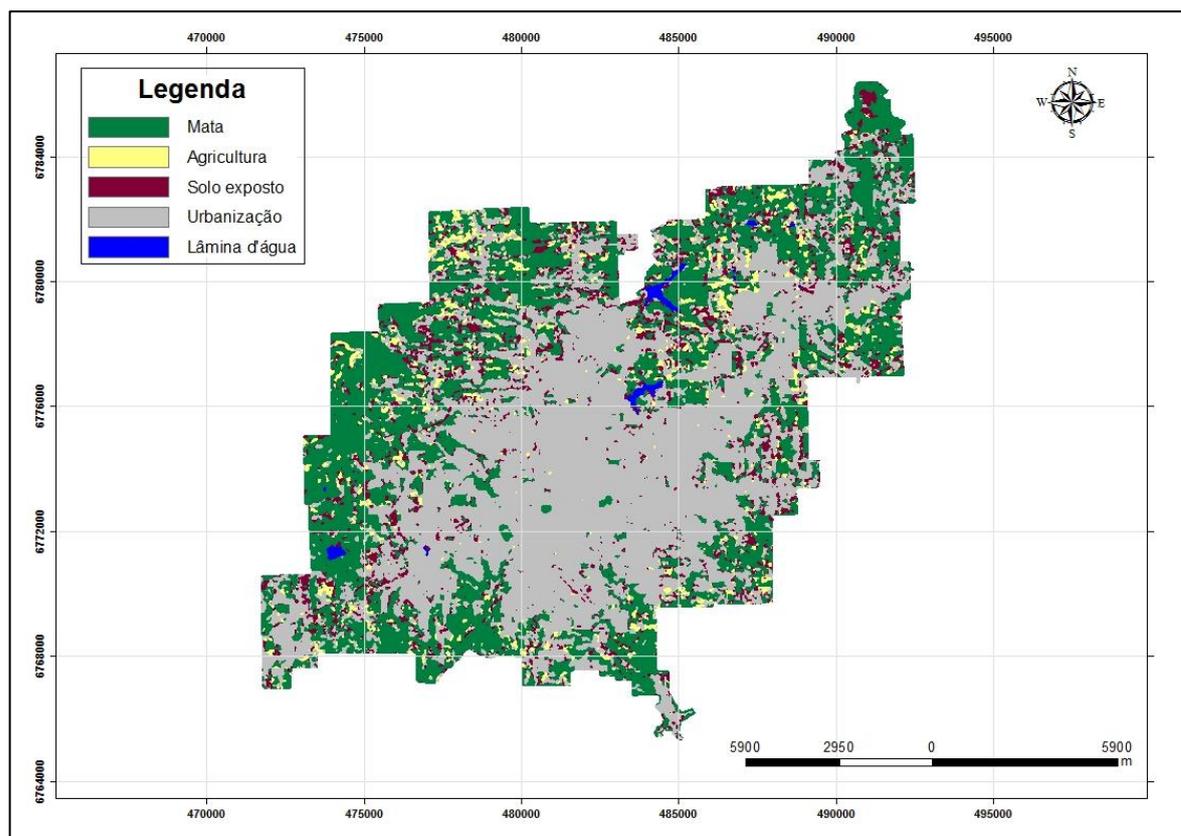
Ao realizar-se o estudo do uso e ocupação do solo é possível identificar a representatividade de cada classe de uso do solo em determinada região. Para esse estudo foram elaborados dois mapas de uso e ocupação do solo, uma para cada ano analisado, como pode ser observado na Figura 8 e Figura 9.

Figura 8 - Uso do solo na área urbana no ano de 1993



Fonte: Do Autor (2019).

Figura 9 - Uso do solo na área urbana no ano de 2017



Fonte: Do Autor (2019).

Por meio das figuras 8 e 9 fica evidente a mudança no comportamento do uso do solo no período entre os anos de 1993 e 2017. A Tabela 10 traz a extensão de cada classe de uso do solo e sua representatividade para os anos de 1993 e 2017.

Tabela 10 - Uso do solo nos anos de 1993 e 2017 e sua variação

Classe	1993		2017		Δ km <sup>2</sup>
	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	
Mata	100,814	42,791	77,918	33,073	-22,896
Agricultura	24,541	10,417	14,705	6,242	-9,836
Solo exposto	55,967	23,756	29,992	12,730	-25,975
Urbanização	53,220	22,590	111,882	47,489	58,662
Lâmina d'água	1,053	0,447	1,098	0,466	0,045
TOTAL	235,595	100	235,595	100	0

Fonte: Do Autor (2019).

Ao se analisar a Tabela 10 é possível notar uma considerável mudança na distribuição do uso do solo no período estudado. Observa-se a perda de área de quase todas as classes definidas, exceto das classes de lâmina d'água e urbanização.

O aumento da extensão da classe de lâmina d'água pode estar associado à abertura de novos açudes. Essa informação pode ser validada uma vez que os corpos hídricos com maior volume não registrados em 1993 e presentes em 2017 estão rodeados por áreas agrícolas. Nesses casos, os açudes são fonte de obtenção de água natural para criação de alevinos e também para dar de beber aos animais.

Dos dados apresentados na Tabela 10 a classe referente à urbanização merece especial atenção, uma vez que sua área teve um aumento de aproximadamente 110% em 2017, se comparada a 1993. Corroborando com essa informação, dados do IBGE (1991) mostram que em 1991 a população urbana era de 264.804 habitantes, enquanto o censo demográfico realizado em 2010 indica uma população urbana de 419.406 habitantes (IBGE, 2010). Ou seja, a expansão das áreas urbanizadas se deu em função do aumento considerável da população presente no centro urbano de Caxias do Sul, se fazendo necessária a construção de mais residências e postos de trabalho para atender tamanha demanda.

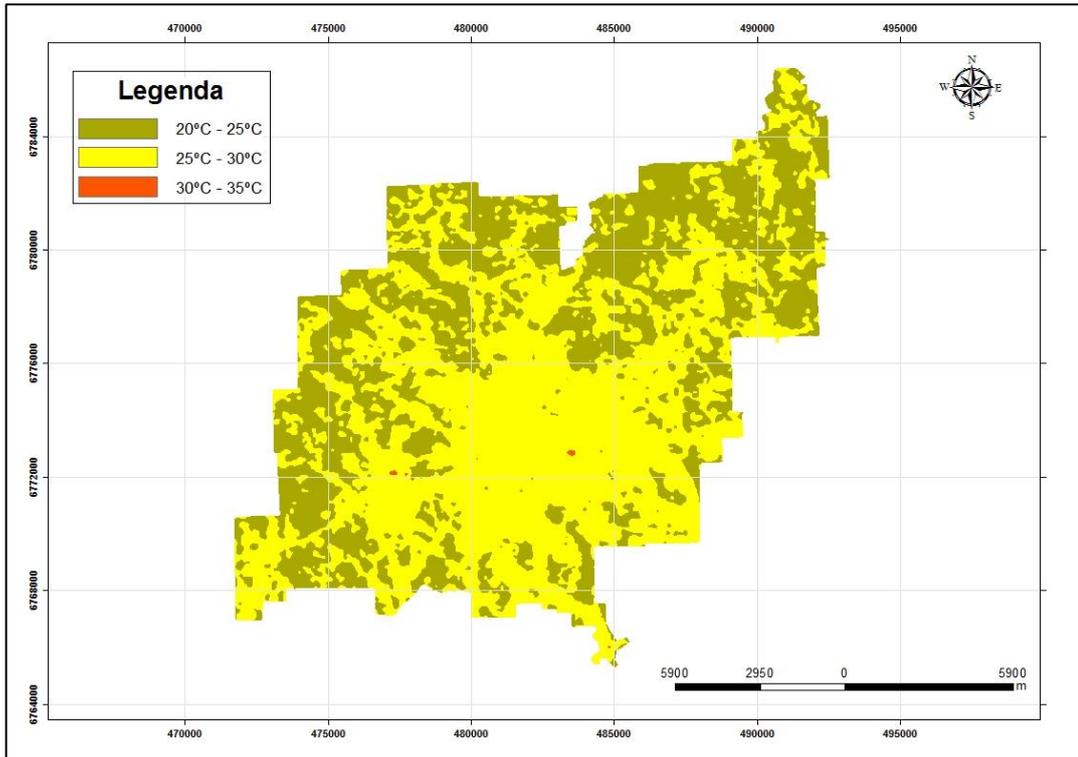
Em contrapartida ao aumento da taxa de urbanização, nota-se o decréscimo da extensão das áreas referentes à mata, agricultura e solo exposto. Esse decréscimo tem relação direta com a expansão urbana, uma vez que grande parte dessas áreas deram lugar ao ambiente construído. Essa informação pode ser comprovada pela Tabela 10, onde se somadas as áreas da variação das classes de mata, agricultura e solo exposto, essa soma corresponde quase que a totalidade do aumento da área de urbanização

#### 4.2 TEMPERATURAS NAS ESTAÇÕES DO ANO

Da Figura 10 até a Figura 17, são apresentados os mapas referentes as temperaturas de superfície em cada estação do ano para ambos os anos analisados.

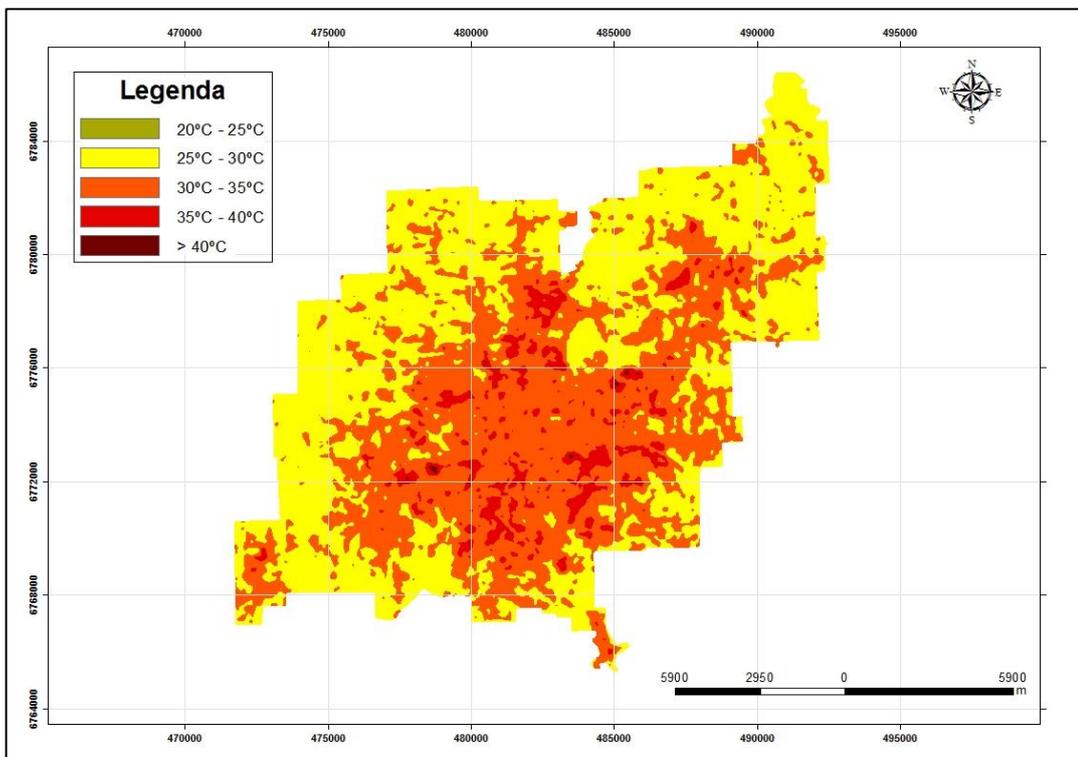
De modo geral as temperaturas tiveram comportamentos semelhantes em ambos os anos analisados. As maiores temperaturas foram encontradas no período de verão, seguidas das temperaturas na primavera, outono e, por fim, inverno, mostrando períodos com estações bem definidas.

