



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

MAPEAMENTO DE TEMPERATURAS DE SUPERFÍCIE EM BELO HORIZONTE  
ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS

LUCAS VITOR DE ANDRADE CASTILHO

BELO HORIZONTE  
2015

LUCAS VITOR DE ANDRADE CASTILHO

MAPEAMENTO DE TEMPERATURAS DE SUPERFÍCIE EM BELO HORIZONTE  
ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado ao Centro Federal de  
Educação Tecnológica de Minas Gerais  
como requisito parcial para obtenção do  
título de Engenheiro Ambiental e  
Sanitarista.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Wagner Gonçalves Andrade Coelho

---

Aluno  
Lucas Vitor de Andrade Castilho

---

Professor orientador  
Carlos Wagner Gonçalves Andrade Coelho

BELO HORIZONTE

2015

LUCAS VITOR DE ANDRADE CASTILHO

TÍTULO DO TRABALHO: MAPEAMENTO DE TEMPERATURAS DE SUPERFÍCIE  
EM BELO HORIZONTE ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Data de aprovação: 25/11/2015

Banca Examinadora:

---

Carlos Wagner Gonçalves Andrade Coelho – Presidente da Banca Examinadora  
Prof. Dr. em Geografia do CEFET-MG Campus Belo Horizonte – Orientador

---

Taíza de Pinho Barroso Lucas  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. em Geografia do CEFET-MG Campus Curvelo

---

Cristiane Nobre Prudente  
Prof<sup>a</sup>. M<sup>a</sup>. em Geografia da UniBH, Gerente Técnico na GlobalGeo Geotecnologias

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, em primeiro lugar, que abençoou minha trajetória durante a realização deste trabalho e me deu forças e saúde.

A todos que estiveram comigo nesta etapa importante da minha vida, que me proporcionou crescimento intelectual e pessoal.

Aos meus familiares, pelo apoio desde o início, pelo carinho e confiança.

Ao meu orientador, Professor Carlos Wagner Gonçalves Andrade Coelho, pela oportunidade, pela confiança no meu trabalho e pelas orientações no direcionamento e desenvolvimento deste estudo.

Ao Professor Ricardo José Gontijo Azevedo, pela colaboração, ao emprestar livros que enriqueceram o entendimento da temática abordada.

## RESUMO

A urbanização e a industrialização, juntamente com o crescimento desordenado e mal planejado das cidades, provocam impactos ambientais e sociais, e atingem de maneira negativa o meio ambiente e a saúde humana. Neste contexto, ocorre o fenômeno denominado Ilhas de Calor Urbano, caracterizadas por temperaturas de ar e de superfície mais elevadas do que em áreas circunvizinhas, e causadas por diferentes fatores, tendo destaque a ausência de áreas verdes; a verticalização; a contaminação ou poluição do ar; a baixa umidade relativa; e materiais como o asfalto e concreto. O objetivo principal deste trabalho foi identificar as temperaturas de superfície no município de Belo Horizonte-MG, através da utilização de geotecnologias, com uma imagem do satélite Landsat 8 para cada estação do ano em 2014, assim como identificar as ilhas de calor e de frescor. Utilizou-se quatro imagens relativas aos dias 16/01/2014, 09/06/2014, 12/08/2014 e 15/10/2014, correspondendo ao verão, outono, inverno e primavera, respectivamente. Aplicou-se técnicas de geoprocessamento e de classificação de imagens através de sensoriamento remoto. Em ambiente SIG, realizou-se a classificação das imagens em seis classes:  $\leq 17$  °C; 17,1 a 22 °C; 22,1 a 27 °C; 27,1 a 32°C; 32,1 a 37°C; e  $\geq 37$ °C. Observou-se que as ruas, estradas, avenidas, áreas industriais, densamente ocupadas e construídas, e com menor presença de vegetação, obtiveram temperaturas de superfície mais elevadas, enquanto as regiões com maior quantidade de áreas verdes e permeáveis apresentaram menores temperaturas de superfície e atenuação das mesmas em áreas próximas. Para mitigar os efeitos das ilhas de calor, julga-se essencial a adoção de medidas como o aumento da cobertura vegetal; a criação de telhados verdes; a utilização de pavimentos frios; e o incentivo do poder público, tendo o Plano Diretor do município uma importante função na melhoria da gestão e planejamento do espaço urbano. A metodologia utilizada neste trabalho possibilita a aplicação em outros intervalos de datas e locais distintos, podendo-se abranger maiores ou menores áreas para análises em macro, meso ou micro escalas, o que contribui na compreensão dos problemas e no auxílio na tomadas de decisões.

Palavras-chave: Geotecnologias. Infravermelho termal. Temperaturas de superfície. Ilhas de calor urbano.

## ABSTRACT

Urbanization and industrialization along with the sprawl and poorly planned cities, cause environmental and social impacts, and negatively affect the environment and human health. In this context, the phenomenon occurs called Heat Islands Urban, characterized by higher air temperatures and surface than in surrounding areas and caused by different factors, having highlighted the absence of green areas; verticalization; contamination or air pollution; the low relative humidity; and materials such as asphalt and concrete. The aim of this study was to identify surface temperatures in the city of Belo Horizonte, Minas Gerais, through the use of geotechnologies, with a satellite image Landsat 8 for each season in 2014, and to identify the heat islands and freshness. We used four images for each day 01.16.2014, 06.09.2014, 08.12.2014 and 10.15.2014, corresponding to summer, autumn, winter and spring, respectively. Applied geoprocessing and image sorting through remote sensing. In GIS, there was the classification of images into six classes:  $\leq 17$  °C; 17.1 to 22 °C; 22.1 to 27 °C; 27.1 to 32 °C; 32.1 to 37°C; and  $\geq 37$ °C. It was observed that the streets, roads, avenues, industrial areas, densely populated and built, and less presence of vegetation, obtained higher surface temperatures, while the regions with higher amounts of green and permeable areas had lower surface temperatures and mitigation of nearby areas. To mitigate the effects of heat islands, considers it essential to adopt measures such as increasing the vegetation cover; the creation of green roofs; the use of cold floors; and encouragement of the government, with the city's Master Plan an important role in improving the management and planning of urban space. The methodology used in this work enables application in other intervals times and different places, can be cover larger or smaller areas for analysis in macro, meso or micro scales, which contributes to the understanding of the problems and aid in decision making.

Key-words: Geotechnologies. Thermal infrared. Surface temperatures. Urban Heat Islands.

## SUMÁRIO

<b>1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....</b>	<b>7</b>
<b>2 MOTIVAÇÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>3 OBJETIVOS.....</b>	<b>10</b>
<b>3.1 Objetivo geral .....</b>	<b>10</b>
<b>3.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>10</b>
<b>4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>11</b>
<b>4.1 Ilhas de calor .....</b>	<b>11</b>
4.1.1 <u>Albedo</u> .....	18
4.1.2 <u>Estudos realizados sobre ilhas de calor</u> .....	19
<b>4.2 Radiação eletromagnética .....</b>	<b>20</b>
<b>4.3 Geotecnologias, conceitos e aplicações.....</b>	<b>22</b>
<b>4.4 United States Geological Survey .....</b>	<b>25</b>
<b>4.5 Satélite Landsat 8.....</b>	<b>26</b>
4.5.1 <u>Principais características</u> .....	26
<b>4.6 Área de estudo .....</b>	<b>30</b>
<b>5 METODOLOGIA .....</b>	<b>32</b>
<b>5.1 Aquisição das imagens.....</b>	<b>32</b>
<b>5.2 Aplicação de técnicas de SIG e sensoriamento remoto .....</b>	<b>35</b>
<b>6 RESULTADOS.....</b>	<b>39</b>
<b>6.1 Análise dos mapas .....</b>	<b>39</b>
<b>6.2 Medidas mitigadoras das ilhas de calor.....</b>	<b>61</b>
<b>7 CONCLUSÕES .....</b>	<b>65</b>
<b>8 PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>66</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>67</b>

## **1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA**

Segundo Assis e Abreu (2010), a redução de áreas verdes e a impermeabilização do solo estão relacionadas à formação de ilhas de calor, assim como também influenciam na maior velocidade do escoamento superficial das precipitações, redução da infiltração e intensificação da ocorrência de inundações, causando impactos negativos dos pontos de vista ambiental, social e econômico.

As temperaturas elevadas e as características do fenômeno ilhas de calor causam efeitos negativos, como desconforto térmico, problemas respiratórios e aumento no consumo de energia (GARTLAND, 2010).

Nesse sentido, o presente trabalho utilizou geotecnologias para subsidiar o mapeamento de temperaturas de superfície em Belo Horizonte-MG, a fim de contribuir para a identificação dos locais de maiores e menores temperaturas no município. Isso poderá auxiliar na tomada de decisões governamentais no intuito de investir em intervenções práticas, como o emprego de coberturas e pavimentos que absorvem menor radiação solar, assim como a utilização de árvores e outras vegetações, tendo como prioridade a melhoria da qualidade de vida e do conforto térmico dos cidadãos da capital mineira.

O problema definido para o presente trabalho consiste na seguinte pergunta:

Como aplicar técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto no mapeamento de ilhas de calor do município de Belo Horizonte-MG, através da utilização de imagens de satélite ?

## 2 MOTIVAÇÃO

O rápido processo de expansão espacial, crescimento demográfico e desenvolvimento econômico do município de Belo Horizonte têm causado degradações ambientais, tanto em nível municipal como metropolitano. A urbanização e a industrialização, juntamente com o crescimento desordenado e mal planejado das cidades, provocam impactos ambientais e sociais, e atingem de maneira negativa o meio ambiente e a saúde humana (ASSIS e ABREU, 2010).

Dentro desta problemática, ocorre o fenômeno denominado ilhas de calor, causado por diferentes fatores, tendo destaque a ausência de áreas verdes; a verticalização; a contaminação ou poluição do ar; a baixa umidade relativa, devido à baixa evaporação a partir do solo; a concentração de geração de calor pelas atividades que ocorrem na área urbana (MAGALHÃES FILHO e ABREU, 2010). Nesse contexto, o inadequado uso e ocupação do solo das cidades vem causando o aumento da concentração das temperaturas no ambiente urbano, o que ocasiona as chamadas ilhas de calor.

Para caracterizar este fenômeno, diversas técnicas vêm sendo utilizadas por diferentes autores em várias regiões do mundo. Conforme aborda Coelho (2010), as geotecnologias, com destaque para o sensoriamento remoto integrado com os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), possuem grande relevância no auxílio à pesquisa em seus diversos âmbitos. O sensoriamento remoto, particularmente, vem adquirindo nas últimas décadas grande aceitação no meio acadêmico em função do acesso a hardwares, softwares e produtos gratuitos como as imagens de satélites, que complementam as análises e aplicações, a exemplo das pesquisas geográficas.

Nas últimas décadas, o sensoriamento remoto aplicado em estudos de clima urbano vem se destacando, pois além de oferecer visões de diferentes escalas, permite a utilização de dados do infravermelho termal. A superfície urbana, ao receber radiação eletromagnética do Sol, terá parte dessa energia absorvida e parte refletida. Isso faz com que os sensores que operem na faixa do infravermelho termal possam medir no topo da atmosfera a radiação emitida pela superfície terrestre. Esses dados, após sofrerem uma correção dos efeitos atmosféricos, podem ser convertidos em temperatura da superfície a qual é estimada de acordo com a lei de

Planck que estabelece que: quanto maior a temperatura de um dado comprimento de onda, maior a quantidade de energia emitida por um corpo negro (DASH et al, 2002).

As imagens de satélite, especialmente as imagens de infravermelho (térmicas), mostram consistentemente durante os instantes fotografados, a maior temperatura reinante das superfícies urbanas quando comparadas com as outras superfícies do seu entorno (MAGALHÃES FILHO e ABREU, 2010).

Nesse sentido, de acordo com Morais et al. (2013), aplicar o sensoriamento remoto tem a principal vantagem de se obter informações contínuas distribuídas sobre a superfície da Terra, através da utilização de imagens de satélite, e possibilitar uma análise fundamentada, apesar das limitações dos sensores orbitais.

O presente trabalho tem como objetivo geral identificar as temperaturas de superfície do município de Belo Horizonte, através da utilização de técnicas de geoprocessamento e imagens da banda espectral 10 do satélite Landsat 8, correspondente ao infravermelho termal. Essa banda é utilizada para estudar a variação da temperatura da superfície do planeta.

Desse modo, o trabalho proposto configura-se importante, uma vez que resultará em contribuições para o esclarecimento e enriquecimento de informações sobre o assunto tratado, e para o auxílio na tomada de decisões. Além disso, constitui-se ferramenta para refletir sobre um melhor aproveitamento do solo.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo geral**

Identificar as temperaturas de superfície na capital mineira, através da utilização de geotecnologias, com uma imagem de satélite de 2014 para cada estação do ano.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Utilizar ferramentas de geoprocessamento no mapeamento de ilhas de calor;
- Identificar os principais pontos da capital mineira com temperaturas elevadas (ilhas de calor);
- Identificar os principais pontos de baixas temperaturas (ilhas de frescor);
- Correlacionar o uso e ocupação do solo no ambiente urbano na geração das maiores e menores temperaturas;
- Propor medidas para a melhoria do conforto térmico dos habitantes.

## 4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Foi realizada revisão bibliográfica no intuito de abordar um referencial teórico adequado para a aquisição de conhecimentos, entendimento e desenvolvimento do assunto abordado.

### 4.1 Ilhas de calor

De acordo com Monteiro e Mendonça (2003), a intensificação das preocupações com o ambiente urbano, principalmente com a degradação do mesmo, decorre do incremento das cidades em relação ao seu crescimento e complexidade, assim como ao agravamento da queda da qualidade de vida urbana, de maneira mais evidente em cidades grandes e áreas metropolitanas.

Monteiro e Mendonça (2003) destacam que, acompanhando essas preocupações, os climatólogos urbanos aprimoraram seus estudos e alçaram a climatologia a uma interação direta com urbanistas, de modo a integrar o planejamento urbano ao clima através da abordagem do mesmo segundo três campos diferentes e intrinsecamente associados uns aos outros, que são:

- Campo Termo-higrométrico, no qual são abordados os estudos de ilhas de calor e de frescor urbanas, do conforto/desconforto térmico, de inversões térmicas, etc.;

- Campo Físico-químico ou Dispersão, voltado à análise da dinâmica do ar na sua interação com a cidade, destacando a poluição do ar, as chuvas ácidas, a relação entre a estrutura urbana e os ventos, etc.;

- Campo Hidrometeorológico, relacionado ao estudo das precipitações urbanas e seus impactos, tais como os processos de inundações nas cidades.

Nesse contexto, o presente trabalho relaciona-se diretamente com o Campo Termo-higrométrico, uma vez que estuda o mapeamento de ilhas de calor e de frescor urbanas no município de Belo Horizonte – MG.