Figura 10 - Temperatura no verão de 1993



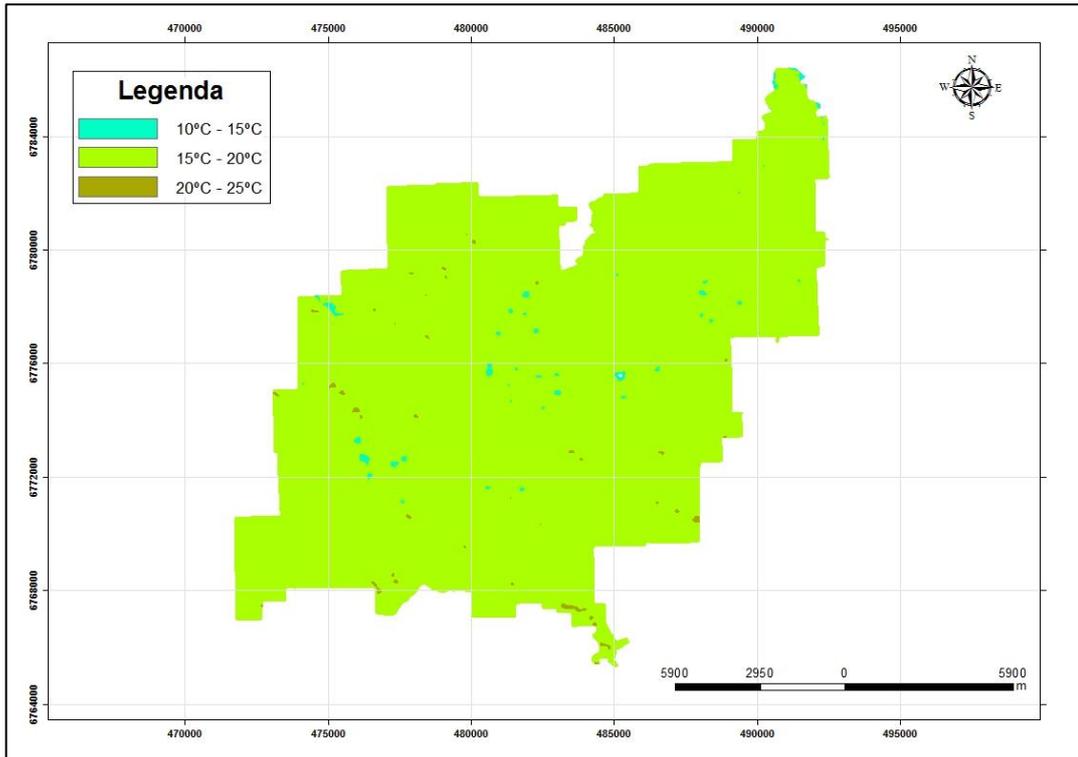
Fonte: Do Autor (2019).

Figura 11 - Temperatura no verão de 2017



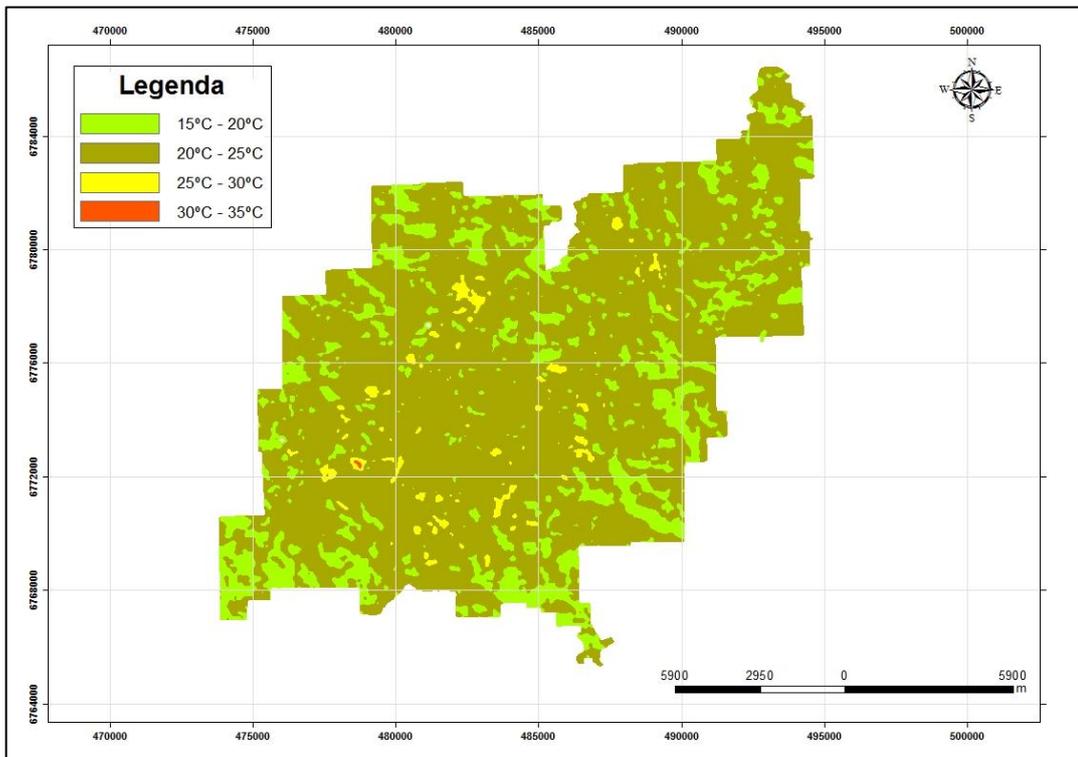
Fonte: Do Autor (2019).

Figura 12 - Temperatura no outono de 1993



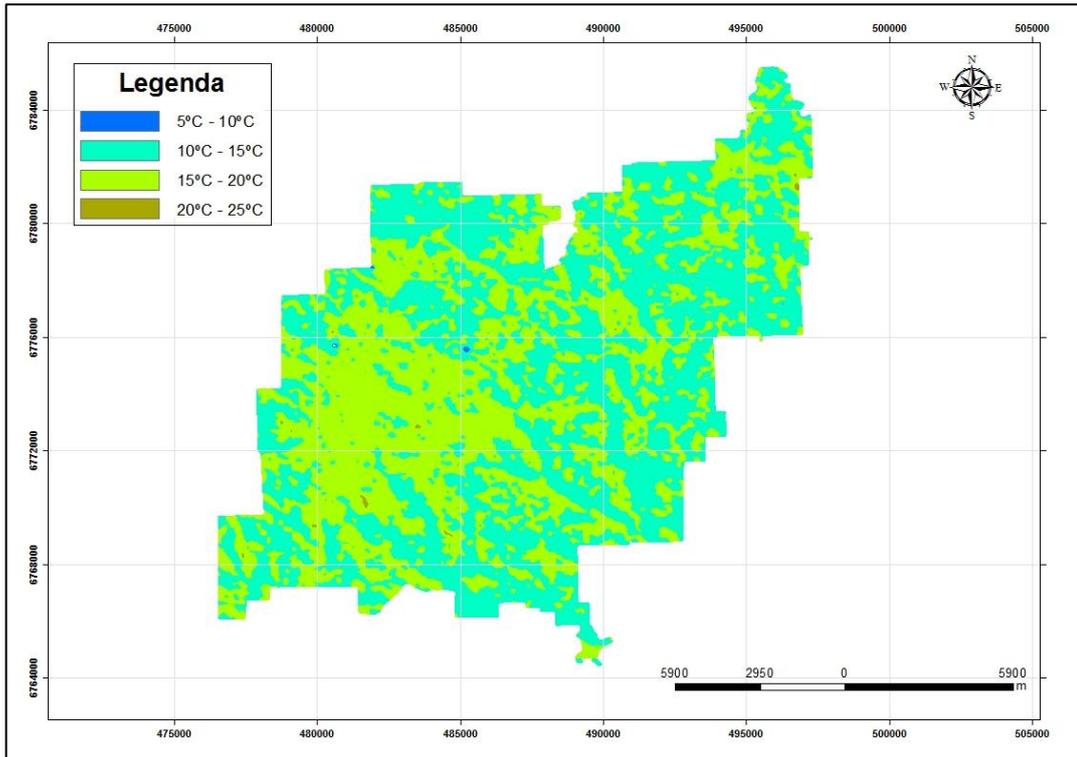
Fonte: Do Autor (2019).

Figura 13 - Temperatura no outono de 2017



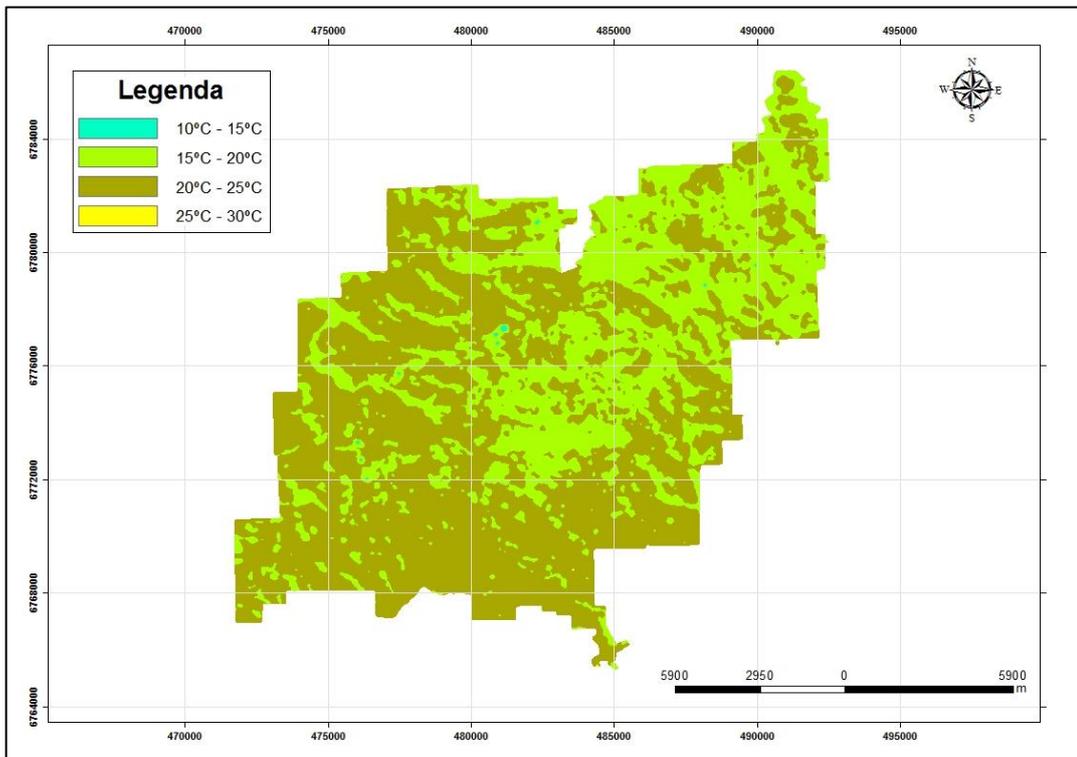
Fonte: Do Autor (2019).

Figura 14 - Temperatura no inverno de 1993



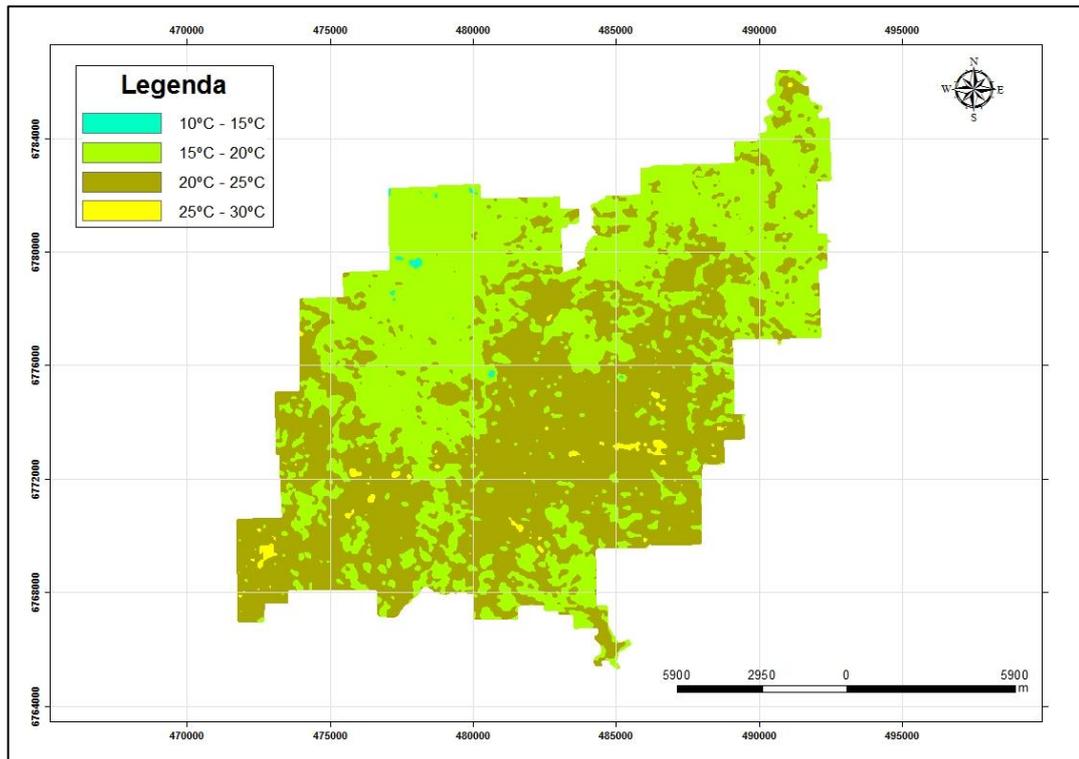
Fonte: Do Autor (2019).

Figura 15 - Temperatura no inverno de 2017



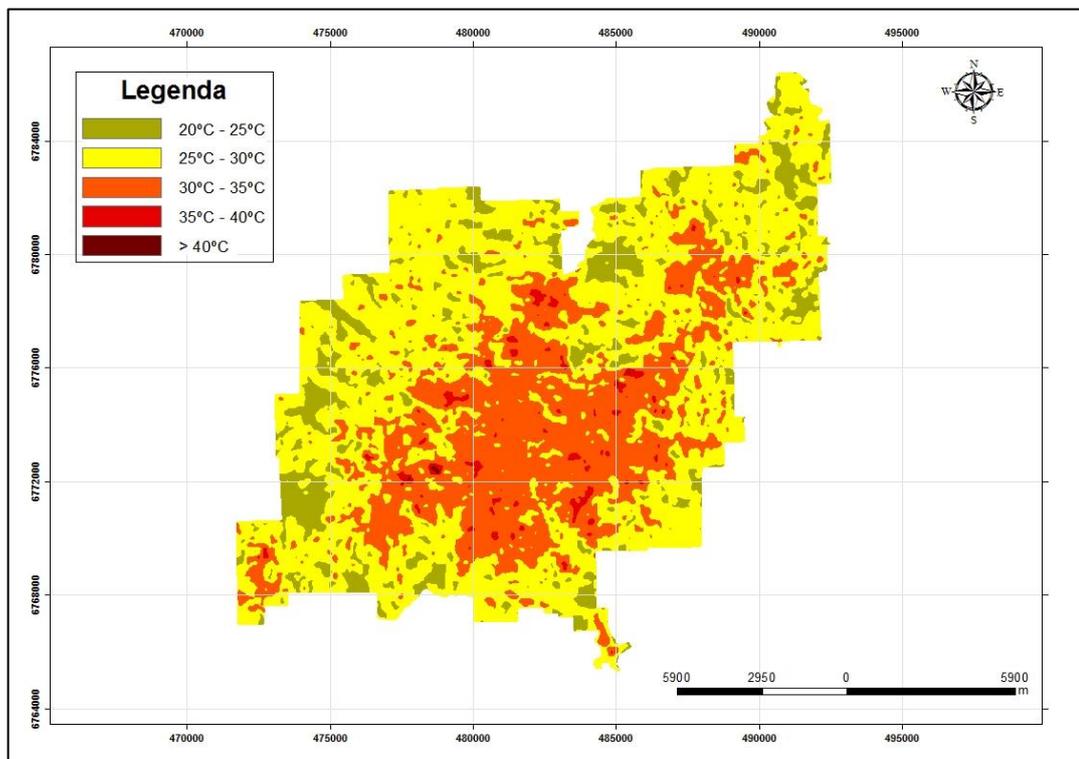
Fonte: Do Autor (2019).

Figura 16 - Temperatura na primavera de 1993



Fonte: Do Autor (2019).

Figura 17 - Temperatura na primavera de 2017



Fonte: Do Autor (2019).

A fim de comparar as temperaturas dos anos em estudo, realizou-se a média ponderada das temperaturas dentro do limite da área urbana. A Tabela 11 mostra os valores encontrados.

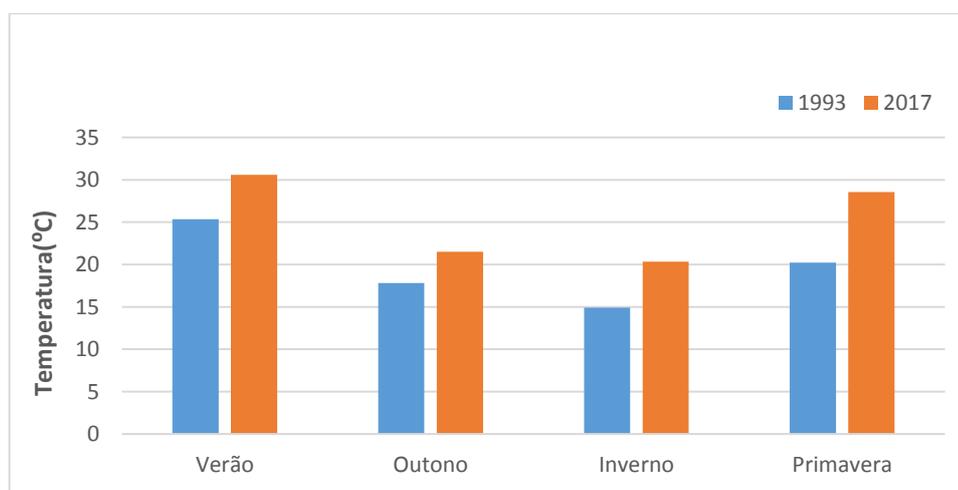
Tabela 11 - Temperatura média por estação do ano

Estação	1993 (°C)	2017 (°C)	$\Delta$ (%)
Verão	25,34	30,58	20,68
Outono	17,81	21,50	20,71
Inverno	14,92	20,34	36,39
Primavera	20,22	28,55	41,14

Fonte: Do Autor (2019).

Observa-se que em todas as estações houve um aumento da temperatura, ao se comparar os anos de 1993 e 2017, como mostrado no gráfico da Figura 18. Resultados semelhantes foram encontrados por Qiao *et al.* (2014), Chaves *et al* (2015) e Min, Zhao e Miao (2018).

Figura 18 - Temperatura média da área urbana de Caxias do Sul



Fonte: Do Autor (2019).

A variação de temperatura, se comparada a mesma estação, mas em anos diferentes, evidencia uma variação considerável. A primavera é a estação que mais apresentou mudança no período analisado, onde a temperatura de 2017 é cerca de 40% maior que a de 1993.

A elevação da temperatura superficial identificada nesse estudo pode estar relacionada à incidência do fenômeno *El Niño* no ano de 2017. De acordo Ham (2018) durante os eventos do El Niño a temperatura das águas do Oceano Pacífico aumenta, fazendo com que haja uma reorganização da circulação atmosférica. Ainda segundo Ham (2018), esse fenômeno resulta

em eventos climáticos extremos e, no caso da região Sul do Brasil, caracteriza períodos de chuvas intensas e aumento considerável da temperatura.

Segundo o CPTEC (2018) o fenômeno *El Niño* teve sua ocorrência classificada como de forte intensidade nos anos de 2015 a 2016. Os reflexos desse fenômeno puderam ser sentidos ainda no ano de 2017, ano este considerado o mais quente da história fora do período de incidência do *El Niño* (BLUNDEN; ARNDT; HARTFIELD, 2018).