Segundo Souza (2011), os processos de urbanização e industrialização, ao mesmo tempo em que constituem bom indicador do nível de desenvolvimento e progresso alcançado, também configuram-se como um grande problema, e pode-se exemplificar na visível degradação do meio ambiente urbano e de sua qualidade de

vida. As alterações climáticas decorrentes da ocupação desordenada do solo implicam desconforto aos habitantes e também repercutem no desempenho energético da cidade.

Conforme aborda Ayoade (2003), nas áreas urbanas ocorre a alteração das propriedades térmicas e hidrológicas da superfície terrestre, assim como seus parâmetros aerodinâmicos são modificados pelos processos de urbanização e industrialização. As superfícies naturais são substituídas por superfícies pavimentadas, ruas e telhados de prédios. Como resultado, a radiação em ondas curtas é reduzida, e as temperaturas elevam-se, mesmo quando diminui a duração da insolação. Há a formação das chamadas Ilhas de Calor Urbano (ICU), que correspondem a uma área na qual a temperatura da superfície é mais elevada que as áreas circunvizinhas, o que propicia o surgimento da circulação local.

De acordo com Gartland (2010), as ilhas de calor são formadas em áreas urbanas e suburbanas porque muitos materiais de construção comuns absorvem e retêm mais calor do Sol do que materiais naturais em áreas rurais menos urbanizadas. Esse aquecimento é provocado por duas razões principais. A primeira é que a maior parte dos materiais de construção é impermeável e estanque, e por essa razão não há umidade disponível para dissipar o calor do sol. A segunda é que a combinação de materiais escuros de edifícios e pavimentos absorve e armazena mais energia solar.

Na medida em que as cidades vão se expandindo, as ilhas de calor também tendem a ficar mais intensas, e caracterizam-se por temperaturas de ar e de superfície mais elevadas do que em áreas rurais circundantes. O efeito da ICU é mais intenso em dias calmos e claros, e é mais fraco em dias nublados e com ventos, uma vez que mais energia solar é capturada em dias claros, e ventos mais brandos removem o calor de maneira mais vagarosa (GARTLAND, 2010).

De acordo com King e Davis (2007), a cidade tende a ser mais quente que a área rural devido à diferença de energia absorvida e dissipada em cada região, e há alguns fatores que contribuem para o relativo aquecimento das áreas urbanas:

a) durante o dia, nas áreas rurais, a energia solar absorvida próxima do solo evapora a umidade presente na vegetação e no solo, de modo que enquanto houver incidência de energia solar, esta é compensada em alguns graus pelo resfriamento

provocado pela evaporação. Em cidades, onde há menos vegetação, as construções, ruas e calçadas absorvem a maioria da incidência de energia solar;

b) a perda de energia é maior nas cidades devido à menor presença de água e pelo fato de a maioria dos pavimentos não serem porosos, o que torna o resfriamento evaporativo menor, contribuindo para as altas temperaturas;

c) o calor perdido, ou seja, irradiado pelas construções e veículos, é outro fator que contribui para o aquecimento das cidades, e a contribuição do calor pode ser um terço da energia solar recebida;

d) as propriedades térmicas das construções são adicionadas ao calor do ar pela condução, sendo que o asfalto, tijolo e concreto são melhores condutores de calor do que a vegetação;

e) a verticalização de altos prédios cria condições para o aquecimento. Durante o dia, a energia solar é aprisionada por múltiplas reflexões dos prédios, enquanto a perda de energia infravermelha é reduzida pela absorção.

Um grande número de fatores geográficos está envolvido na formação das ilhas de calor urbano. Cada cidade tem suas características individuais, dependendo de fatores locais, como as características do relevo, estrutura urbana e tipos de materiais de construção. As diferentes influências destes fatores nas zonas climáticas (temperada, tropical e polar) tornam mais complicado o entendimento destas interações (KLYSIC e FORTUNIAK, 1999).

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos realiza uma importante comparação entre as ilhas de calor urbanas de superfície e atmosféricas (Quadro 1). A magnitude das ICU de superfície varia com as estações do ano, devido a mudanças na intensidade de incidência solar, bem como com a cobertura do solo e o clima. As ICU atmosféricas caracterizam-se pelo ar mais quente em áreas urbanas em comparação como ar mais frio em ambientes rurais próximos. A distribuição do pico depende das propriedades das superfícies urbanas e rurais, da época e das condições meteorológicas prevalentes (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2008).

**Quadro 1 – Características básicas de ilhas de calor urbanas de superfície e atmosféricas**

<b>Característica</b>	<b>ICU de superfície</b>	<b>ICU atmosféricas</b>
Desenvolvimento temporal	- Presente em todos os momentos do dia e da noite - Mais intenso durante o dia e no verão	- Pode ser pequeno ou inexistente durante o dia - Mais intenso durante a noite ou madrugada e no inverno
Intensidade do pico (condições mais intensas)	Maior variação espacial e temporal: dia (10 a 15°C), noite (5 a 10°C)	Menor variação: dia (-1 a 3°C), noite (7 a 12°C)
Método típico de identificação	Medida indireta: Sensoriamento remoto	Medição direta: - Estações meteorológicas fixas - Travessias móveis
Representação típica	Imagem térmica	- Mapa isotérmico - Gráfico de temperatura

Fonte: Adaptado de ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (2008)

Uma das consequências da substituição das áreas verdes por casas e prédios, ruas, avenidas e uma série de outras construções, é o aumento significativo da irradiação de calor para a atmosfera, em comparação com as zonas periféricas ou rurais, onde, em geral, é maior o percentual de cobertura vegetal. Nas áreas centrais das cidades registra-se, também, uma maior concentração de gases e materiais particulados suspensos no ar, lançados principalmente por automóveis e indústrias, o que intensifica o efeito estufa localizado, colaborando para a formação de ilhas de calor urbano (SANTOS, 2010).

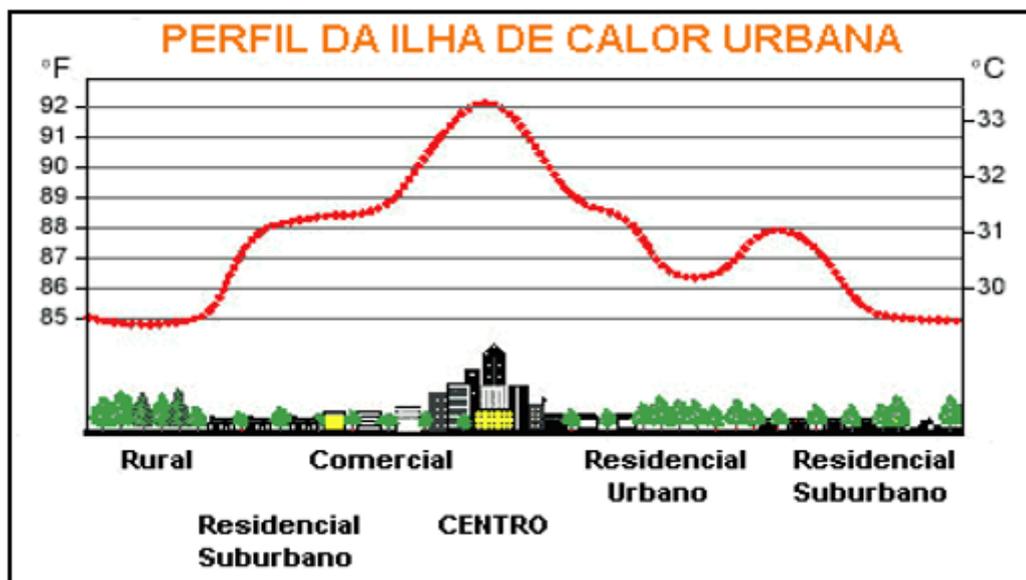
Nesse sentido, Lombardo (1985) destaca que a emissão de poluentes tem forte influência nas elevadas temperaturas, principalmente em áreas com atividades comerciais e industriais devido ao elevado fluxo de veículos em horários de pico, pois a camada de poluentes pode reduzir a radiação solar direta por refletir parte dela, dificultando a dispersão do calor.

Vale destacar que o aquecimento que resulta das ICU, tanto em pequenas áreas quanto nas cidades, é um exemplo de mudança climática local, uma vez que

seus efeitos estão limitados à escala local e diminuem com a distância de sua fonte. Já as mudanças climáticas globais, tais como as causadas por aumento da concentração de gases de efeito estufa, não são local ou regionalmente confinadas (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2008).

Uma representação da ocorrência da ICU pode ser observada na Figura 1. Percebe-se que a temperatura mais elevada encontra-se no centro urbano e, à medida que se afasta deste, em direção aos subúrbios e áreas rurais, as temperaturas tendem a diminuir.

**Figura 1 – Representação do perfil térmico do fenômeno das ilhas de calor**



Fonte: Souza (2011)

Segundo Freitas e Dias (2005), a taxa de evapotranspiração na cidade é tipicamente mais baixa, o que acentua ainda mais o contraste de temperatura com suas redondezas. O sistema de drenagem remove rapidamente a maior parte das águas pluviais, de modo que apenas uma pequena parcela da radiação absorvida é utilizada para evaporação e a maior parte dessa radiação é utilizada para aquecer a terra e o ar diretamente. Por outro lado, as superfícies úmidas das áreas rurais (lagos, riachos, solo e vegetação) aumentam a fração de radiação absorvida que é utilizada para evaporação, propiciando a redução das temperaturas de superfície.

Um fator que também influencia o desenvolvimento das ICU, especialmente à noite, é a geometria urbana, que se refere às dimensões e espaçamento de edifícios

dentro de uma cidade. A geometria urbana influencia o fluxo do vento, a absorção de energia e a capacidade de uma determinada superfície em emitir radiação de ondas longas de volta ao espaço. Em áreas desenvolvidas, superfícies e estruturas são muitas vezes obstruídas por objetos, como edifícios vizinhos, e tornam-se grandes massas térmicas que não podem liberar seu calor muito rapidamente devido a essas obstruções. Especialmente à noite, o ar acima dos centros urbanos é tipicamente mais quente do que o ar sobre as áreas rurais (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2008).

Pesquisadores usualmente se concentram em um aspecto da geometria urbana chamado cânions urbanos, o que pode ser ilustrado por uma rua relativamente estreita cercada por edifícios altos. Durante o dia, cânions urbanos podem ter efeitos concorrentes. Por um lado, edifícios altos podem criar sombra, reduzindo as temperaturas do ar e de superfície. Por outro lado, quando a luz solar atinge superfícies no canyon, a energia é refletida e absorvida pelas paredes, o que reduz ainda mais o albedo da superfície, ou seja, a reflectância líquida global da cidade, podendo-se aumentar as temperaturas. À noite, cânions urbanos geralmente impedem o resfriamento, pois edifícios e estruturas podem obstruir o calor que está sendo liberado da infraestrutura urbana (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2008).

Os principais efeitos nocivos dessa problemática envolvendo as ilhas de calor são: a redução da evapotranspiração e evaporação, pela ausência de vegetação e água disponível; altas temperaturas que ocorrem nas áreas mais impermeabilizadas, em decorrência dos efeitos combinados das várias características do sítio construído, que provocam baixa pressão atmosférica nestas áreas, gerando uma circulação local da massa de ar; e ocorrência de inundações, pela presença ocasional de chuvas intensas (LOMBARDO, 1985).

As ICU de superfície também atuam na degradação da qualidade da água, principalmente pela poluição térmica. Superfícies de pavimentos e telhados que atingem temperaturas de 27 a 50°C superiores a temperaturas do ar transferem esse excesso de calor para as águas pluviais, que podem atingir córregos, rios, lagoas e lagos, e afetar o equilíbrio da vida aquática, especialmente o metabolismo e reprodução de muitas espécies (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2008).

A mitigação das ilhas de calor possibilita vários benefícios para a sociedade. Gartland (2010) aborda que a implantação de coberturas e materiais de pavimentação mais frescos, assim como árvores e vegetação bem irrigadas, geram os seguintes benefícios:

- Redução de temperaturas, ao se utilizar materiais que absorvem menor radiação solar.

- Economia de energia, pois ao reduzir a quantidade de energia solar que é absorvida por uma edificação, reduz-se também o consumo de energia de resfriamento no interior da mesma.

- Melhoria da qualidade do ar de três maneiras diferentes. Em primeiro lugar, as comunidades mais frescas têm menor consumo energético e produzem menos poluição a partir de usinas de energia que queimam combustíveis fósseis. Em segundo, durante o processo da fotossíntese, as plantas absorvem dióxido de carbono do ar, e folhas removem vários poluentes atmosféricos, como óxidos de nitrogênio, óxidos de enxofre, partículas e ozônio troposférico, através do processo de deposição seca. E em terceiro, as temperaturas do ar mais frias retardam a reação química entre os óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis, o que reduz a formação de ozônio e do smog fotoquímico.

- Conforto humano e melhorias para a saúde, pois há a redução dos problemas relacionados ao calor, tais como estresse térmico e a mortalidade decorrente deste; redução de problemas de saúde relacionados à poluição do ar, como doenças respiratórias; e redução de problemas decorrentes da exposição à luz solar, como câncer de pele.

- Redução de enchentes, uma vez que a utilização de árvores, vegetação e pisos permeáveis aumentam a infiltração no solo das águas pluviais e reduzem o volume de escoamento superficial.

- Redução da degradação de pavimentos, pois coberturas à base de asfalto são degradadas pela radiação ultravioleta do sol, tornando-as frágeis, e as tensões térmicas recorrentes causam rachaduras nos materiais. O arrefecimento de materiais de cobertura e pavimentação à base de asfalto pode dar-lhes vida mais longa, o que exige menor necessidade de manutenção e substituição, e reduz-se a geração desses resíduos.

#### 4.1.1 Albedo

Segundo Neiva e Cattae (2014), o albedo de um determinado material consiste na capacidade da superfície de refletir o calor absorvido, também chamado de índice de refletância do material. Varia de 0 a 1, e inclui a reflexão do comprimento de ondas infravermelhas e ultravioletas. Uma superfície que possui albedo de 0,0 significa que ocorre a absorção total da radiação solar, enquanto que uma superfície com albedo de 1,0 reflete totalmente a radiação. A ocorrência das ilhas de calor está muito associada aos diferentes padrões de absorção e refletividade da radiação solar das superfícies constituintes da cidade.

Ao analisar a Figura 2, observa-se que os materiais urbanos que apresentam maiores albedos correspondem aos mais claros como os concretos (refletividade entre 0,10 a 0,35), edificações pintadas de branco (0,50 a 0,90) e telhados de alta refletividade (provavelmente de folhas de amianto), entre 0,60 a 0,70.