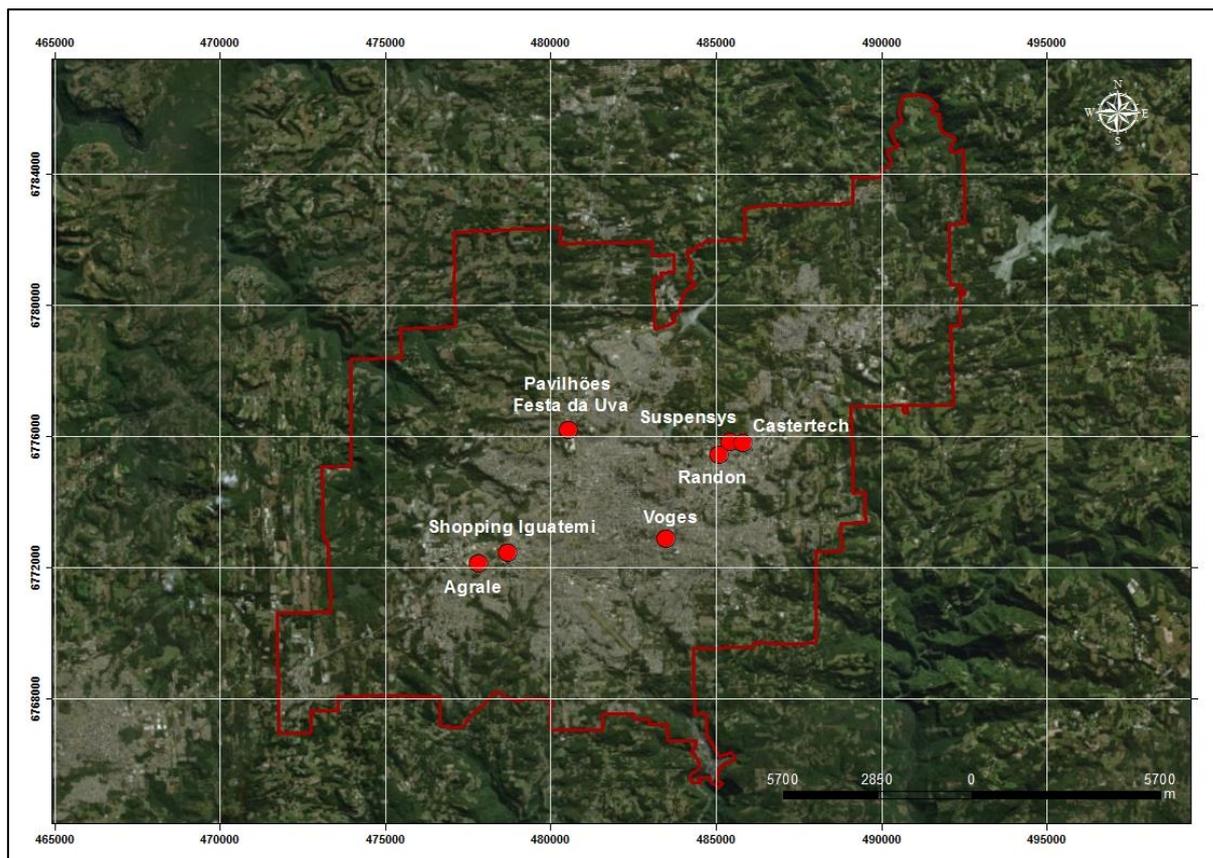
### 4.3 ILHAS DE CALOR

Ao se analisar o comportamento da temperatura nas imagens estudadas, observaram-se regiões que apresentam maiores temperaturas em relação ao seu entorno. As chamadas ilhas de calor são um fenômeno observado também pelos autores Chen, Jiang e Xiang (2016); Teixeira e Amorim (2017); Assis e Ferreira (2018) e Mendes *et al* (2019).

Uma vez que as ilhas de calor são mais evidentes em dias quentes, a análise dos dados se dará com as informações obtidas nas imagens de verão. A Figura 19 mostra a localização das ilhas de calor identificadas na área urbana de Caxias do Sul. Já na

Tabela 12 são apresentadas as temperaturas identificadas em cada ilha de calor, em ambos os anos estudados.

Figura 19 - Localização das ilhas de calor em Caxias do Sul



Fonte: Do Autor (2019).

Tabela 12 - Temperatura nas ilhas de calor em Caxias do Sul

<b>Ilha de calor</b>	<b>1993 (°C)</b>	<b>2017 (°C)</b>	<b><math>\Delta</math> (°C)</b>
Castertech	26,37	40,76	14,39
Suspensys	25,03	41,95	16,92
Randon	26,81	42,47	15,66
Pavilhões da Festa da Uva	29,45	41,20	11,75
Voges	31,61	41,61	10,00
Shopping Iguatemi	28,14	41,29	13,15
Agrale	29,45	40,26	10,81

Fonte: Do Autor (2019).

Através no mapa de localização das ilhas de calor apresentado anteriormente, nota-se que as mesmas estão localizadas em regiões com alto índice de urbanização. Para Pereira *et al* (2016) as temperaturas de superfície mais elevadas são consequências do alto índice de impermeabilização do solo por asfalto, além da alta densidade de construções. Segundo os

mesmos autores, essa composição do ambiente urbano tende a absorver mais radiação solar, transformando-a em calor, o que, conseqüentemente, aumenta a temperatura e proporciona maior desconforto térmico.

Além disso, ao se compararem os valores de temperatura dos mesmos pontos em 1993 e 2017 observa-se considerável aumento da temperatura. No caso referente ao ponto localizado no Shopping Iguatemi a diferença no período estudado pode estar relacionada à sua construção. O shopping foi construído no ano de 1996 portanto, no ano de 1993 a região que hoje abriga a construção era composta exclusivamente por vegetação, o que explicaria essa diferença de temperatura.

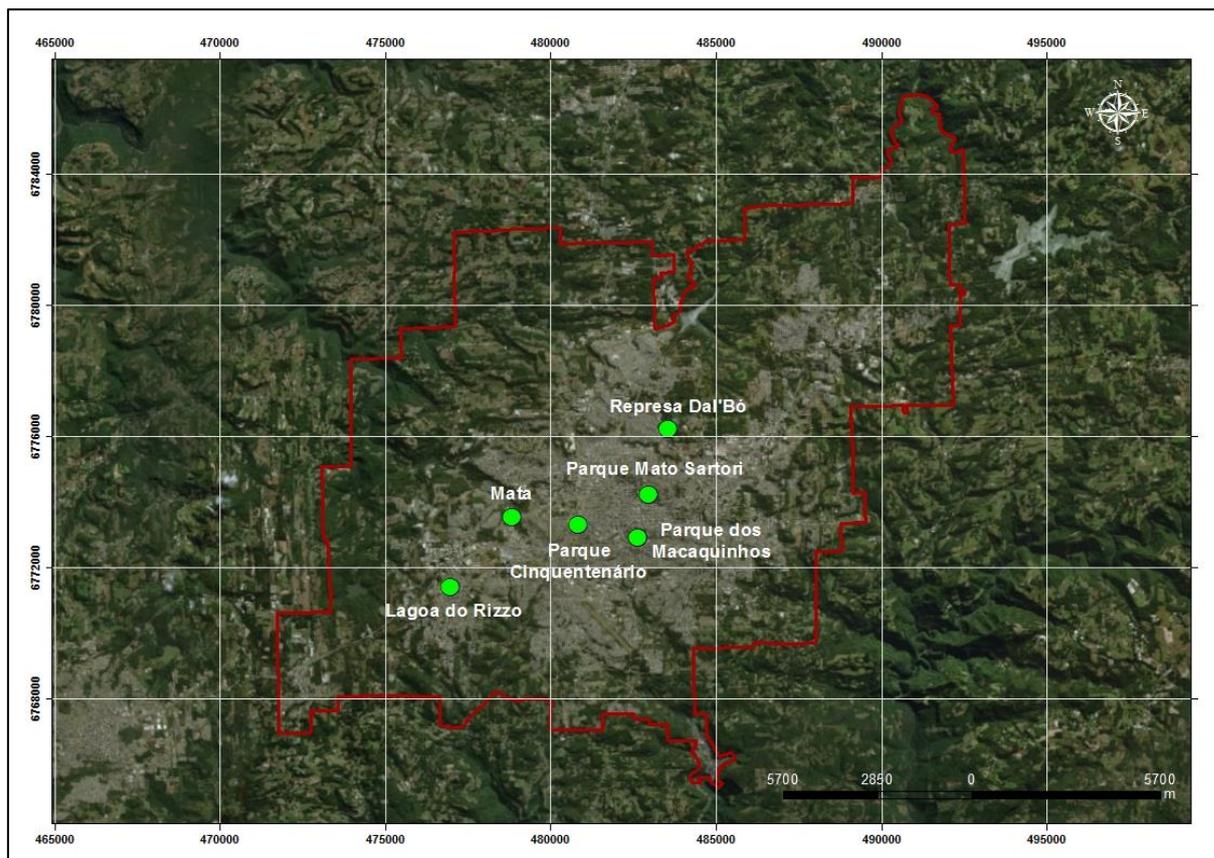
No caso da ilha de calor localizada nos Pavilhões da Festa da Uva, a alta temperatura deve-se a extensa área impermeabilizada por material asfáltico na área do estacionamento principal do parque. Esse fenômeno ocorre uma vez que o asfalto, utilizado em grande escala para construção de estacionamentos e rodovias, é um bom absorvedor da radiação solar (NOVAIS *et al*, 2016). De acordo com Maciel (2011), esse efeito pode ser explicado pelo baixo valor de albedo desse material o que indica grande absorção de energia e, por sua vez, grande liberação de energia na forma de calor.

Quanto aos demais pontos identificados como ilhas de calor, todos apresentam uma característica em comum, telhado metálico oxidado. Para Barros e Lombardo (2016) a abundância de telhados de zinco, amianto e alumínio em ambientes urbanos ensejam maior armazenamento de calor e, conseqüentemente, sua propagação, aumentando assim as temperaturas de superfície locais. Essa condição fica ainda mais evidente em metais oxidados, uma vez que esses perderam sua estrutura original e agora passam a liberar uma quantidade significativa de energia na forma de calor.

#### 4.4 ILHAS DE FRESCOR

Embora espere-se que uma área densamente urbanizada tenha temperaturas elevadas, o que é verdade e pôde ser comprovado no tópico anterior, alguns centros urbanos contam com uma espécie de refúgio térmico. Como já descrito nesse trabalho, as ilhas de frescor são áreas que apresentam temperaturas menores que seu entorno. Neste trabalho foi possível identificar seis pontos correspondentes a esse fenômeno, como mostra a Figura 20. Na Tabela 13 são mostradas as temperaturas encontradas em cada uma das ilhas de frescor localizadas na área urbana de Caxias do Sul.

Figura 20 - Localização das ilhas de frescor em Caxias do Sul



Fonte: Do Autor (2019).

Tabela 13 - Temperatura nas ilhas de frescor em Caxias do Sul

<b>Ilha de frescor</b>	<b>1993 (°C)</b>	<b>2017 (°C)</b>	<b><math>\Delta</math> (°C)</b>
Represa Dal'Bó	23,67	27,16	3,49
Parque Mato Sartori	23,03	29,51	6,48
Porção de mata	24,58	28,76	4,18
Parque Cinquentenário	25,92	30,67	4,75
Parque dos Macaquinhos	26,37	32,01	5,64
Lagoa do Rizzo	25,03	29,59	4,56

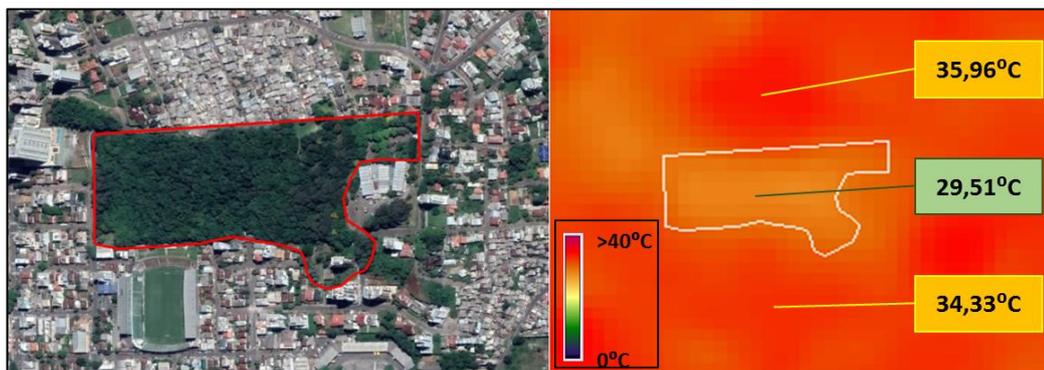
Fonte: Do Autor (2019).