**Figura 2 – Representação do albedo de diferentes superfícies**



Fonte: Souza (2011)

Segundo Saydelles (2005), apesar de os materiais urbanos absorverem menos energia, a mesma já é suficiente para o aquecimento do corpo, pois não é

utilizada ou eliminada em nenhuma atividade, em virtude da natureza do objeto. Por outro lado, as superfícies cobertas por vegetação, como árvores que possuem baixa refletividade (0,15 a 0,18) e as gramas com albedo entre 0,25 a 0,30, absorvem grande parte da radiação solar, que é empregada na fotossíntese e eliminada sob forma de evapotranspiração.

A variação do albedo é muito importante, pois aliada às características internas de cada objeto (condutividade térmica e calor específico), permite converter a radiação incidente em calor, condicionando o diferente aquecimento das superfícies em iguais condições de recebimento de energia (SAYDELLES, 2005).

Segundo Souza (2011), a área rural se esfria mais rapidamente à noite do que as áreas urbanas, onde muito calor é retido pelo asfalto, calçadas e edifícios. Estes materiais apresentam diferentes padrões de refletividade, ou de albedos. Observa-se também que, na cidade, o calor sensível se dissipa com muito mais dificuldade do que na área rural, devido aos obstáculos a esta dissipação, relacionados à geometria da cidade e ao efeito estufa causado pela re-emissão da energia térmica absorvida pelas partículas em suspensão na atmosfera urbana. Todos estes fatores fazem com que a energia na forma de calor fique mais tempo retida sobre a cidade, aumentando o contraste de temperatura com as áreas rurais.

Em estudos do campo térmico das superfícies urbanas, o albedo adquire importância destacada, pois dependendo da sua variação de valores, mais quantidade de radiação será absorvida e mais calor será refletido pela superfície. De acordo com Novo (1988), a energia refletida pela superfície e os níveis de cinza associam-se a variações na temperatura de brilho dos objetos, que é registrada pelo satélite. A determinação dessas temperaturas consiste no principal objetivo deste trabalho.

#### 4.1.2 Estudos realizados sobre ilhas de calor

Diversos estudos utilizaram as ferramentas de sensoriamento remoto e as aplicações em Sistemas de Informações Geográficas para o mapeamento de ilhas de calor em ambientes urbanos. Merece destaque a pesquisa desenvolvida por Rao (1972), que foi o primeiro a demonstrar que as áreas urbanas poderiam ser

identificadas por meio de análises de dados na faixa do infravermelho termal adquiridos por um satélite.

Pode-se citar como outra contribuição importante aquela publicada por Chander, Markham e Helder (2009), que discutiram e aplicaram fórmulas de coeficientes de calibração radiométrica e obtenção de temperaturas Kelvin, para imagens de satélite *Earth Observer-1* (EO-1) e da série Landsat 1 a 7.

Lombardo (1985) elaborou no início dos anos oitenta um trabalho pioneiro, em que estudou a formação das ICU da cidade de São Paulo, utilizando-se de imagens do satélite Landsat para a identificação do uso do solo e de imagens do satélite NOAA para o tratamento das condições térmicas.

No trabalho desenvolvido por Morais et al. (2013), foi utilizado o método de *Surface Energy Balance Algorithm for Land*, por meio de sensoriamento remoto, no intuito de identificar a existência das ilhas de calor por consequência da expansão urbana e remoção da cobertura vegetal no município de Belo Horizonte entre os anos de 1985, 1995 e 2008. Com a utilização destas técnicas foram produzidos mapas da cobertura do solo, temperatura de superfície e saldo de radiação, e com o cruzamento dessas informações foi analisada a ocorrência de formação das ICU.

Os autores Silva, Almeida e Rangel (2015) verificaram o comportamento da temperatura de superfície terrestre nos bairros da cidade de São Luís – MA, e relacionaram essa temperatura com as características de uso do solo a partir das bandas termais 10 e 11 do satélite Landsat 8.

Nesse contexto, Kazay et al. (2011) analisaram a influência das modificações no uso do solo na temperatura de superfície da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, mediante a utilização de algoritmos e parametrização aplicados a imagens do sensor TM do satélite Landsat 5, que resultou no mapeamento de regiões mais quentes e mais amenas conjuntamente ao uso do solo metropolitano.

## **4.2 Radiação eletromagnética**

Segundo Rosa (2007), a radiação eletromagnética (REM) refere-se à forma de energia que se move à velocidade da luz, seja em forma de ondas ou de partículas eletromagnéticas, e que não necessita de um meio material para se propagar.

O fluxo de radiação eletromagnética, ao se propagar pelo espaço, pode interagir com superfícies ou objetos, sendo por estes refletido, absorvido e/ou reemitido. Esse fluxo possui elevada dependência das propriedades físico-químicas dos elementos irradiados, e o fluxo resultante constitui uma valiosa fonte de informações a respeito daquelas superfícies ou objetos (ROSA, 2007).

A energia solar é composta de radiação ultravioleta (UV), luz visível e energia infravermelha, e cada tipo atinge a Terra em diferentes porcentagens: 5% da energia solar está no espectro ultravioleta, incluindo os raios responsáveis pela queimadura solar; 43% da energia solar é luz visível, em cores que variam do violeta ao vermelho; e os 52% restantes da energia solar é o infravermelho, sentida como calor. Energia em todos estes comprimentos de onda contribui para a formação de ilhas de calor urbana (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2008).

Conforme abordado por Rosa (2007), a incidência solar é a quantidade de radiação que incide sobre uma superfície, por unidade de área, e varia em função dos seguintes fatores:

- inclinação e orientação da superfície topográfica em relação à fonte de irradiação;
- variação anual da distância zenital e azimute solar (variação sazonal), que ocorre devido à variação da declinação solar; e esta, por sua vez, ocorre em função da inclinação do eixo de rotação terrestre ( $23^{\circ} 27'$ ) em relação ao plano de órbita da Terra em torno do Sol;
- variação da distância Terra-Sol durante o ano, provocada pela órbita elíptica da Terra, e responsável pela alteração de aproximadamente 2% na irradiância;
- transmitância atmosférica, que varia em função da quantidade e qualidade das moléculas presentes na atmosfera (ozônio, vapor d'água, partículas de poeira, dióxido de carbono, etc.) e do comprimento de onda.

As diferenças da incidência de raios solares de acordo com as estações do ano interferem nos valores reais de energia que chega à superfície (Tabela 1).

**Tabela 1 – Quantidade de energia (cal/cm<sup>2</sup>.min) recebida pela Terra no dia 15 de cada mês no Hemisfério Sul**

<b>Estação</b>	<b>Mês</b>	<b>Energia</b>
Verão	Janeiro	2,046
	Fevereiro	2,029
Outono	Março	2,002
	Abril	1,967
	Maio	1,937
Inverno	Junho	1,928
	Julho	1,916
	Agosto	1,930
Primavera	Setembro	1,958
	Outubro	1,991
	Novembro	2,024
Verão	Dezembro	2,044

Fonte: Adaptado de Torres e Machado (2011)

Vale destacar que a energia absorvida ou refletida depende da superfície sobre a qual incide a radiação. De acordo com Soares e Batista (2004), o albedo indica a refletividade total de uma superfície iluminada pelo Sol; a absorvidade refere-se à fração de energia incidente absorvida pelo material; a refletividade corresponde à fração de energia incidente refletida pelo material; a transmissividade indica a fração de energia incidente transmitida pelo material. Diante disso, toda energia incidente sobre qualquer material deve ser absorvida, refletida e/ou transmitida.

Segundo Torres e Machado (2011), a energia absorvida pela superfície terrestre em ondas curtas (absortividade) é reirradiada por meio de ondas longas (emissividade), promovendo o aquecimento do ar atmosférico. Já a parte da energia absorvida é responsável por aquecer a superfície do planeta, como a água e o solo.

### **4.3 Geotecnologias, conceitos e aplicações**

De acordo com Fitz (2008), o estudo do espaço geográfico e dos aspectos ambientais nele inseridos exige conhecimentos e informações que podem ser

adquiridos de maneira mais rápida e fácil através da utilização de novas tecnologias. Inseridas nesse contexto, as geotecnologias tendem a ocupar um lugar de destaque em virtude de sua funcionalidade.

As geotecnologias podem ser entendidas como as novas tecnologias ligadas às geociências e correlatas, que possuem uma ou mais funções como coleta, processamento, análise e disponibilidade de informação com referência geográfica. O emprego desses recursos possibilita avanços significativos no desenvolvimento de pesquisas, em ações de planejamento, em processos de gestão, manejo e em vários outros aspectos relacionados à estrutura do espaço geográfico (FITZ, 2008).

Conforme destaca Lombardo (2011), para extrair informações sobre o ambiente urbano, as técnicas de processamento digital de imagens detalham mais a categorização dos alvos urbanos. Esta nova geração representa uma revolução tanto em termos de métodos de processamento de imagens, bem como no nível de detalhamento do cenário urbano a ser extraído a partir das mesmas, possibilitando formas promissoras de exploração do universo intra-urbano e ampliando os horizontes de aplicações do sensoriamento remoto com fins ao Planejamento Físico-Territorial e Ambiental.

Moreira (2009) relata que os sistemas sensores podem ser definidos como dispositivos capazes de detectar e registrar a radiação eletromagnética emitida por objetos, em faixa determinada do espectro eletromagnético, e gerar informações que possam ser transformadas em um produto passível de interpretação, seja na forma de imagem, na forma gráfica ou qualquer outro produto.

Dentre as geotecnologias de uso frequente no planejamento e gestão do território destacam-se os Sistemas de Informações Geográficas, sensoriamento remoto, Cartografia Digital, Sistema de Posicionamento Global (GPS), Topografia, dentre outros. Um SIG é constituído pelos seguintes componentes: hardware (plataforma computacional utilizada); software (programas, módulos e sistemas vinculados); dados (registros de informações resultantes de uma investigação); e peopleware (profissionais e/ou usuários envolvidos). Nesse contexto, pode-se definir SIG como um sistema constituído por um conjunto de programas computacionais, o qual integra dados, equipamentos e pessoas com o objetivo de coletar, armazenar, recuperar, manipular, visualizar e analisar dados espacialmente referenciados a um sistema de coordenadas conhecido (FITZ, 2008).

Segundo Florenzano (2011), o sensoriamento remoto pode ser entendido como uma tecnologia que permite obter informações sobre um objeto, área ou fenômeno, por meio de sistemas sensores, sem que haja o contato físico. Os objetos da superfície terrestre, como a vegetação, a água e o solo, refletem, absorvem e transmitem radiação eletromagnética em proporções que variam com o comprimento de onda do espectro eletromagnético, de acordo com as suas características biofísicas e químicas. Os sensores remotos captam as variações de energia refletida pelos objetos e os identificam na superfície terrestre, obtendo imagens. A representação dos objetos nessas imagens varia do branco (quando refletem muita energia) ao preto (quando refletem pouca energia).

Rosa (2007) conceitua sensoriamento remoto como um conjunto de atividades cujo objetivo consiste na caracterização das propriedades físico-químicas de alvos naturais, através da detecção, registro e análise do fluxo de energia radiante por eles refletido e/ou emitido.

Monteiro e Mendonça (2003) destacam que o emprego das imagens de satélite contribuem de maneira significativa ao estudo mais detalhado do clima urbano, uma vez que conduz à elaboração de documentos que mostram a distribuição espacial e a grandeza de alguns de seus elementos. Ao correlacionar os dados obtidos de maneira tradicional com estes documentos, torna-se possível um conhecimento mais aprofundado do fluxo de energia do ambiente urbano.

Uma das vantagens dos sensores dispostos em satélites refere-se à possibilidade de obtenção das radiações refletidas pela superfície terrestre (ou pela atmosfera) dentro da faixa do infravermelho. Os comprimentos de onda contidos nessa porção não são percebidos diretamente pelo olho humano, pois encontram-se fora da faixa do espectro visível (FITZ, 2008).

O autor ressalta que a radiação infravermelha está associada à emissão de calor (radiação térmica) por parte dos objetos, e a mesma tende a apresentar respostas singulares de acordo com a temperatura dos corpos. Como exemplo, pode-se citar que em altitudes elevadas, onde as temperaturas são baixas, as nuvens apresentarão coloração mais próxima do branco, devido à menor energia captada pelo sensor. No caso de nuvens próximas ao solo, onde as temperaturas são maiores, a resposta espectral da imagem apresentará colorações com tons de

cinza mais pronunciados. Já em áreas sem nuvens, a resposta espectral do solo exposto deverá ser mais escura ainda, em função da energia irradiada por ele.

Segundo Monteiro e Mendonça (2003), as técnicas modernas de sensoriamento remoto, principalmente pela aplicação do infravermelho, subsidiam o mapeamento térmico das cidades, ponto de partida para outros fenômenos do clima urbano.

Para identificar ilhas de calor urbanas, os cientistas usam métodos diretos e indiretos, modelagem numérica e estimativas baseadas em modelos empíricos. Os pesquisadores usualmente utilizam sensoriamento remoto, uma técnica de medição indireta, para estimar as temperaturas de superfície, através de dados recolhidos para a produção de imagens térmicas (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2008).

De acordo com Lombardo (2011), a emissão de radiação de ondas longas ocorre na faixa do infravermelho termal, e na faixa do espectro eletromagnético de 10,4 a 12,5  $\mu\text{m}$ , os sensores captam a radiância dos corpos terrestres e permite ao usuário de dados provenientes de satélites a obtenção da temperatura de superfície.

#### **4.4 United States Geological Survey**

O *United States Geological Survey* (USGS) refere-se ao Serviço Geológico dos Estados Unidos. É uma organização científica composta por especialistas que fornecem informação imparcial sobre a situação dos ecossistemas e do meio ambiente; os perigos naturais que nos ameaçam; os recursos naturais dos quais dependemos; os impactos da mudança do clima e do uso da terra; e os sistemas de ciência centrais que ajudam a fornecer informações oportunas e relevantes, nas áreas referentes à biologia, geografia, geologia, informação geomática e água (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2015a).

Todos os dias, cerca de 10 mil cientistas, técnicos e pessoal de apoio trabalham em mais de 400 locais em todo os Estados Unidos, e o escritório central fica em Reston, no estado da Virginia. Atualmente, o USGS permanece efetivo como a única instituição da ciência para o Ministério do Interior dos Estados Unidos, e ajuda, internacionalmente, o público a ter acesso à sua informação como também a

entender e resolver problemas de recursos naturais complexos (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2015a).

#### **4.5 Satélite Landsat 8**

Segundo United States Geological Survey (2015b), o Programa Landsat é uma série de missões de satélites de observação da Terra geridos conjuntamente pela Agência Espacial Norte-Americana (NASA) e pelo USGS. Em 1972, o lançamento do *Earth Resources Technology Satellite* (ERTS-1), mais tarde renomeado Landsat 1, começou a Era de uma série de satélites que, desde então, continuamente adquire imagens espaciais através de dados de sensoriamento remoto.

O último satélite da série Landsat, o Landsat 8, correspondente à Missão de Continuidade de Dados Landsat, foi lançado em 11 de fevereiro de 2013 pela NASA na base aérea de Vandenberg no estado da Califórnia – Estados Unidos, começou a transmitir imagens no dia 18 de março de 2013, e apenas no dia 12 de abril do mesmo ano atingiu sua órbita final a 705 km acima da superfície da Terra. A cobertura das imagens desse satélite é de praticamente todo o globo, com exceção para as mais altas latitudes polares, e o tamanho aproximado da cena é de 170 km norte-sul por 183 km leste-oeste (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2015b).

##### **4.5.1 Principais características**

O satélite Landsat 8 possui as seguintes características:

- Tipo de órbita:

Segundo Rosa (2007), os satélites da série Landsat deslocam-se do norte para o sul em órbita geocêntrica, circular, quase polar e heliosíncrona, isto é, o ângulo Sol-Terra-satélite permanece constante, o que possibilita condições semelhantes de iluminação ao longo do ano, na área imageada.

- Resolução temporal:

Refere-se à frequência com que o sensor realiza o imageamento de um determinado local. É também referida como periodicidade ou repetitividade de revisita (MOREIRA, 2009).

O Landsat 8 possui resolução temporal de 16 dias, ou seja, a cada período de 16 dias o satélite realiza outra passagem pela mesma região do planeta (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2015b).

- Resolução radiométrica:

De acordo com Florenzano (2011), a resolução radiométrica refere-se à capacidade de o sensor distinguir a intensidade de energia refletida ou emitida pelos objetos. Ela determina o intervalo de valores associados a níveis de cinza que é possível utilizar para representar uma imagem digital. Assim, por exemplo, para uma imagem discretizada em 4 valores digitais, pode-se ter objetos representados em branco, preto e apenas mais dois níveis de cinza. Já uma imagem discretizada em 256 valores digitais, pode-se ter objetos representados em branco, preto e mais 254 diferentes níveis de cinza.

Segundo Figueiredo (2005), a resolução radiométrica está relacionada à faixa de valores numéricos associados aos pixels. Este valor numérico representa a intensidade da radiação proveniente da área do terreno correspondente ao pixel e é chamado de nível de cinza. A faixa de valores depende da quantidade de bits utilizada para cada pixel. A quantidade de níveis de cinza é igual a dois elevado a quantidade de bits. Uma imagem de oito bits pode ter até 256 tons de cinza, ou seja,  $2^8$  é igual a 256. Quanto maior a resolução radiométrica de uma imagem, maiores serão os detalhes dos objetos.

O satélite Landsat 8 possui resolução radiométrica de 16 bits (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2015b).

- Resolução espectral:

A radiação eletromagnética é decomposta, pelos sensores, em faixas espectrais, também denominadas canais ou bandas. Cada banda possui um intervalo de comprimento de onda. Quanto menor esse intervalo das faixas

espectrais, e/ou quanto maior for o número de bandas captadas pelo sensor, maior é a resolução espectral da imagem (FIGUEIREDO, 2005).

Segundo Moreira (2009), a resolução espectral é a capacidade de discriminação dos materiais da superfície da Terra e expressa a capacidade do sensor em registrar a radiação em diferentes regiões do espectro eletromagnético. Portanto, quanto maior o número de bandas espectrais, maior a capacidade discriminatória. A resolução espectral tem relação com o número e o comprimento de onda das bandas espectrais e é definida como a habilidade de separar materiais espectralmente semelhantes.

O Landsat 8 possui onze bandas espectrais que apresentam as seguintes características individuais, de acordo com United States Geological Survey (2015b):

- Banda 1 (costeira / aerossol): também denominada de ultra-azul. Seu intervalo de comprimento de onda (0,43 – 0,45  $\mu\text{m}$ ) é bastante dispersado por partículas finas e de aerossóis. Por isso sua aplicação é voltada para estudos de áreas costeiras, onde há muito material particulado fino em suspensão, e para identificar aerossóis na atmosfera como poeira e fumaça, podendo ser utilizado para estudos de qualidade do ar ou dispersão de poluentes.

- Bandas 2, 3 e 4 (azul, verde e vermelho, respectivamente): são as bandas usadas para composição em cor natural.

- Banda 5 (infravermelho próximo): mais indicada para estudos de vegetação e utilização em Índices de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).

- Bandas 6 e 7 (infravermelho de ondas curtas SWIR1 e SWIR2, respectivamente): são particularmente úteis para distinguir terra molhada da terra seca e em estudos geológicos.

- Banda 8 (pancromática): basicamente utilizada para fazer fusões com outras composições de bandas com o objetivo de melhorar a interpretação visual.

- Banda 9 (cirrus): projetada para detecção de nuvens altas denominadas de Cirrus. Por meio da fusão com outras bandas espectrais pode-se melhorar a interpretação visual.

- Bandas 10 e 11 (infravermelho termal TIRS1 e TIRS2, respectivamente): utilizadas para estudar a variação da temperatura de superfície do planeta.

- Instrumentos imageadores:

Segundo United States Geological Survey (2015b), o Landsat 8 apresenta dois instrumentos imageadores denominados de *Operacional Terra Imager* (OLI), que corresponde às bandas 1 a 9, e *Thermal InfraRed Sensor* (TIRS), que corresponde às bandas 10 e 11.

- Resolução espacial:

Conforme aborda Florenzano (2011), a capacidade que o sensor possui de distinguir objetos em função do tamanho destes é chamada de resolução espacial. Um sensor com resolução espacial de 10m, por exemplo, é capaz de detectar objetos maiores que 10m x 10m (100m<sup>2</sup>).

De acordo com Figueiredo (2005), cada sistema sensor tem uma capacidade de definição do tamanho do pixel, que corresponde à menor parcela imageada. A dimensão do pixel é denominada de resolução espacial. Um sensor com resolução espacial de 30m possui cada pixel com tamanho igual a 30m x 30m, ou seja, 900m<sup>2</sup>. Quanto menor a dimensão do pixel, maior é a resolução espacial da imagem, e melhor o nível de detalhamento dos alvos terrestres.

As onze bandas espectrais do Landsat 8 possuem diferentes intervalos de comprimento de onda no espectro eletromagnético e diferentes resoluções espaciais (Tabela 2). Importante salientar que as bandas 10 e 11 possuem resolução de 100 metros, mas são remodeladas para 30 metros para combinar com as bandas multiespectrais do sensor OLI.

**Tabela 2 – Bandas espectrais do satélite Landsat 8**

**(continua)**

<b>Bandas</b>	<b>Nome das Bandas</b>	<b>Comprimento de onda (µm)</b>	<b>Resolução espacial (m)</b>
OLI1	Costeira / aerossol	0,43 – 0,45	30
OLI2	Azul	0,45 – 0,51	30
OLI3	Verde	0,53 – 0,59	30
OLI4	Vermelho	0,64 – 0,67	30

<b>Bandas</b>	<b>Nome das Bandas</b>	<b>Comprimento de onda (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Resolução espacial (m)</b>
OLI5	Infravermelho próximo	0,85 – 0,88	30
OLI6	Infravermelho de ondas curtas (SWIR1)	1,57 – 1,65	30
OLI7	Infravermelho de ondas curtas (SWIR2)	2,11 – 2,29	30
OLI8	Pancromática	0,50 – 0,68	15
OLI9	Cirrus	1,36 – 1,38	30
TIRS10	Infravermelho termal (TIRS1)	10,60 – 11,19	100
TIRS11	Infravermelho termal (TIRS2)	11,50 – 12,51	100

**Fonte: Adaptada de UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (2015b)**

- Projeção das imagens:

De acordo com United States Geological Survey (2015b), o sistema de projeção cartográfica das imagens do satélite Landsat 8 é o Universal Transversa de Mercator (UTM), Datum WGS 1984 orientado ao Norte.

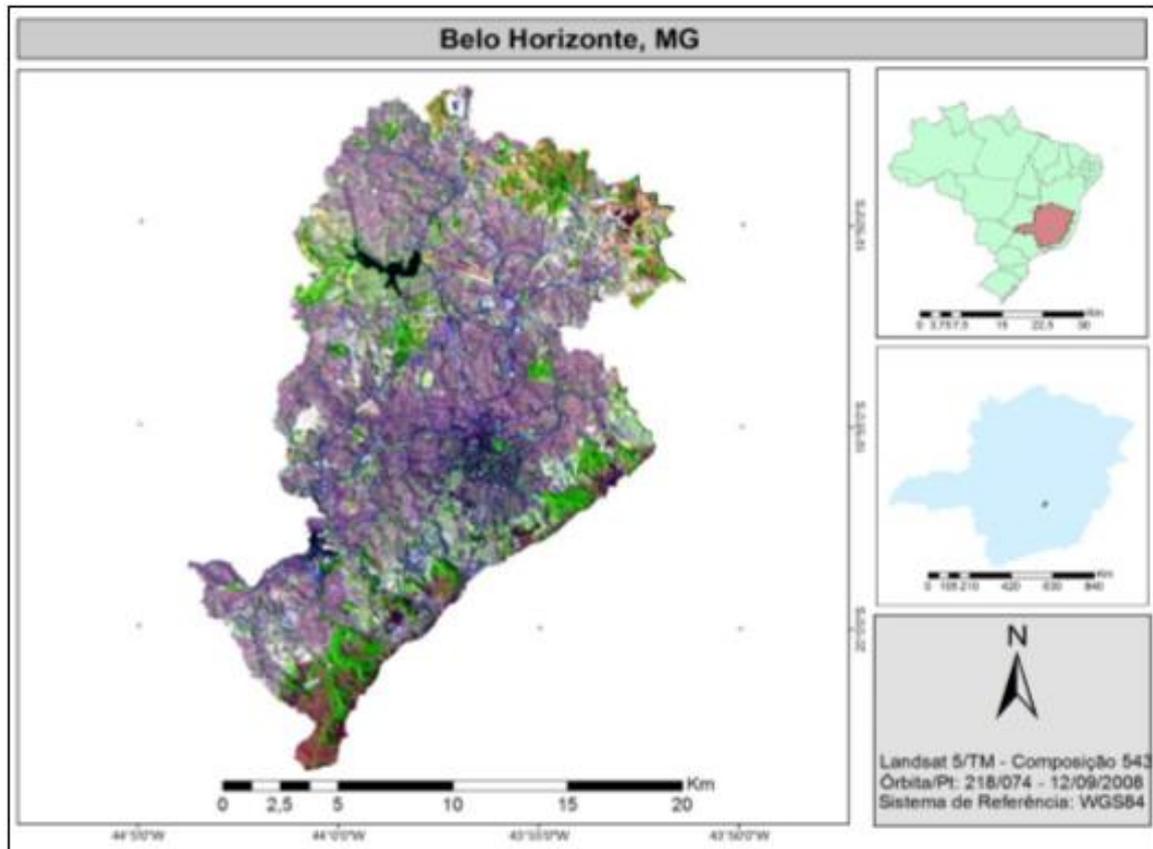
- Reprojeção:

As imagens Landsat 8 devem ser sempre reprojctadas para a projeção do local onde será realizado o estudo (SANTOS et al, 2014).

#### **4.6 Área de estudo**

O município de Belo Horizonte, capital do estado de Minas Gerais, localiza-se entre as coordenadas geográficas longitude 44° 3' 52,5" Oeste, latitude 20° 3' 48,9" Sul e longitude 43° 51' 15,9" Oeste, latitude 19° 46' 22,2" Sul, altitude média de 852 m, e possui área territorial de 331,401 km<sup>2</sup>. Segundo Censo Populacional de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o município possuía população de 2.375.151 habitantes, e 2.491.109 habitantes em 2014 segundo estimativa (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2015).

A Figura 3 mostra a localização da capital mineira.

**Figura 3 – Mapa de localização do município de Belo Horizonte-MG**

Fonte: Morais et al (2013)

Devido ao rápido processo de industrialização, o município sofreu um crescimento inesperado da população, chegando a 1 milhão de habitantes apenas 70 anos após sua fundação, e isto foi determinante na expansão urbana. Inserida na Bacia do Rio São Francisco, Belo Horizonte não é banhada por nenhum grande rio, mas é interceptada por ribeirões e córregos, em sua maioria canalizados (MORAIS et al, 2013).

## 5 METODOLOGIA

Para a realização do presente trabalho, foram utilizados computadores e o software ArcGIS 10.2, do Laboratório de Educação Ambiental e Modelagem Computacional, do Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental (DCTA) do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), campus I.

Foi realizada uma pesquisa exploratória para o trabalho proposto, uma vez que a preocupação central é identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência do fenômeno das ilhas de calor no município de Belo Horizonte. Segundo Gil (2002), esse é o tipo de pesquisa que mais aprofunda o conhecimento da realidade, porque explica a razão, o porquê das coisas.

### 5.1 Aquisição das imagens

A aquisição de imagens orbitais do satélite Landsat 8 foi realizada no sítio do *United States Geological Survey*. Foi escolhido este satélite porque o mesmo é o mais recente da série Landsat, com imagens atuais do ano 2014. Inicialmente, foram determinadas as coordenadas geográficas do município de Belo Horizonte.

Posteriormente, foram escolhidas e obtidas uma imagem diurna para cada estação do ano (verão, outono, inverno e primavera) do período de 2014, com a menor cobertura por nuvens (inferior a 20%) para não interferir no mapeamento das temperaturas de superfície, totalizando quatro cenas relativas aos dias 16/01/2014, 09/06/2014, 12/08/2014 e 15/10/2014 (Tabela 3), órbita 218, ponto 74, horário central de passagem do satélite às 09:57 horas.

Foram escolhidas essas datas, pois eram as imagens disponíveis no sítio do USGS que continham a menor cobertura de nuvens. Optou-se por trabalhar com uma imagem para cada estação, pois pretende-se comparar a ocorrência de ilhas de calor conforme as variações sazonais de temperatura no decorrer do ano.