Novamente são observadas temperaturas mais elevadas no ano de 2017 o que, como já comentado anteriormente neste trabalho, foi o ano mais quente sem a ocorrência do fenômeno *El Niño*. Embora com temperaturas mais altas que o normal, esses pontos continuam sendo refúgios térmicos em meio à urbanização encontrada em Caxias do Sul.

As ilhas de frescor identificadas na área de estudo apresentam considerável extensão de mata e, nos casos da Represa Dal’Bó e da Lagoa do Rizzo, apresentam também grande volume de água. Segundo Alves (2017) quanto maior a taxa de vegetação presente no meio menores são as temperaturas do ambiente, fato também constatado por Assis e Ferreira (2018).

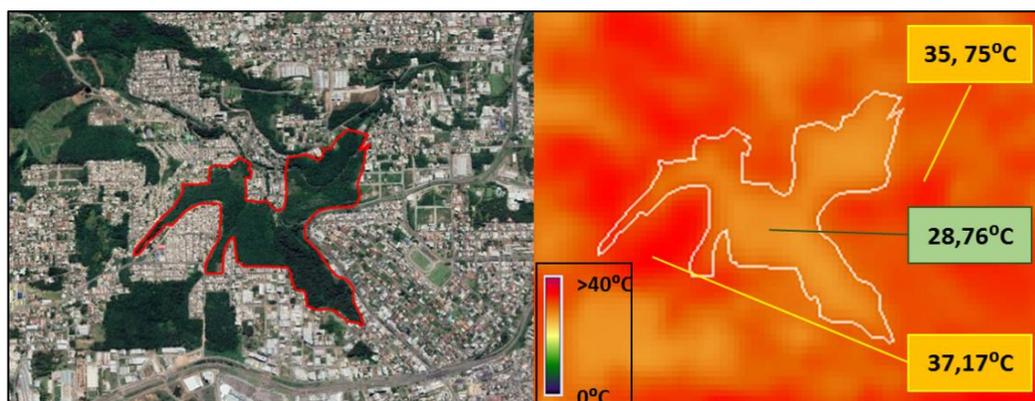
De encontro a essa constatação, os resultados aqui analisados mostram que áreas verdes, como é o caso dos parques e da grande porção de mata situada a oeste da área urbana de Caxias do Sul, indicam a ocorrência de temperaturas menores em relação ao seu entorno. Da Figura 21 até a Figura 24 é possível observar a influência da vegetação na temperatura, como comentada acima.

Figura 21 - Diferença de temperatura, caso Parque Mato Sartori



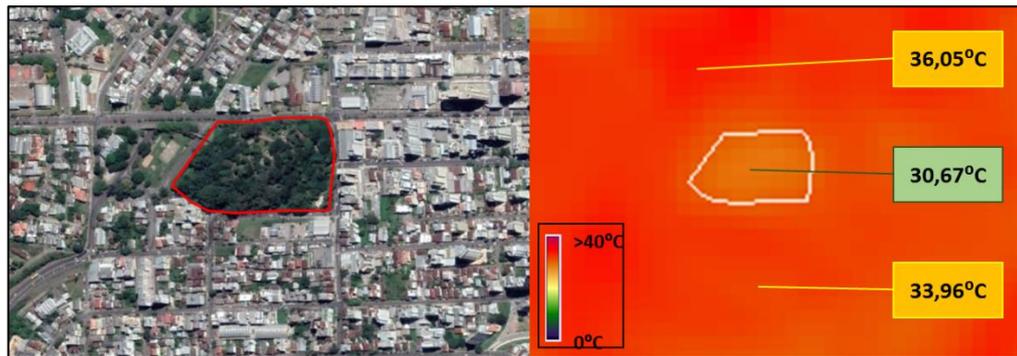
Fonte: Do Autor (2019).

Figura 22 - Diferença de temperatura, caso da porção de mata



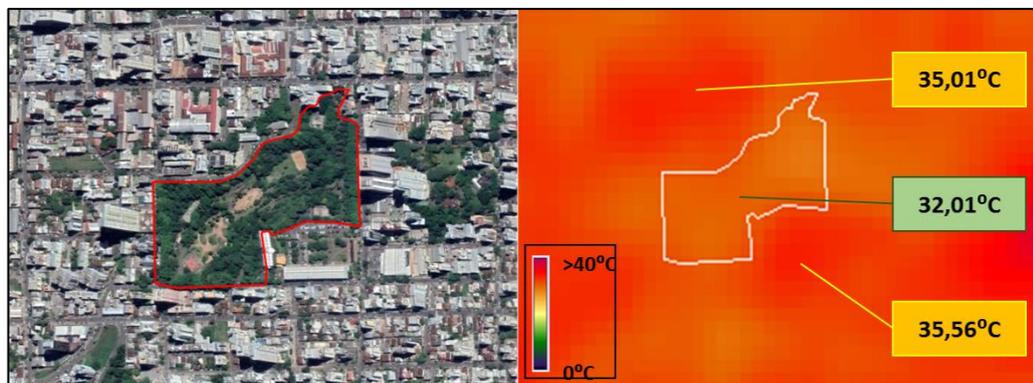
Fonte: Do Autor (2019).

Figura 23 - Diferença de temperatura, caso do Parque Cinquentenário



Fonte: Do Autor (2019).

Figura 24 - Diferença de temperatura, caso do Parque dos Macaquinhos



Fonte: Do Autor (2019).

Nas figuras apresentadas anteriormente, as cores em tom avermelhado e roxo representam temperaturas de superfície mais elevadas. Já as cores em tom de amarelo apresentam temperaturas de superfície menores.

Ao se analisar as figuras acima pode-se constatar que a diferença de temperatura apresentada na imagem referente à porção de mata tem maior variação. Em relação aos outros parques analisados nesse trabalho, a área da porção de mata localizada a oeste da área urbana, apresenta além de maior extensão, alta taxa de vegetação.

A diferença encontrada é de aproximadamente 8,4°C da área do parque até a região urbanizada próxima de sua borda. O que pode ser explicado pelo fato de que esta área possui uma taxa consideravelmente alta de vegetação fechada. A vegetação absorve maior quantidade de energia radiante, cooperando com a umidificação e resfriamento do ar, através da liberação de vapor d'água liberado no processo de fotossíntese (FERREIRA; CARRILHO; MENDES, 2015).

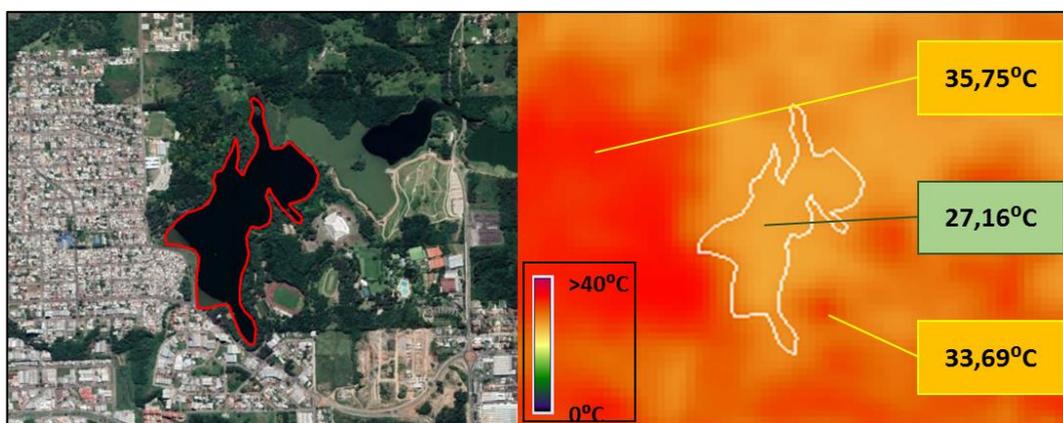
Resultados semelhantes foram encontrados por De Zorzi, Sorribas e Silveira (2017) ao analisarem a influência dos parques Farroupilha, Germânia e Moinhos de Vento, na cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. De acordo com os autores a diferença de temperatura num raio de 500 metros é significativa, uma vez que a variação observada ficou próxima dos 9°C em alguns casos.

Do mesmo modo, Costa, Peres e Silva (2010) identificaram uma variação considerável da temperatura na área urbana da cidade de Ilha Solteira, São Paulo. No estudo em questão, os autores identificaram uma variação de quase 23°C dentro do perímetro urbano da cidade. Neste sentido, a variação encontrada na área urbana de Caxias do Sul foi de aproximadamente 20°C, onde a temperatura mínima foi de 23,12°C e a temperatura máxima de 42,27°C.

Apesar desse trabalho ter resultados semelhantes aos supracitados é importante ressaltar que as metodologias utilizadas são diferentes, bem como os ambientes de estudo. De encontro a isso, De Zorzi, Sorribas e Silveira (2017) afirmam que a influência do parque está diretamente associada às suas características como forma, dimensões, quantidade e características da vegetação. Apesar disso, Duan *et al* (2018) e Azevedo *et al* (2017) enfatizam a importância da criação de espaços verdes nas cidades a fim incitar o surgimento de mais ilhas de frescor.

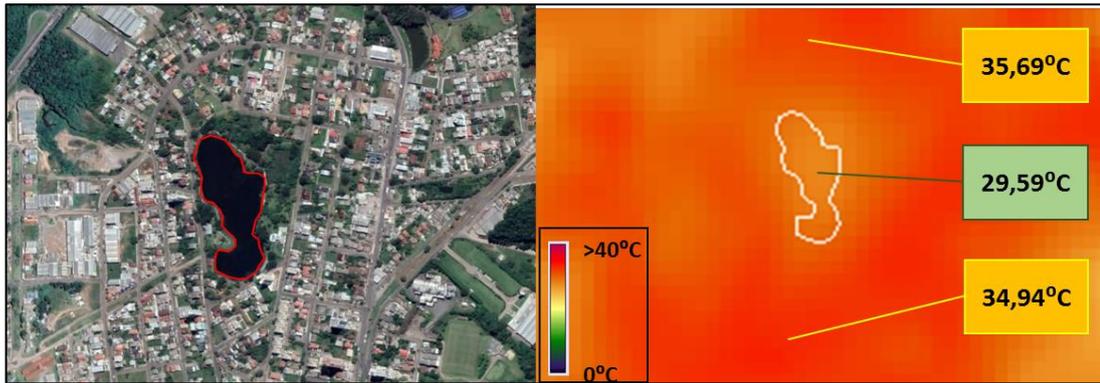
Além da influência da vegetação dos parques na área urbana, vale destacar que corpos hídricos também exercem influência nas temperaturas de superfície. As Figuras 26 e 27 mostram a temperatura da Represa Dal'Bó e da Lagoa do Rizzo.

Figura 25 - Diferença de temperaturas, caso da Represa Dal'Bó



Fonte: Do Autor (2019).

Figura 26 - Diferença de temperatura, caso da Lagoa do Rizzo



Fonte: Do Autor (2019).