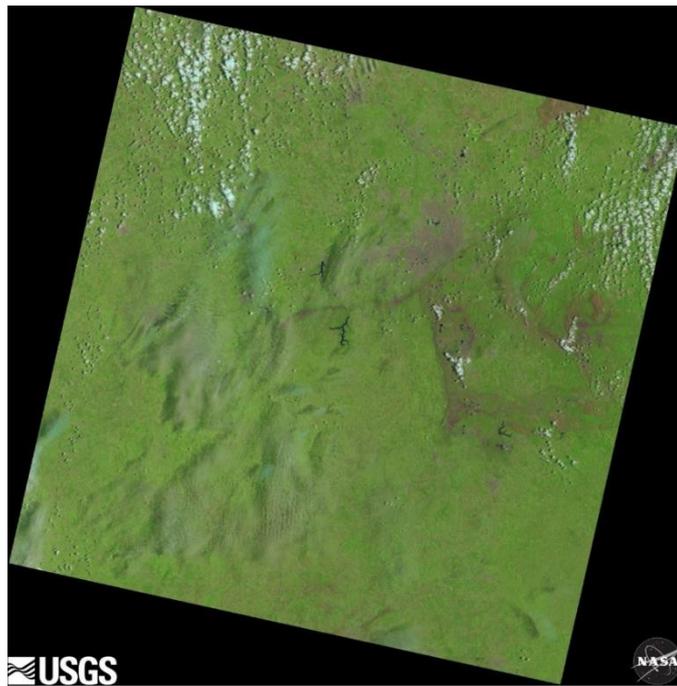
**Tabela 3 – Estações do ano com as respectivas datas das imagens de satélite utilizadas de Belo Horizonte-MG**

<b>Estações do ano</b>	<b>Datas</b>
Verão	16/01/2014
Outono	09/06/2014
Inverno	12/08/2014
Primavera	15/10/2014

Fonte: Elaborada pelo autor

As Figuras 4 a 7 a seguir retratam as imagens obtidas no sítio do USGS referentes ao quadrante representativo de Belo Horizonte.

**Figura 4 – Imagem do satélite Landsat 8 do dia 16/01/2014**



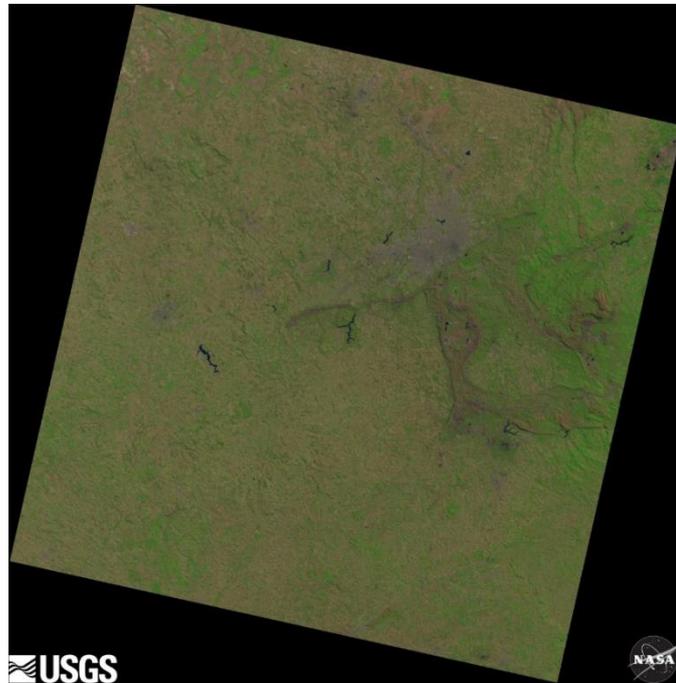
Fonte: UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (2015c)

**Figura 5 – Imagem do satélite Landsat 8 do dia 09/06/2014**



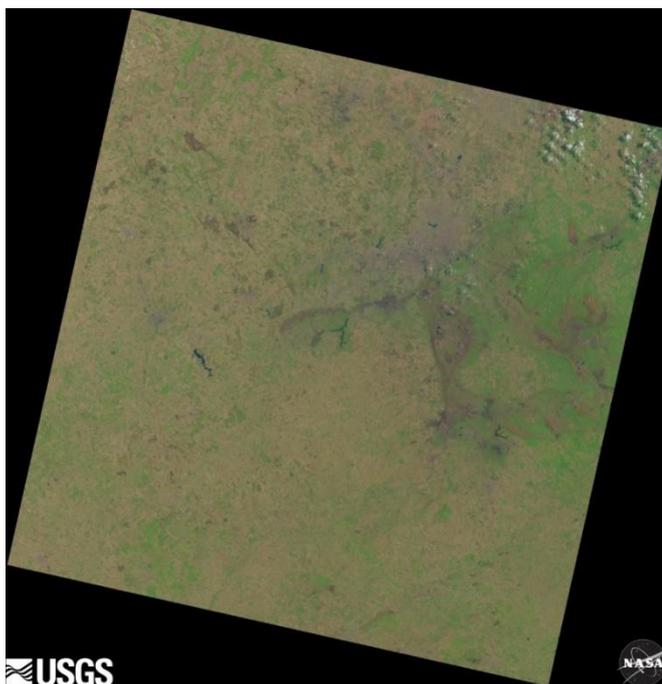
Fonte: UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (2015c)

**Figura 6 – Imagem do satélite Landsat 8 do dia 12/08/2014**



Fonte: UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (2015c)

**Figura 7 – Imagem do satélite Landsat 8 do dia 15/10/2014**



Fonte: UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (2015c)

## **5.2 Aplicação de técnicas de SIG e sensoriamento remoto**

As imagens do município de Belo Horizonte são disponibilizadas pelo USGS na Projeção/Datum WGS1984 UTM Zona 23N. Inicialmente, as mesmas foram reprojatadas para a Projeção/Datum WGS1984 UTM Zona 23S, uma vez que corresponde à projeção do local onde será realizado o estudo. Posteriormente, recortou-se as quatro imagens infravermelha termais (banda 10) na área desejada, correspondente à Belo Horizonte, que foi subdividido nas nove regionais da capital (Venda Nova, Norte, Nordeste, Pampulha, Noroeste, Leste, Oeste, Centro-Sul e Barreiro).

Ao realizar o download das imagens, um arquivo no formato *.txt* também é adquirido para cada uma. Neste arquivo metadados, é possível visualizar os principais fatores e constantes da banda espectral 10 que são necessários para o redimensionamento das imagens (Tabela 4). Importante salientar que esses valores são os mesmos para as quatro imagens utilizadas.

**Tabela 4 - Valores das constantes e fatores da banda 10 para as quatro imagens do satélite Landsat 8**

<b>Fatores e Constantes</b>	<b>Valor</b>
RADIANCE_MULT_BAND_10 (M <sub>L</sub> )	0.00033420
RADIANCE_ADD_BAND_10 (A <sub>L</sub> )	0.1
K1_CONSTANT_BAND_10 (K <sub>1</sub> )	774.89
K2_CONSTANT_BAND_10 (K <sub>2</sub> )	1321.08

Fonte: Elaborada pelo autor

Através da utilização das imagens de satélite obtidas e com o intuito de identificar as regiões com maiores e menores temperaturas na capital mineira, foram aplicadas técnicas de geoprocessamento e de classificação de imagens através de sensoriamento remoto, baseado nos trabalhos desenvolvidos por Chander e Markham (2003) e Santos et al. (2014), assim como nas fórmulas presentes em United States Geological Survey (2013).

O estudo desenvolvido por Coelho e Correa (2013) aplicou o procedimento metodológico semelhante ao presente trabalho, com a utilização da imagem do infravermelho termal (banda 10), adquirida do satélite Landsat 8, correspondente ao dia 04/08/2013 do município de Vitória-ES. Foram aplicadas equações que permitiram a identificação de temperaturas de superfície, em diferentes escalas espaciais, assim como a definição do perfil do campo térmico em distintas texturas.

Vale ressaltar, segundo Fitz (2008), que as imagens de satélite são armazenadas em uma estrutura matricial, também conhecida como *raster*. Essa estrutura de dados é representada por uma matriz com  $n$  linhas e  $m$  colunas,  $M(n,m)$ , na qual cada célula, denominada de *pixel* (contração de *picture element*, ou seja, elemento da imagem), apresenta um valor  $z$  que pode indicar, por exemplo, uma cor ou tom de cinza a ele atribuído. Diante disso, o Número Digital (ND), também conhecido como nível radiométrico, corresponde ao valor do *pixel*.

Utilizou-se a ferramenta *Raster Calculator* do ArcGIS 10.2 para a conversão dos Números Digitais para radiância espectral no topo da atmosfera ( $L_\lambda$ ), através dos dados da Tabela 5 e da Equação 1, fornecida pelo United States Geological Survey (2013).

$$L_\lambda = M_L \cdot Q_{cal} + A_L \quad (1)$$

**Tabela 5 - Elementos e valores extraídos do metadados da imagem do Landsat 8, banda 10, utilizados na Equação 1**

Elemento	Significado	Valor
$L_{\lambda}$	Radiância espectral no topo da atmosfera [W / m <sup>2</sup> srad $\mu$ m]	<i>Raster</i> (incógnita)
$M_L$	Fator multiplicativo de redimensionamento da radiância para a banda 10	0.00033420
$Q_{cal}$	Número Digital do pixel	<i>Raster</i> da banda 10
$A_L$	Fator aditivo de redimensionamento da radiância para a banda 10	0.1

Fonte: Elaborada pelo autor

Posteriormente, aplicou-se os dados da Tabela 6 e da Equação 2, com a finalidade de converter o *raster* obtido anteriormente (radiância espectral no topo da atmosfera) para temperatura de brilho no sensor, em Kelvin.

$$T_{rad} [K] = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1\right)} \quad (2)$$

**Tabela 6 - Elementos e valores extraídos do metadados da imagem do Landsat 8, banda 10, utilizados na Equação 2**

Elemento	Significado	Valor
$T_{rad} [K]$	Temperatura de brilho no sensor ou temperatura radiante [Kelvin]	<i>Raster</i> (incógnita)
$K_1$	Constante termal de calibração 1 da banda 10 [Kelvin]	774.89
$K_2$	Constante termal de calibração 2 da banda 10 [Kelvin]	1321.08
$L_{\lambda}$	Radiância espectral no topo da atmosfera [W / m <sup>2</sup> srad $\mu$ m]	<i>Raster</i> obtido na Equação 1

Fonte: Elaborada pelo autor

Logo após, os valores de temperatura Kelvin foram subtraídos pelo seu valor absoluto (273), através dos dados da Tabela 7 e da Equação 3, gerando-se o *raster* de temperatura de superfície em graus Celsius.

$$T_{\text{rad}} [^{\circ}\text{C}] = T_{\text{rad}} [\text{K}] - 273 \quad (3)$$

**Tabela 7 - Elementos e valores da imagem do Landsat 8, banda 10, utilizados na Equação 3**

<b>Elemento</b>	<b>Significado</b>	<b>Valor</b>
$T_{\text{rad}} [^{\circ}\text{C}]$	Temperatura de brilho no sensor ou temperatura radiante [Celsius]	<i>Raster</i> (incógnita)
$T_{\text{rad}} [\text{K}]$	Temperatura de brilho no sensor ou temperatura radiante [Kelvin]	<i>Raster</i> obtido na Equação 2

**Fonte: Elaborada pelo autor**

## 6 RESULTADOS

Após a aplicação das técnicas de geoprocessamento e dos cálculos, as quatro imagens foram classificadas, em ambiente SIG, adotando-se os mesmos intervalos de temperaturas de superfície, em graus Celsius, a fim de padronizá-las quanto aos valores dos pixels. Desse modo, foram criadas seis classes:  $\leq 17$  °C; 17,1 a 22 °C; 22,1 a 27 °C; 27,1 a 32°C; 32,1 a 37°C; e  $\geq 37$ °C.

### 6.1 Análise dos mapas

Com o intuito de verificar a influência das construções, telhados, pavimentos, vegetação e uso e ocupação do solo nas temperaturas de superfície, realizou-se a comparação de imagens do Google Earth (2015) com os mapas de temperatura gerados.

Em todas as quatro imagens analisadas, observou-se que as ruas, estradas, avenidas, áreas densamente ocupadas e construídas, e com menor presença de vegetação, obtiveram temperaturas de superfície mais elevadas, em virtude da menor concentração de umidade e dos maiores albedos dos materiais urbanos.

Devido à elevada heterogeneidade dos materiais e elementos utilizados na expansão das malhas urbanas, expressos pelas diversas formas de uso e ocupação do solo, existem diferentes padrões de refletividade ou de albedos. Nesse sentido, observou-se uma grande variedade de temperaturas de superfície registradas pelo sensor, ao longo do município de Belo Horizonte.

Através da coleta de parâmetros da estação meteorológica convencional de Belo Horizonte, do Instituto Nacional de Meteorologia (2015) (Tabela 8), pode-se comparar a relação entre as temperaturas do ar e de superfície para os quatro dias.

**Tabela 8 – Parâmetros da estação meteorológica convencional de Belo Horizonte para os quatro dias de imagens obtidas**

Data	Temperatura Máxima [°C]	Temperatura Média [°C]	Temperatura Mínima [°C]	Precipitação [mm]	Insolação [horas]	Umidade Relativa Média [%]	Velocidade do Vento Média [m/s]
16/01/2014	32,4	26,92	21,7	0,0	11,1	46	0,9
09/06/2014	28,3	21,52	15,8	0,0	9	56	1
12/08/2014	28	21,08	13,6	0,0	9,3	42,75	1,03
15/10/2014	35,8	29,16	22,4	0,0	6,9	29,75	1,13

Fonte: Elaborada pelo autor

Importante mencionar que as temperaturas de superfície exercem influência indireta, mas significativa, sobre a temperatura do ar, em especial na camada de ar onde as pessoas vivem, desde o solo até abaixo dos topos das árvores e telhados, em virtude da maior proximidade com a superfície. Por exemplo, parques e áreas vegetadas, que tipicamente têm temperaturas de superfície mais frias, contribuem para resfriar as temperaturas do ar. Áreas densas e construídas, por outro lado, tipicamente conduzem a temperaturas de ar mais quente, devido a reações do ar com a atmosfera (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2008).

Nesse contexto, através da Tabela 8 observa-se que as temperaturas do ar registradas no dia 15/10/2014 (primavera) foram as mais elevadas, seguidas por 16/01/2014 (verão), 09/06/2014 (outono) e 12/08/2014 (inverno). Já o sensor do Landsat 8 registrou os maiores valores de temperatura de superfície na primavera, seguido do verão, inverno e outono, que registrou os menores valores. Diante disso, verifica-se que as temperaturas de superfície podem exercer influência sobre as atmosféricas.

Importante ressaltar que foi constatada uma variação sazonal das temperaturas de superfície, tendo em vista as diferenças de intensidade na incidência de raios solares nas diferentes estações do ano.

A Lagoa da Pampulha representa uma ilha de frescor ao contribuir para a atenuação das temperaturas em áreas adjacentes, pois a presença da água possibilita o aumento da fração de radiação absorvida que é utilizada para evaporação, propiciando a redução das temperaturas de superfície e a melhoria do conforto térmico. Por outro lado, a região industrial da Vallourec, na regional

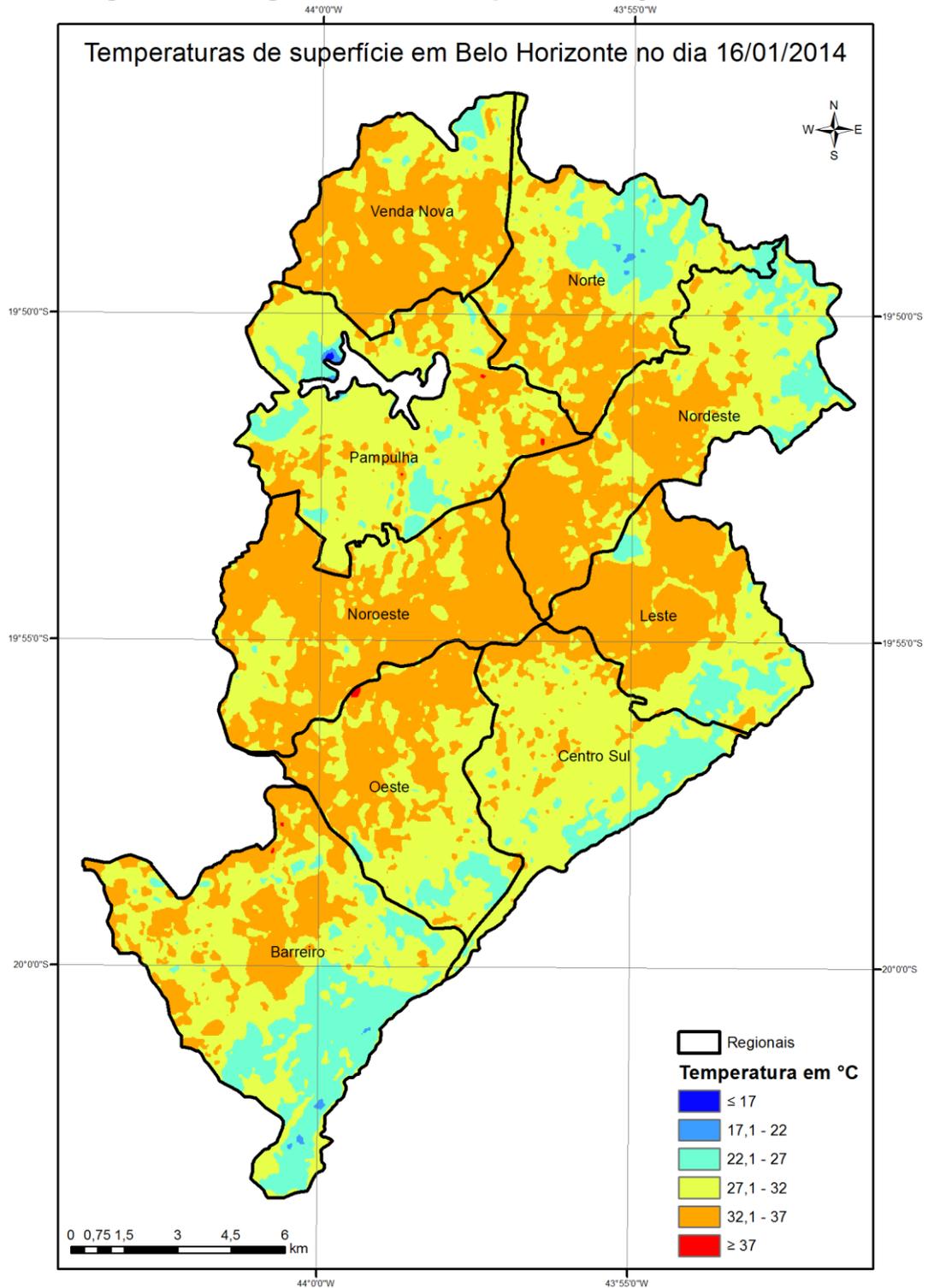
Barreiro, corresponde a uma ilha de calor, uma vez que registrou-se elevadas temperaturas de superfície nas dependências da indústria e em regiões próximas.

Verificou-se que as áreas dotadas de vegetação obtiveram menores temperaturas de superfície e contribuíram para a atenuação das mesmas em áreas vizinhas, e consistem, dessa forma, em ilhas de frescor. Pode-se exemplificar essa situação com os parques municipais Américo Renné Giannetti, Mangabeiras e Serra do Curral, localizados na regional Centro-Sul; a vegetação situada na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), na regional Pampulha; e a mata dos Werneck, na regional Norte.

Segundo o Instituto de Pesquisas Meteorológicas (2015), a estação do verão tem duração de 21 de dezembro até 20 de março no Hemisfério Sul, os dias são mais longos que as noites e a maior quantidade de radiação solar nesse período favorece o aumento das temperaturas, da precipitação, da umidade relativa do ar e da nebulosidade. O forte aquecimento diurno pela radiação solar contribui para ocorrência de chuvas convectivas principalmente no período da tarde, com forte intensidade e curta duração, acompanhadas de trovoadas, descargas elétricas, rajadas de ventos e ocasionalmente, de queda de granizo.

Através da Figura 8, observa-se uma grande variação de temperaturas de superfície em todo o município, mas com predomínio 32,1 a 37°C, com destaque para as regiões Noroeste e Venda Nova, que possuem poucas áreas com vegetação e regiões mais densamente ocupadas.

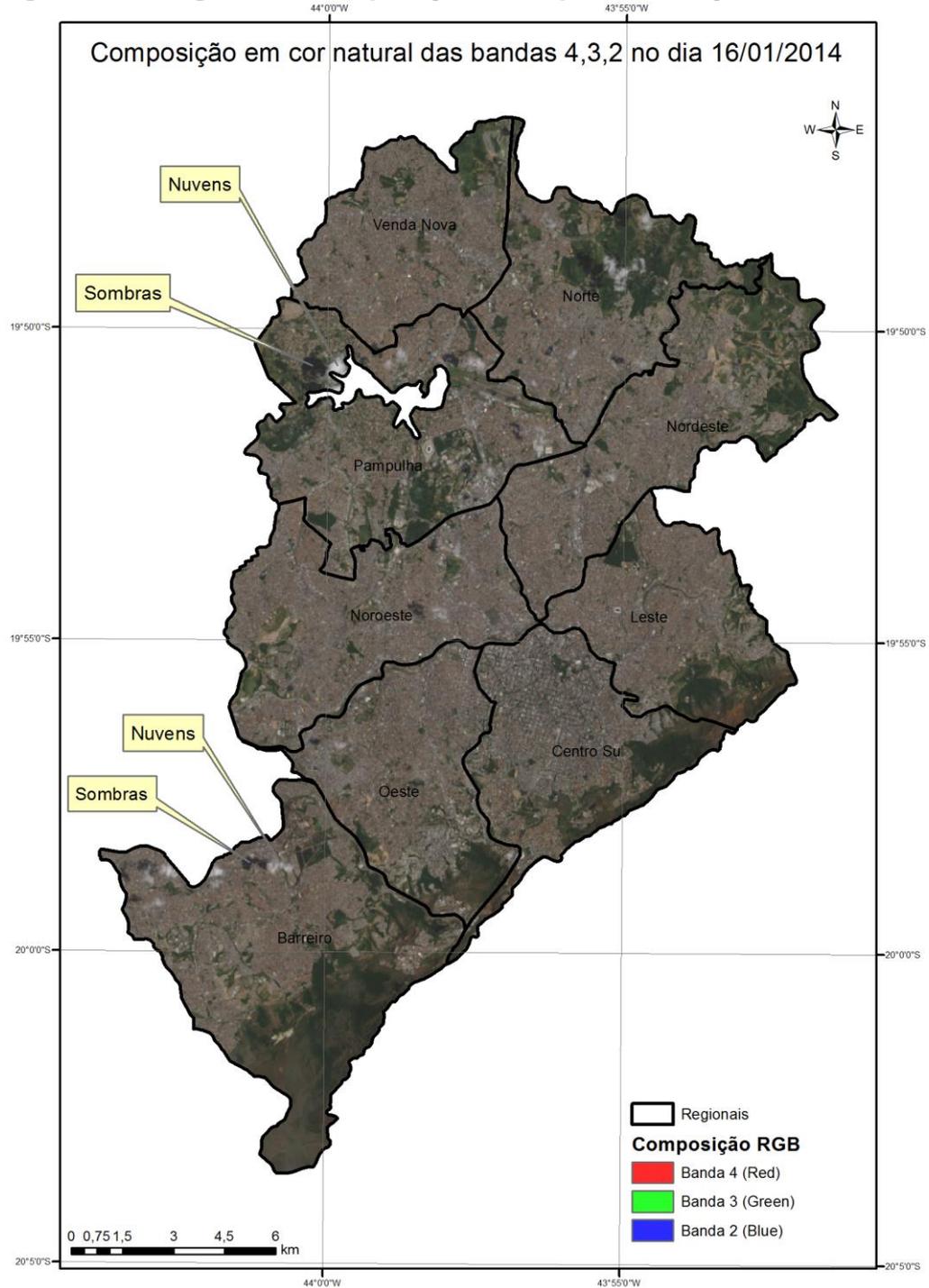
**Figura 8 – Imagem classificada para a estação Verão**



Fonte: Elaborada pelo autor

Conforme observado na Figura 9, realizou-se a composição em cor natural (RGB) para a imagem do dia 16/01/2014, referente às bandas espectrais 4, 3, 2 (vermelho, verde, azul, respectivamente).

**Figura 9 – Imagem em composição RGB para a estação Verão**

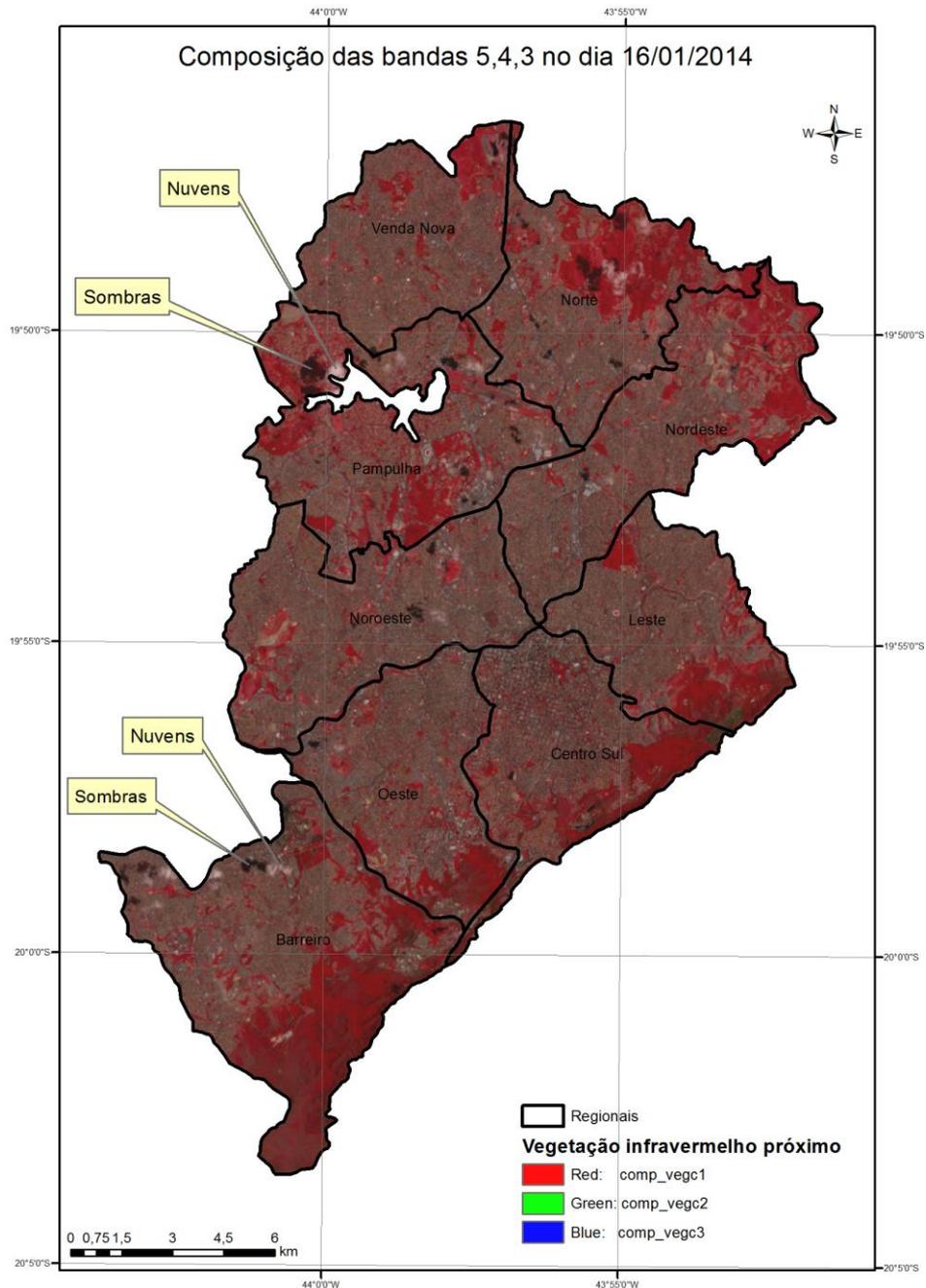


Fonte: Elaborada pelo autor

Nas regiões da Pampulha e Barreiro foram destacadas algumas nuvens e suas sombras projetadas, no dia em questão, sendo possível comparar, observando a Figura 8, que as sombras propiciam a redução das temperaturas de superfície, fato que contribui para um melhor conforto térmico nestes locais, ocasionando ilhas de frescor.

Realizou-se, também, para a imagem do dia 16/01/2014, a composição colorida das bandas 5, 4 e 3 (infravermelho próximo, vermelho e verde, respectivamente), conforme Figura 10, a fim de destacar a vegetação em coloração avermelhada, e percebe-se de maneira mais nítida as sombras que as nuvens projetaram no solo.

**Figura 10 – Imagem em composição infravermelho próximo para a estação Verão**



Fonte: Elaborada pelo autor

Pode-se correlacionar as Figuras 8 e 10, de modo que as áreas realçadas em vermelho apresentam as menores temperaturas de superfície e consistem em ilhas de frescor, tendo em vista que a presença de árvores e vegetação proporciona sombras, o que contribui para manter as temperaturas de superfície menores, além de reduzir a temperatura do ar por meio da evapotranspiração, em que as plantas eliminam água para o ar circundante, dissipando o calor do ambiente.