Assim como as áreas verdes, corpos hídricos apresentam menor temperatura se comparados aos demais elementos da superfície terrestre. Gomes *et al* (2017) diz que esse fenômeno possivelmente se dá em função do elevado calor específico da água ( $1\text{cal/g}^\circ\text{C}$ ), o que faz com que seja necessária grande quantidade de energia para alterar sua temperatura.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados apresentados, fica evidente a importância do sensoriamento remoto em estudos como o apresentado até aqui. Essa ferramenta torna viável estudo de grandes áreas e proporciona dados com uma periodicidade que muitas vezes é inviável se feita através de coleta de dados in loco. Além disso, os custos envolvidos em trabalhos que se utilizam de sensoriamento remoto são muito baixos, visto que a maioria dos dados obtidos por satélite podem ser adquiridos de forma gratuita.

Por meio do sensoriamento remoto é possível obter dados de uso do solo, que é um importante elemento a ser identificado quando se deseja analisar a temperatura em ambientes urbanos. Quanto mais impermeabilizado o solo e mais desfavorável a geometria urbana, maiores são as temperaturas, portanto maior o desconforto térmico.

A expansão urbana traz consigo o aumento da população e a necessidade de infraestrutura para suprir suas demandas. A construção de novos edifícios, residências, comércio, indústrias e pavimentação para atender as demandas populacionais têm por consequência a alteração do clima no ambiente urbano. Geralmente esses efeitos são o aumento da temperatura, impedimento da circulação dos ventos e diminuição da umidade ambiente, trazendo a sensação de calor.

Em contrapartida, espaços verdes em meio aos centros urbanizados oferecem refúgio térmico, uma vez que esses apresentam temperaturas menores se comparados ao meio altamente impermeabilizado que os cercam. Esse fator reforça a necessidade da criação e manutenção de espaços verdes nas áreas urbanas. Além de parques e praças, os telhados verdes também podem ser utilizados para regular a temperatura ambiente visto que, apesar de possuírem proporções menores que parques, ambos exercem a mesma função.

No entanto, a criação de parques e praças requerem um espaço considerável em meio a urbanização para sua implementação, o que muitas vezes se torna inviável. Por isso, uma alternativa viável é a implementação de vegetação ao longo das vias urbanas, como é o caso da rua Gonçalo de Carvalho localizada em Porto Alegre – RS. Nesses casos, é possível observar um aumento do conforto térmico ao longo de um trecho maior, uma vez que os parques apresentam a redução de temperatura de forma pontual. A arborização das vias, por se tornar mais viável de execução, pode ser um tópico para apoiar projetos de planejamento para melhorar o conforto térmico dos grandes centros urbanos, como é o caso de Caxias do Sul.

Para dar continuidade a este trabalho, sugere-se que sejam realizadas medições em campo de fatores como umidade e intensidade do vento, a fim de relacioná-los com a

temperatura e assim obter índices de conforto térmico. Além disso, a medição *in loco* das temperaturas oferece maior precisão dos valores reais, uma vez que as imagens de satélite podem apresentar interferências em função da composição atmosférica. Ao se comparar os dados obtidos *in loco* com dados de satélite pode-se ter uma ideia da discrepância entre ambos e assim propor melhorias aos métodos atualmente utilizados.

## REFERÊNCIAS

ABREU-HARBICH, L. V.; LABAKI, L. C.; MATZARAKIS, A. Thermal bioclimatic in idealized urban street canyons in Campinas, Brazil. **Theor Appl Climatol**, v. 115, p. 333-340, 2013. Disponível em: <http://www.unisantos.br>. Acesso em: 10 ago. 2018.

ALBEDO. Altura: 632 pixels. Largura: 435 pixels. 72 dpi. 24 BIT. 97.6 Kb. Formato JPEG. Disponível em: <https://mikajojo.webnode.com.br/news/o-que-e-albedo/>. Acesso em: 09 out. 2018.

ALVES, E. D. L. Ilha de calor urbana e simulações: aplicação metodológica para o reordenamento do território. **Caminhos De Geografia**, p. 33–43, 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net>. Acesso em: 17 ago. 2018.

AMORIM, M. C. C. T. Climatologia e gestão do espaço urbano. **Mercator**, v. 9, p. 71–90, 2010. Disponível em: <http://www.mercator.ufc.br>. Acesso em: 15 set. 2018.

ANDRADE, T. C. Q. *et al.* Medição do conforto térmico em áreas públicas urbanas de Salvador-BA e calibração do índice de conforto PET usando a técnica Árvore de Decisão. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v. 4, p. 278–296, 2016. Disponível em: <https://portalseer.ufba.br>. Acesso em: 30 set. 2018.

ANDREOU, E.; AXARLI, K. Investigation of urban canyon microclimate in traditional and contemporary environment: experimental investigation and parametric analysis. **Renewable Energy**, v. 43, p. 354-363, 2012. Disponível em: <https://econpapers.repec.org>. Acesso em: 05 out. 2018.

ARAÚJO, B. C. D.; CARAM, R. Análise ambiental: estudo bioclimático urbano em centro histórico. **Ambiente & Sociedade**, v. 9, p. 149–167, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br>. Acesso em: 10 set. 2018.

ARAÚJO JUNIOR, C. **Ilhas De Calor Urbanas**. 2011. 59 p. Monografia (Bacharelado) - Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia, Ceará, 2011. Disponível

em: <http://www.uece.br>. Acesso em: 14 ago. 2018.

ASSIS, D. C.; FERREIRA, C. C. M. Zoneamento térmico e suas correlações associadas aos padrões de uso e ocupação da terra da região urbana, centro em Juiz de Fora - MG. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 22, p. 554-573, 2018.

AVDAN, U.; JOVANOVSKA, G. Algorithm for automated mapping of land surface temperature using Landsat 8 satellite data. *Journal of Sensors*, v. 2016, 8 p., 2016. Disponível em: <https://www.hindawi.com>. Acesso em: 08 nov. 2018.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. 332 p.

AZEVEDO, A. C. *et al.* Ilhas de Calor e Ilhas de Frescor: uma abordagem direcionada para a sala de aula. *Revista Diálogos*, p. 213–231, 2017. Disponível em: <http://www.dialogosuem.com.br>. Acesso em: 30 set. 2018.

BALDASSO, T. B. **Análise da sensação do conforto térmico nos verões do Rio Grande do Sul entre 2006 e 2014**. 2016. 124 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2016.

BARROS, H. R.; LOMBARDO, M. A. A ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo em São Paulo-SP. *Geosp - Espaço e Tempo*. v. 20, n. 1, p. 160 - 177, 2016. Disponível em: [www.revistas.usp.br](http://www.revistas.usp.br). Acesso em: 19 jun. 2019.

BLUNDEN, J.; ARNDT, D. S.; HARTFIELD, G. State of the Climate in 2017. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 8, n. 8, 311 p. ago. 2018. Disponível em: [https://www.ametsoc.net/sotc2017/StateoftheClimate2017\\_lowres.pdf](https://www.ametsoc.net/sotc2017/StateoftheClimate2017_lowres.pdf). Acesso em: 25 mai. 2019.

BOURBIA, F.; BOUCHERIBA, F. Impact of street design on urban microclimate for semi arid climate (Constantine). *Renewable Energy*, v. 35, p. 343-347, 2010. Disponível em: <https://www.researchgate.net>. Acesso em: 01 out. 2018.

BRITO, R. S. **Estudo do clima urbano na cidade de Campina Grande, Paraíba**. 2007. 86 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2007.

BRÖNNIMANN, S. *et al.* A focus on climate during the past 100 years. In: \_\_\_\_\_. **Climate variability and extremes during the past 100 years**. Suíça: Springer, 2008. p. 1-25.

BUENO, C. L. **A Influência da Vegetação no Conforto Térmico Urbano e no Ambiente Construído**. 2003. 186 p. Tese (Doutorado), Faculdade de Engenharia Civil, Universidade de Campinas, Campinas. 2003.

CEMIN, G. **Avaliação da fragmentação florestal no município de Caxias do Sul - RS: implicações ecológicas e proposição de cenários futuros**. 2014. 123 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Porto Alegre, 2014.

CHAVES, S. L. da S. *et al.* Avaliação do aumento da temperatura de superfície, na zona norte de Teresina - Piauí, usando como parâmetros a diminuição da cobertura vegetal e a expansão da urbanização, em 20 anos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIMAMENTO REMOTO, 18., 2017, Santos. **Anais eletrônicos [...]**. Campinas: GALOÁ, 2017. Disponível em: <https://proceedings.science/sbsr/papers/avaliacao-do-aumento-da-temperatura-de-superficie--na-zona-norte-de-teresina--piaui--usando-como-parametros-a-diminuicao?lang=pt-br#>. Acesso em: 10 mai. 2019.

CHAVEZ JR, P.S. Na improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction for multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, v. 24, p. 459-479, abr. 1988. Disponível em: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com). Acesso em: 14 mai. 2019.

CHEN, L.; JIANG, R.; XIANG, W.N. Surface heat island in Shanghai and its relationship with urban development from 1989 to 2013. **Advances in Meteorology**, 15 p., 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1155/2016/9782686>. Acesso em: 14 mai. 2019.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Blucher, 1999. 256 p.

COLLISCHONN, E. Área verde como oásis térmico na Região Metropolitana de Porto Alegre/RS. **Revista ACTA Geográfica**, p. 165–183, 2012. Disponível em: <https://revista.ufr.br>. Acesso em: 20 set. 2018.

CORRÊA, P. B. *et al.* Estudo do fenômeno da ilha de calor na cidade de Manaus/AM: um estudo a partir de dados de sensoriamento remoto, modelagem e estações meteorológicas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, p. 167–176, 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br>. Acesso em: 08 set. 2018.

COSTA, D. F.; SILVA, H. R.; PERES, L. F. Identificação de ilhas de calor na área urbana de Ilha Solteira - SP através da utilização de geotecnologias. **Engenharia Agrícola**, p. 213–242, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br>. Acesso em: 11 set. 2018.

CPTEC. Estações do ano. Disponível em: <http://clima1.cptec.inpe.br/estacoes/>. Acesso em: 08 nov. 2018.

\_\_\_\_\_. El Niño e La Niña. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/>. Acesso em 31 mai. 2019.

DE ZORZI, L. M.; SORRIBAS, M. V.; SILVEIRA, A. L. L. Estudo de ilhas de frescor urbano em Porto Alegre - RS. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 18., 2017, Santos. **Anais [...]**. Santos: INPE, 2017. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2017/>. Acesso em: 15 jun. 2019.

DUAN, J.; WANG, Y; FAN, C.; XIA, B.; GROOT, R. Perception of urban environmental risks and the effects of urban green infrastructures (UGIs) on human well-being in four public green spaces of Guangzhou, China. **Environmental Management**, v. 62, 18 p., mai. 2018. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00267-018-1068-8>. Acesso em: 15 jun. 2019.

ÉGERHÁZI, L. A.; KOVÁCS, A.; UNGER, J. Application of microclimate modelling and onsite survey in planning practice related to an urban micro-environment. **Advances in**

**Meteorology**, p.1-10, 2013. Disponível em: <https://www.hindawi.com>. Acesso em: 13 set. 2018.

FALCÓN, A. **Espacios Verdes para una Ciudad Sostenible**. Barcelona: GG, 2007. 176 p.