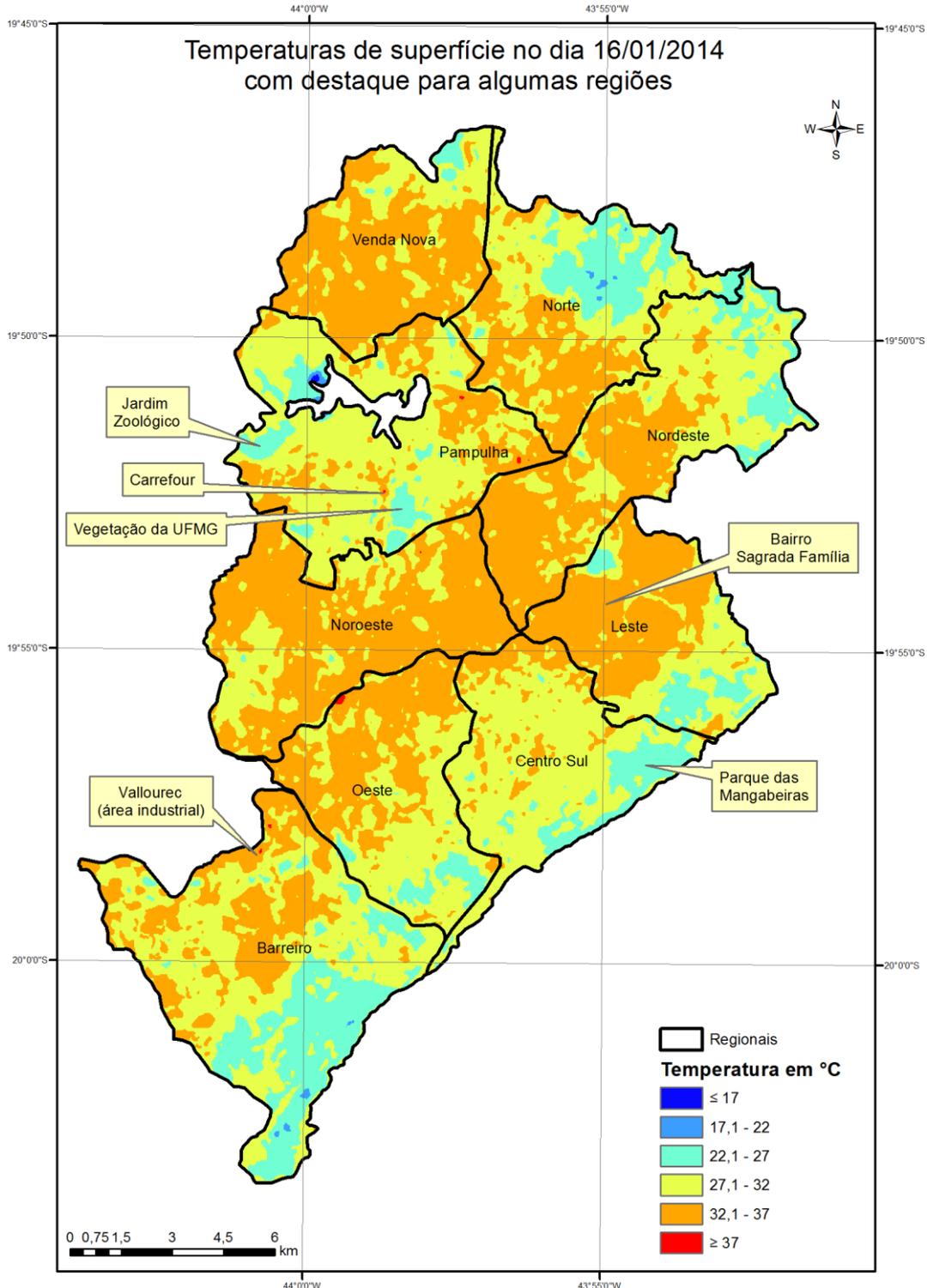
Em contraste, as regiões coloridas em tons de cinza na Figura 10 correspondem às áreas impermeabilizadas e construídas, ou seja, com superfícies impermeáveis e secas, registrando as maiores temperaturas, conforme observado na Figura 8.

Importante ressaltar que a mudança na cobertura do solo resulta em menos sombra e umidade, de modo que a evaporação reduzida propicia menores volumes de água na atmosfera, o que contribui para a elevação das temperaturas do ar e de superfície.

A Figura 11 possui em destaque algumas regiões do município, a fim de demonstrar que os diferentes materiais constituintes do meio urbano possuem variações de refletividade, fato que resulta em diferentes valores de temperaturas registradas pelo satélite.

Observa-se que as áreas verdes, como o Jardim Zoológico, a Vegetação da UFMG e o Parque das Mangabeiras possuem menor albedo, resultando em menores temperaturas, na faixa de 22,1 a 27°C. Já o Bairro Sagrada Família, urbanizado e com predomínio de edifícios, asfalto e concreto, apresenta temperaturas mais elevadas, de 32,1 a 37°C. O Carrefour e a região industrial da Vallourec, em virtude principalmente dos materiais de alta refletividade constituintes de seus telhados, apresentaram elevadas temperaturas, de 32,1 a 37°C e acima de 37°C.

**Figura 11 – Imagem classificada para a estação Verão, com destaque para algumas áreas do município**



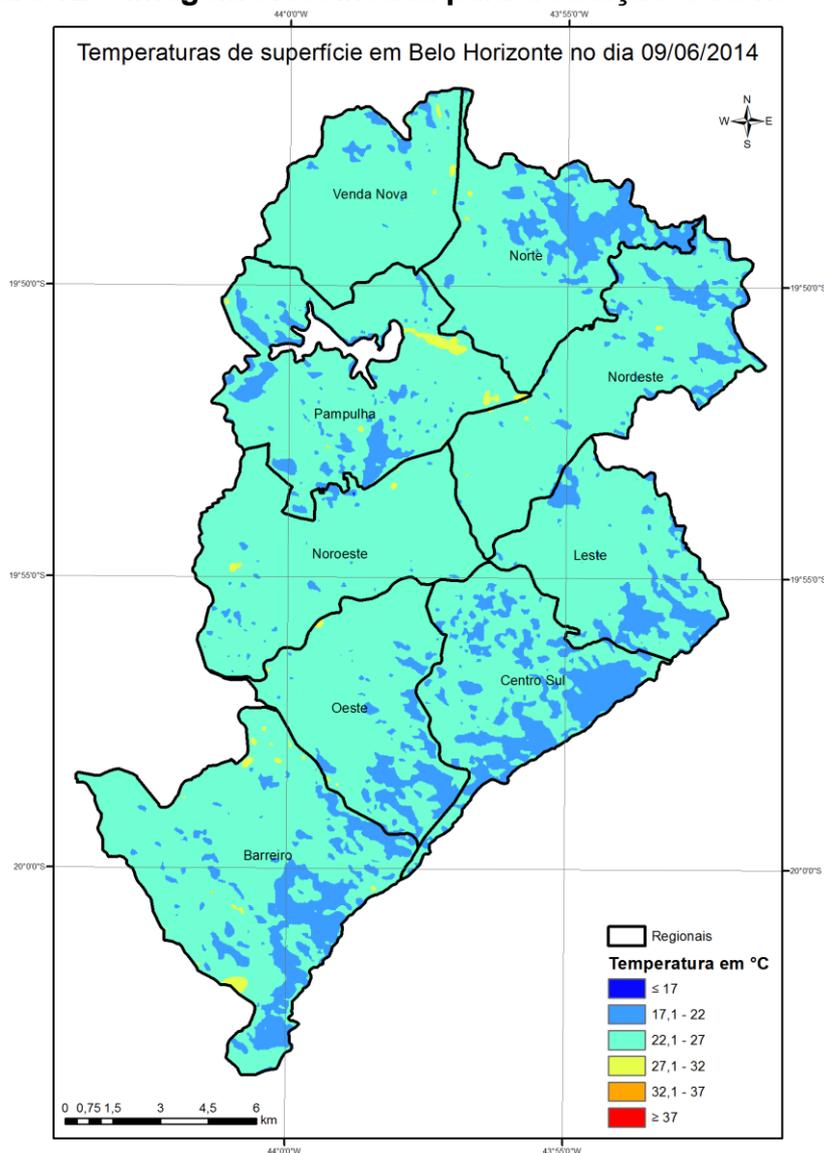
Fonte: Elaborada pelo autor

No Hemisfério Sul, o outono tem duração de 21 de março até 20 de junho, é uma estação de transição entre o verão e inverno, iniciando o período de redução das chuvas, das temperaturas e da umidade relativa do ar. Ocorre um aumento da

frequência de entradas das primeiras massas de ar frio, oriundas do sul do continente e geralmente de origem polar. Essas massas atuam com maior frequência e intensidade a partir do mês de abril, ocasionando um declínio de temperatura nas regiões Sul, Sudeste e parte do Centro-Oeste do Brasil, e dependendo de sua intensidade, causam geadas em regiões serranas e de baixadas, e até neve em regiões altas, no Sul do Brasil (INSTITUTO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS, 2015).

Dentre todas as datas, a imagem do dia 09/06/2014 apresentou as menores temperaturas de superfície, com predomínio de 22,1 a 27°C (Figura 12), que podem ter influenciado as menores temperaturas do ar características da estação outono.

**Figura 12 – Imagem classificada para a estação Outono**



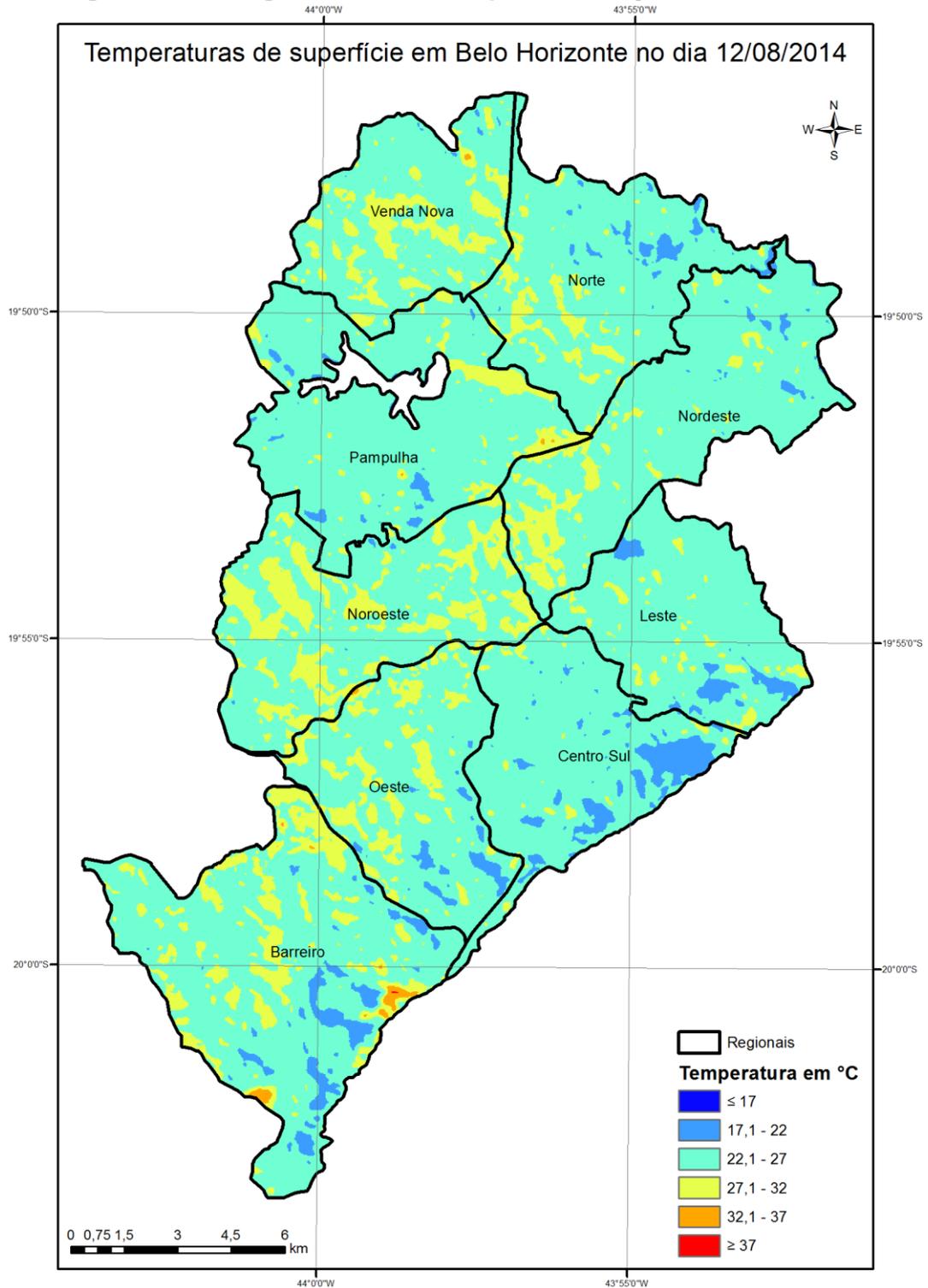
Fonte: Elaborada pelo autor

É possível observar a ocorrência de algumas ilhas de calor isoladas no mapa, abrangendo temperaturas de 27,1 a 32°C, a exemplo do Aeroporto da Pampulha, telhados de alta refletividade e na Avenida Cristiano Machado, na regional da Pampulha; áreas de solo exposto na regional Noroeste; e áreas industriais da Vallourec, na regional Barreiro.

No Hemisfério Sul, o inverno tem duração de 21 de junho até 20 de setembro, é a estação mais seca e fria do ano na Região Sudeste do Brasil, pois contabiliza o mais baixo índice pluviométrico e o registro das mais baixas temperaturas. Frentes frias e massas de ar frio são os principais sistemas meteorológicos que atuam na Região durante o inverno e são os responsáveis pela precipitação, queda de temperatura e ventos mais intensos (INSTITUTO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS, 2015).

A Figura 13 representa o resultado do mapeamento para o dia 12/08/2014, com um predomínio de temperaturas de superfície de 22,1 a 27°C. Apesar deste dia ter registrado menores temperaturas do ar do que a data 09/06/2014, suas temperaturas de superfície foram superiores em relação àquele dia, com amplas regiões amareladas na faixa de 27,1 a 32°C, onde ocorre solo exposto, vegetação rasteira e telhados de alta refletividade, caracterizando ilhas de calor.