FERREIRA, L. F.; CARRILHO, S. T.; MENDES, P. C. Áreas verdes urbanas: uma contribuição aos estudos das ilhas de frescor. **Brazilian Geographical Journal**, v. 6, p. 101–120, 2015. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es>. Acesso em: 15 set. 2018.

FIALHO, E. S. **Ilha de calor em cidade de pequeno porte: Caso de Viçosa, na Zona da Mata Mineira**. 2009. 259 p. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, Programa de Pós-graduação em Geografia Física, São Paulo, 2009.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 97 p.

FOISSARD, X.; QUENOL, H.; DUBREUIL, V. Analyse et spatialisation de l'îlot de chaleur urbain dans l'agglomération rennaise. In: COLLOQUE DE L'ASSOCIATION INTERNATIONALE DE CLIMATOLOGIE, 26, 2013, Bénin, **Anais eletrônicos XXVIème Colloque de l'Association Internationale de Climatologie**. Bénin, 2013, p. 242-247. Disponível em: <https://halshs.archives-ouvertes.fr>. Acesso em: 25 set. 2018.

\_\_\_\_\_. **L'îlot de chaleur urbain et le changement climatique: application à l'agglomération rennaise**. 2015. 227 p. Tese (Doutorado). Université Rennes 2 Haute-Bretagne, Rennes, França. 2015.

FRANÇA, M. S. *et al.* Estimativa de índices de conforto térmico na cidade de Cuiabá/MT. **Caminhos de Geografia**, p. 141–151, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net>. Acesso em: 17 set. 2018.

FREITAS, A. F.; SANTOS, J. S.; LIMA, R. B. Avaliação do campo térmico urbano e projeções microclimáticas: um estudo de caso no Campus I da UFPB. **Boletim de Geografia**, p. 81–96, 2016. Disponível em: <http://www.periodicos.uem.br>. Acesso em: 22 set. 2018.

FREITAS, E. D.; DIAS, P. L. S. Alguns efeitos de áreas urbanas na geração de uma ilha de calor. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, n. 3, p. 355–366, 2005. Disponível em: <https://www.researchgate.net>. Acesso em: 11 set. 2018.

FROTA, A.B.; SCHIFFER, S.R. **Manual de conforto térmico: arquitetura e urbanismo**. 7. ed. São Paulo: Stúdio Nobel, 2003. 240 p.

GARCIA-SANTOS, V. *et al.* Comparasion of three methods for estimating land surface temperature from Landsat 8-TIRS sensor data. **Remote Sensing**, v. 10, 13 p. 2018. Disponível em: [www.mdpi.com](http://www.mdpi.com). Acesso em: 08 nov. 2018.

GIORDANO, D. E.; KRÜGER, E. Potencial de redução da temperatura de superfície pelo aumento do albedo nas diversas regiões brasileiras. **Paranoá**, Brasília, nº 11, p. 13-22, 2014. Disponível em: <http://periodicos.unb.br>. Acesso em: 04 set. 2018.

GIRALT, R. P. **Conforto térmico em espaços públicos abertos na cidade de Torres – RS**. 2006. 238 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-graduação em Planejamento Urbano Regional, Porto Alegre, 2006.

GOMES, H. B. *et al.* Temperatura da superfície e albedo na região de Ilha Solteira, São Paulo. **Mercator**, v. 16, 16 p., 2017. Disponível em: <http://www.mercator.ufc.br>. Acesso em: 19. jun. 2019.

GOMES, M. A. S.; AMORIM, M. C. C. T. Arborização e conforto térmico no espaço urbano: estudo de caso nas praças públicas de Presidente Prudente (SP). **Caminhos de Geografia**, v. 7, n. 10, p. 94–106, 2003. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br>. Acesso em: 12 set. 2018.

GOMES, P. S. Clima e planejamento ambiental urbano: estudo preliminar para Montes Claros-MG. **Paisagem Ambiente: ensaios**, v. 23, p. 42–49, 2007. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br>. Acesso em: 24 ago. 2018.

GOMES, W. P.; AMORIM, M. C. C. T.; DUBREUIL, V. Modelagem da Ilha de Calor Urbana Aplicada ao Ambiente Litorâneo - Ubatuba/Brasil. **Geography Department University of Sao Paulo**, v. 34, p. 82-94, 2017. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br>.

Acesso em: 18 set. 2018.

GONÇALVES, A.; CAMARGO, L. S.; SOARES, P. F. Influência da vegetação no conforto térmico urbano: Estudo de caso na cidade de Maringá - Paraná. In: SIMPGEU - SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA, 3, 2012, Maringá. **Anais do III Simpósio de Pós-Graduação em Engenharia Urbana**, 11 p. 2012. Disponível em: <http://www.eventos.uem.br>. Acesso em: 05 set. 2018.

HAM, Y. El Niño events set to intensify. **Nature**, v. 564, p. 192-193, dez. 2018. disponível em: [http://168.131.122.201/blog/index.php/test-3/?pageid=1&view=read&id=876&csrfpId=MmhdzLnKac9k4I6z-oBvczRj5qMcCzljWBridBwXcfB5MtSmcjMHRWbxE1AB1AVQ5\\_9X0GX6yD0=](http://168.131.122.201/blog/index.php/test-3/?pageid=1&view=read&id=876&csrfpId=MmhdzLnKac9k4I6z-oBvczRj5qMcCzljWBridBwXcfB5MtSmcjMHRWbxE1AB1AVQ5_9X0GX6yD0=). Acesso em: 31 mai. 2019.

HASENACK, H. **Influência de variáveis ambientais sobre a temperatura do ar na área urbana de Porto Alegre, RS**. 1989. 110 p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Curso de Pós-Graduação em Ecologia, Porto Alegre, 1989. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br>. Acesso em: 02 set. 2018.

HASSTENTEUFEL, P. *et al.* Análise dos Microclimas do Parque Farroupilha , Porto Alegre/RS. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIAS PARA O MEIO AMBIENTE, 3, 2012, Bento Golçalves. **Anais do 3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente**. 2012. 8 p. Disponível em: <https://siambiental.ucs.br>. Acesso em: 12 set. 2018.

HONORATO, A. F. A.; ANDRADE, V. S. DA A. Ilhas de calor e frescor na área urbana na cidade de Aquidauana-MS. **Revista Geonorte**, v. 2, p. 878–886, 2012. Disponível em: <http://www.periodicos.ufam.edu.br>. Acesso em 24 set. 2018.

HUSSAIN, A.; BHALLA, P.; PALRIA, S. Remote sensing based analysis of the role of land use/land cover on surface temperature and temporal changes in temperature a case study of Ajmer District, Rajasthan. In: ISPRS TECHNICAL COMMISSION SYMPOSIUM, 8, 2014, Hyderabad. **ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, Hyderabad: ISPRS, 2014. p. 1447-1454.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Cidades: 1960, Censo demográfico. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br>. Acesso em: 12 set. 2018.

\_\_\_\_\_. Cidade: 1991, Censo demográfico. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br>. Acesso em: 15 mai. 2019.

\_\_\_\_\_. Cidades: 2010, Censo demográfico. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br>. Acesso em: 12 set. 2018.

\_\_\_\_\_. Cidades: 2010. Área de unidade territorial. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br>. Acesso em: 08 nov. 2018.

ILHA DE CALOR. Altura: 320 pixels. Largura: 199 pixels. 96 dpi. 24 BIT. 26,8 Kb. Formato JPEG. Disponível em: <http://bibocaambiental.blogspot.com>. Acesso em 09 out. 2018.

IPCC: Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Nova Iorque: Cambridge University Press, 2013. 27 p.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2. ed. Tradução do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. São Paulo, Parêntese, 2009. 672 p.

KEGLER, J. J.; WOLLMANN, C. A.; BANDEIRA, B. C. O sistema termodinâmico de cidades pequenas: configuração urbano-rural com uso de transectos móveis em Agudo/RS, situação veranil de Janeiro de 2016. **Caminhos De Geografia**, v. 18, p. 32–48, 2017. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br>. Acesso em: 17 set. 2018.

KONOPACKI, S.; AKBARI, H. Energy savings of heat-island reduction strategies in Chicago and Houston (including updates for Baton Rouge, Sacramento, and Salt Lake City). **Energy**, p. 1–53, 2002. Disponível em: <https://buildings.lbl.gov>. Acesso em: 13 set. 2018.

LABAKI, L. C. *et al.* Vegetação e conforto térmico em espaços urbanos abertos. **Fórum**

**Patrimônio**, v. 4, p. 23–42, 2011. Disponível em: <http://www.forumpatrimonio.com.br>. Acesso em: 03 out. 2018.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A. P. **Conforto térmico e stress térmico**. 2013. Disponível em: <http://dec.ufms.br>. Acesso em: 04 set. 2018.

LANDSAT SCIENCE. Landsat 8 overview. Disponível em: <https://landsat.gsfc.nasa.gov>. Acessos em: 08 nov. 2018.

LEAL, L. R. *et al.* Análise de índices de conforto térmico urbano associados às condições sinóticas de Vitória (ES), Brasil. IN: ENCONTRO NACIONAL SOBRE REABILITAÇÃO URBANA E CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL: DO EDIFÍCIO PARA A ESCALA URBANA, 2, 2017, Lisboa. **Anais II Encontro Nacional Sobre Reabilitação Urbana e Construção Sustentável: do edifício para a escala urbana**, 2017, p. 363–372. Disponível em: <http://lpp.ufes.br>. Acesso em: 01 out. 2018.

LIMA, A.M.L.P. *et al.* Problemas de utilização na Conceituação de termos como espaços livres, áreas verdes e correlatos. In: Congresso Brasileiro sobre Arborização Urbana, 2, 1994, São Luiz/MA. **Anais do II Congresso Brasileiro sobre Arborização Urbana**. São Luiz: Imprensa EMATER/MA, 1994. p. 539-550.

LIU, Q. *et al.* Haze removal for a single visible remote sensing image. **Signal Processing**. v. 137, p. 33-43, fev. 2017. Disponível em: <https://www.journals.elsevier.com/signal-processing>. Acesso em: 20 mai. 2019.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor nas metrópoles**: o exemplo de São Paulo. São Paulo: Hucitec/Lalekla, 1985. 244 p.

MACIEL, C. R. Análise da relação entre características do ambiente urbano e o comportamento de variáveis microclimáticas: estudo de caso em Cuiabá-MT. 2011. 141 p. Dissertação (Pós-Graduação em Física Ambiental) - Universidade Federal do Mato Grosso. Cuiabá, 2011. Disponível em: [www.pgfa.ufmt.br](http://www.pgfa.ufmt.br). Acesso em: 19 jun. 2019.

MAGNOLI, D.; ARAÚJO, R. **Geografia a Construção do Mundo**. São Paulo: Moderna, 2005. 608 p.

MAIO, Angélica Di. *et al.* **Curso de Astronáutica e Ciências do Espaço: Sensoriamento Remoto**. Rio de Janeiro: AEB.Escola, 2008. 48 p.

MARINCIC, I., OCHOA DE LA TORRE, J.M. DEL RÍO, J.A. Confort térmico adaptativo dependiente de la temperatura y la Humedad. **ACE: Arquitectura, Ciudad y Entorno**. vol 20. p. 27-46, 2012.

MARTINI, A; BIONDI, A. C.; BATISTA, A. C.; ZAMPRONI, K. A periodicidade diária do índice de conforto térmico na arborização de ruas de Curitiba-PR. **Scientia Plena**, v. 9, n.5, p.1-9, 2013. Disponível em: <https://www.scientiaplena.org.br>. Acesso em 12 ago. 2018.

MASCARÓ, L. **Ambiência Urbana**. 1 ed. Porto Alegre: Sagra – DC Luzzatto, 1996

MELNIKOVA, I. *et al.* Estimation of leaf area index in a mountain forest of Central Japan with a 30-m spatial resolution based on Landsat operational land imager imagery: an application of a simple model for a season monitoring. **Remote Sensing**, v. 10, 24 p., jan. 2018. Disponível em: [www.mdpi.com/journal/remotesensing](http://www.mdpi.com/journal/remotesensing). Acesso e 14 mai. 2019.

MENDES, T. G. L. *et al.* Abordagem científica sobre ilhas de calor em Recife-PE. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 04, 13 p., 2019. Disponível em: <http://www.journals.ufrpe.br>. Acesso em: 19 jun. 2019

MIN, M.; ZHAO, H.; MIAO, C. Spatio-temporal evolution analysis of the urban heat island: a case study of Zhengzhou city, China. **Sustainability**, v. 10, 23 p., jun. 2018. Disponível em: <https://www.mdpi.com/journal/sustainability>. Acesso em: 29 mai. 2019.

MONTEIRO, P. J. M.; GERMANO, T. **Investigação multitemporal de ilhas de calor e de frescor em Maringá, Paraná, utilizando imagens do Satélite Landsat 5 - 2000 a 2010**. 2014. 99 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Maringá, 2012

MOREIRA, J. C.; SENE, E. **Geografia Geral e do Brasil: espaço geográfico e globalização**. 2. ed. São Paulo: Scipione, 2004. 275 p.

MOTA, S. **Urbanização e meio ambiente**. 3. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2003. 351 p.

NOVAIS, J. W. Z. *et al.* Condições térmicas e dependência espacial da temperatura de diferentes superfícies pelo Método da Krigagem em Cuiabá-MT, Brasil. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**. v. 20, n. 3, p. 131-136, 2016. Disponível em: <https://www.redalyc.org>. Acesso em: 19 jun. 2019.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. Londres: Methuen & Co, 1978. 372 p.

\_\_\_\_\_. 2. Ed. Londres: Methuen, 1987. 435 p.

OLIVEIRA, S.; VAZ, T.; ANDRADE, H. Perception of thermal comfort by users of urban green areas in Lisbon. **Finisterra**, v. 49, p. 113–131, 2014. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt>. Acesso em: 05 out. 2018.

PAIVA, F. I. B.; ZANELLA, M. E. Microclimas urbanos na área central do bairro da Messejana, Fortaleza/CE. **Revista Equador**, v. 2, n. 2, p. 153-172, 2013. Disponível em: <http://www.ojs.ufpi.br>. Acesso em: 12 ago. 2018.

PIRES, E. G. Análise da temperatura de superfície do estado do Tocantins a partir do uso de geotecnologias. **Revista Interface**, v. 10, p. 133–144, 2015. Disponível em: <https://sistemas.uft.edu.br>. Acesso em: 21 set. 2018.

POPULATION BULLETIN. **Word Population Highlights: Key findings from PRB's 2007 World population data sheet**. Population Reference Bureau. v. 62, nº 3, 2007. Disponível em: <https://assets.prb.org>. Acesso em: 28 set. 2018.

PORANGABA, G. F. O.; TEIXEIRA, D. C. F.; AMORIM, M. C. C. T. Procedimentos metodológicos para análise das ilhas de calor em cidades de pequeno e médio porte. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, p. 225–247, 2017. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br>. Acesso em: 07 set. 2018.

QIAO, Z. *et al.* Influences of urban expansion on urban heat island in Beijing during 1989-2010. **Advances in Meteorology**, v. 2014, 11 p., mar. 2014. Disponível em: [www.hindawi.com](http://www.hindawi.com). Acesso em: 12 mai. 2019.

RIBEIRO, H.; PESQUERO, C. R.; COELHO, M. DE S. Z. S. Clima urbano e saúde: uma revisão sistematizada da literatura recente. **Estudos Avançados**, v. 30, n. 86, p. 67–82, 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br>. Acesso em: 27 set. 2018.

RIZWAN, A. M.; DENNIS, Y.C; LIU, C. A review on the generation. Determination and mitigation of Urban Heat Island. **Journal of environmental sciences**, Tóquio, v. 20, n. 1, p. 120 – 128, 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.ez314.periodicos.capes.gov.br>. Acesso em: 23 ago. 2018.

ROJAS-CORTORREAL, G. M. *et al.* Evaluation of vegetation in urban space: Barcelona base model and propose to Dominican Republic. In: BORG, R. P.; GAUCI, P.; STAINES, C. S. **SBE 16 Malta: International Conference**. Malta: SBE Malta - Sustainable Built Environment, 2016. Cap. 3, p. 195–206. Disponível em: <http://www.sbe16malta.org>. Acesso em: 04 out. 2018.

ROSA, A. A. C.; SILVA, J. DE O. D. Conforto ambiental em espaços urbanos abertos: correlação com o planejamento de cidades. **Revista Intellectus**, v. 1, p. 45–56, 2017. Disponível em: <http://www.revistaintellectus.com.br>. Acesso em: 09 set. 2018.

ROSAS, J.; HOUBORG, R.; MCCABE, M. E. Sensitivity of Landsat 8 surface temperature estimates to atmospheric profile data: a study using MODTRAN in dryland irrigated systems. **Remote Sensing**, v. 9, 27 p., set. 2017. Disponível em: [www.mdpi.com/journal/remotesensing](http://www.mdpi.com/journal/remotesensing). Acesso em: 20 mai. 2019.

ROSSATO, M. S. Os climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologia. 2011. 240 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Porto Alegre, 2011.

ROTH, M. Review of atmospheric turbulence over cities. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, vol. 126, p. 941–990, 2000. Disponível em: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com>. Acesso em: 30 set. 2018.

SALVATI, A.; COCH, H. R.; CECERE, C. Urban heat island prediction in the mediterranean context: an evaluation of the urban weather generator model. **ACE: Architecture, City and Environment = Arquitectura, Ciudad y Entorno**, v. 11, n. 32, p. 135–156, 2016. Disponível em: <https://upcommons.upc.edu>. Acesso em 03 out. 2018.

SANTOS, J. S. *et al.* Campo Térmico Urbano e a sua relação com o uso e cobertura do solo em cidade tropical úmida. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 3, p. 540–557, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br>. Acesso em: 23 set. 2018.

SANTOS, F. M. M. Clima urbano de Cuiabá-MT-Brasil: ocupação do solo e suas influências. **Revista Monografias Ambientais**, v. 12, p. 2749–2763, 2013. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br>. Acesso em: 20 set. 2018.

SHANSHAN, L.; GENG-MING, J. Land surface temperature retrieval from Landsat-8 data with the generalizaed split-window algorithm. **IEEE**. v. 6, p. 18149-18162, 2018. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org>. Acesso em: 08 nov. 2018.

SHISHEGAR, N. Street design and urban microclimate: analyzing the effects of street geometry and orientation on airflow and solar access in urban canyons. **Journal of Clean Energy Technologies**, v. 1, p. 52–56, 2013. Disponível em: <http://www.jocet.org>. Acesso em: 08 set. 2018.

SILVA, L. C.; LIMA, J. D. Importância das áreas verdes. In: SANTOS, M. P.; PERES, S. M.; PAULA, M. H. **História, cidades, redes políticas e sociais**. São Paulo: Blucher, 2017. Cap. 2. p. 91–101.

SILVA, N. T. *et al.* Microclimas e avaliação do conforto térmico no bairro do centro de João Pessoa, Paraíba. **Revista Geonorte**. v. 2, n. 5, p. 401-410, 2012.

SOARES, A. L. **Análise do efeito do estresse térmico por calor na produtividade de**

**operadores em uma fundição.** 2014. 115 p. Dissertação (Mestrado), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Ponta Grossa, 2014.

SOUZA, D. O. DE; ALVALÁ, R. C. S. Observational evidence of the urban heat island of Manaus City, Brazil. **Meteorological Applications**, v. 21, p. 186–193, 2012. Disponível em: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com>. Acesso em: 16 set. 2018.

SOUZA, J. F. de; SILVA, R. M.; SILVA, A. M. Influência do uso e ocupação do solo na temperatura da superfície: o estudo de caso de João Pessoa – PB. **Ambiente Construído**, v. 16, n. 1, p. 21-37, 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br>. Acesso em: 31 ago. 2018.

SOUZA, M. R.; SCOPEL, I.; MARTINS, A. P. Áreas Verdes no sítio urbano de Jataí (GO). **Caminhos de Geografia**. p. 181–198, 2014. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br>. Acesso em: 10 set. 2018.

STEWART, I.; OKE, T. Local climate zones for urban temperature studies. **American Meteorological Society**. p. 1879-1900, 2012. Disponível em: <https://www.researchgate.net>. Acesso em: 01 set. 2018.

STREUTKER, D.R. A remote sensing study of the urban heat island of Houston, Texas. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, p. 2.595-2.608, 2002. Disponível em: <https://www.tandfonline.com>. Acesso em: 25 set. 2018.

TEIXEIRA, D. C. F.; AMORIM, M. C. C. T. Ilhas de calor: representações espaciais de cidades de pequeno porte por meio de modelagem. **GEOUSP**, v. 21, n. 1, p. 239-256, 2017.

TELES, C. M. G. **Influência climática do Parque da cidade de Guimarães.** 2013. 93 p. Tese (Doutorado), Universidade do Minho, Instituto de Ciências Sociais, Braga, 2013.

TOMLINSON, C.J.; LEE, C.; THORNES, J.E.; BAKERA, C. Remote sensing land surface temperature for meteorology and climatology: a review. **Meteorological Applications**, v. 18, p. 296-306, 2011.

TROPMAIR, H.; GALINA, M. H. Áreas Verdes. Território & Cidadania, ano III, n. 2, 2003. Disponível em: [ww.rc.unesp.br](http://ww.rc.unesp.br). Acesso em: 01 set. 2018.

USGS. **Landsat 7**: data users handbook. Disponível em: <https://landsat.usgs.gov/landsat-7-data-users-handbook-section-5>. Acesso em: 09 nov. 2018.

\_\_\_\_\_. **Landsat 8 (L8)**: data users handbook. 2 ed. Sioux Falls: EROS, 2016. Disponível em: <https://landsat.usgs.gov>. Acesso em: 09 nov. 2018.

WICAKSONO, P.; HAFIZT, M. Dark target effectiveness for dark-object subtraction atmospheric correction methods on mangrove above-ground carbon stock mapping. **IET Image Processing**, v. 12, p. 582-587, jan. 2018. Disponível em: [www.ietdl.org](http://www.ietdl.org). Acesso em: 12 jun. 2019.

ZORZI, L. M.; GRIGOLETTI, G. C. Contribuições da arborização para o conforto ambiental e a eficiência energética urbana. **Revista de Arquitetura IMED**, v. 5, n. 2, p. 75-84, 2016. Disponível em: <https://seer.imed.edu.br>. Acesso em: 19 set. 2018.