**Figura 13 – Imagem classificada para a estação Inverno**



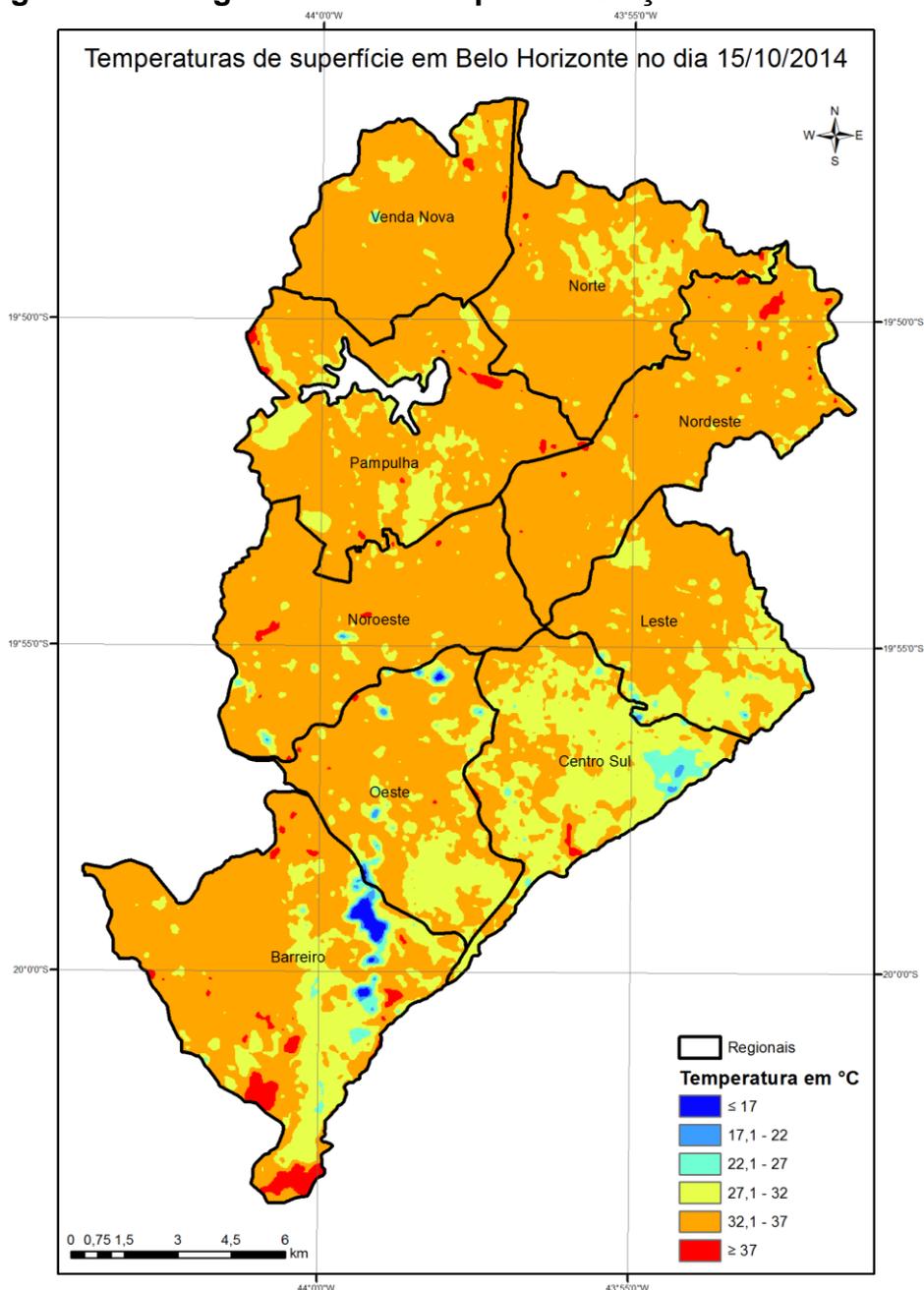
Fonte: Elaborada pelo autor

Segundo o Instituto de Pesquisas Meteorológicas (2015), a primavera, no Hemisfério Sul, tem duração de 21 de setembro até 20 de dezembro, é um período de transição entre o inverno e o verão. Na região Sudeste a primavera marca o final

da estação seca e início da estação das chuvas, as quais são favorecidas pelo aumento da umidade e temperatura. O forte aquecimento diurno e alta umidade atmosférica induzem a formação das chuvas convectivas.

Em comparação com os demais dias, a data 15/10/2014 apresentou as maiores temperaturas do ar características desta estação, assim como as maiores temperaturas de superfície, com predomínio na faixa de 32,1 a 37°C (Figura 14). Novamente, pode-se verificar uma relação entre esses dois tipos de temperatura.

**Figura 14 – Imagem classificada para a estação Primavera**

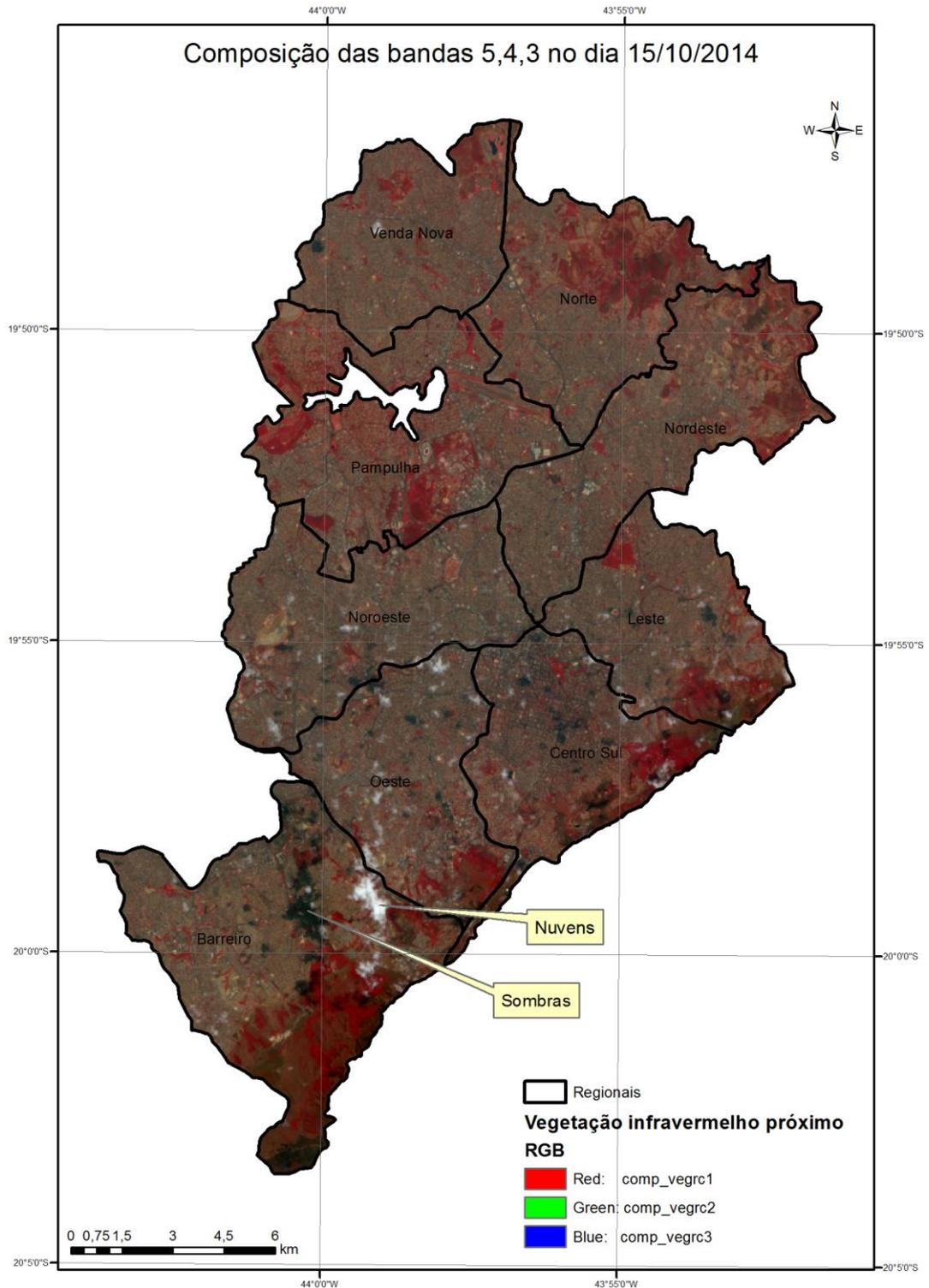


Fonte: Elaborada pelo autor

Houve o registro de algumas ilhas de calor com temperaturas elevadas, acima de 37°C, em que predominam solo exposto; vegetação rasteira, a exemplo do Cemitério Bosque da Esperança, na regional Norte; áreas pavimentadas, como o Aeroporto da Pampulha; e em telhados de alta refletividade, como os do Shopping Del Rey (regional Noroeste), do Carrefour (regional Pampulha) e do Expominas (regional Oeste). O dia 15/10/2014 registrou as maiores temperaturas do ar e de superfície, a menor insolação (6,9 horas) e a menor umidade relativa média do ar (29,75%).

Também foi realizada a composição colorida para a imagem do dia 15/10/2014, referente às bandas 5, 4 e 3 (infravermelho próximo, vermelho e verde, respectivamente), conforme Figura 15, a fim de destacar a vegetação em coloração avermelhada.

**Figura 15 – Imagem em composição infravermelho próximo para a estação Primavera**



Fonte: Elaborada pelo autor

É fundamental a comparação das Figuras 14 e 15. A Figura 14 mostra uma região com as menores temperaturas do mapa destacadas em coloração azul escuro ( $\leq 17^{\circ}\text{C}$ ) localizadas no Barreiro, entretanto, tais valores não correspondem à

temperatura da superfície terrestre, mas referem-se às nuvens destacadas na Figura 15. Dessa forma, nota-se nitidamente a interferência da nuvem no momento de passagem do satélite, impossibilitando a radiação eletromagnética em atravessá-la. O sensor, diante disso, registrou a intensidade da reflectância da nuvem, formando uma imagem da mesma, e não dos objetos que estão sobre a superfície terrestre.

Esta abordagem é interessante para evitar interpretações equivocadas, pois caso as nuvens não fossem percebidas, seria possível pensar que as pequenas temperaturas captadas pelo sensor seriam da superfície terrestre, enquanto na realidade são oriundas das nuvens acima da superfície.

Foram escolhidas algumas regiões do município com o intuito de abordar as diferenças de temperaturas de superfície captadas pelo sensor, para verificar a variação sazonal para as mesmas localidades.

Ao comparar as temperaturas de superfície na vegetação da UFMG, observou-se que para as estações outono e inverno, os valores foram semelhantes. Já a primavera obteve valores maiores do que os registrados no verão (Tabela 9).

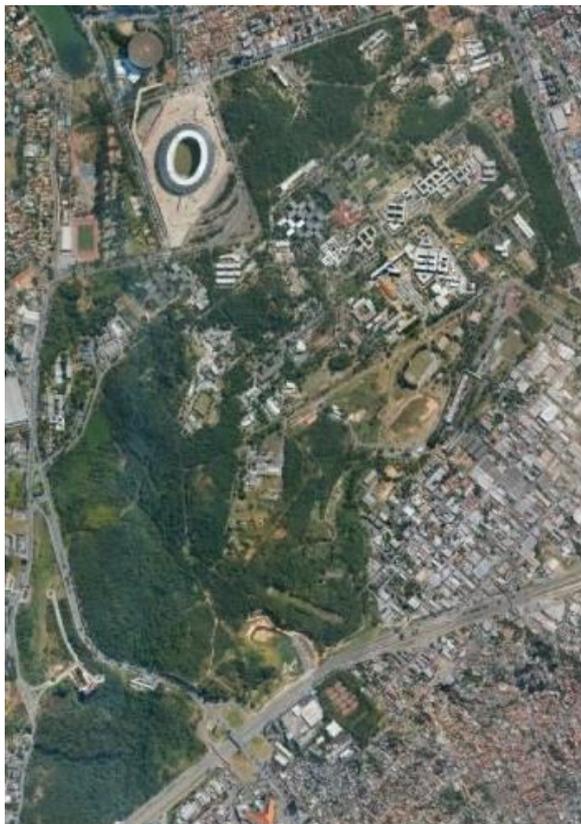
**Tabela 9 – Temperaturas de superfície na vegetação da Universidade Federal de Minas Gerais, regional da Pampulha**

<b>Data</b>	<b>Estação do ano</b>	<b>Temperaturas de superfície [°C]</b>
16/01/2014	Verão	22,1 a 27
09/06/2014	Outono	17,1 a 22
12/08/2014	Inverno	17,1 a 22
15/10/2014	Primavera	27,1 a 32

**Fonte: Elaborada pelo autor**

As regiões próximas à universidade apresentaram menores temperaturas do que regiões mais afastadas, devido à influência das áreas arborizadas presentes no campus (Figura 16).

**Figura 16 – Vegetação da UFMG e áreas próximas**



**Fonte: Google Earth (2015)**

Através das Tabelas 10 e 11, observa-se que para todos os quatro dias, o campus I do CEFET-MG registrou maiores temperaturas em comparação ao campus II, uma vez que esta unidade recebe maior influência das áreas arborizadas presentes no campus. As Figuras 17 e 18 apresentam as imagens dos dois campi da instituição.

**Tabela 10 – Temperaturas de superfície no campus I do CEFET-MG, regional Oeste**

<b>Data</b>	<b>Estação do ano</b>	<b>Temperaturas de superfície [°C]</b>
16/01/2014	Verão	32,1 a 37
09/06/2014	Outono	22,1 a 27
12/08/2014	Inverno	27,1 a 32
15/10/2014	Primavera	32,1 a 37

**Fonte: Elaborada pelo autor**

**Figura 17 – Campus I do CEFET-MG**



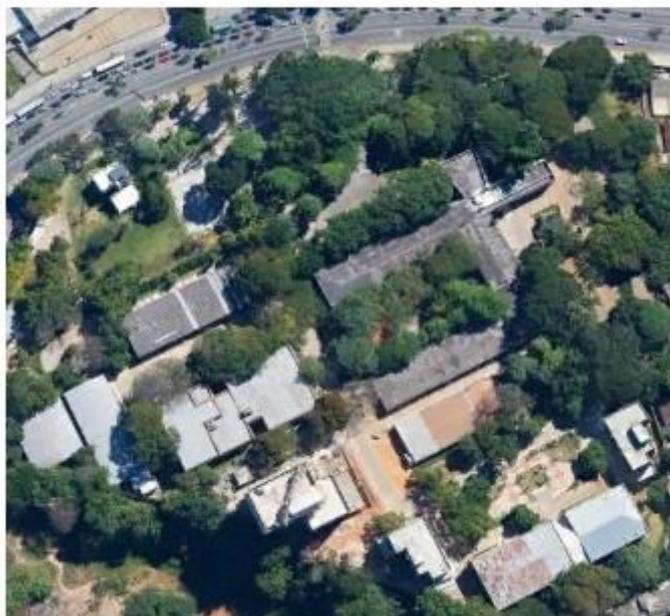
Fonte: Google Earth (2015)

**Tabela 11 – Temperaturas de superfície no campus II do CEFET-MG, regional Oeste**

Data	Estação do ano	Temperaturas de superfície [°C]
16/01/2014	Verão	27,1 a 32
09/06/2014	Outono	17,1 a 22, e 22,1 a 27 (predomínio)
12/08/2014	Inverno	22,1 a 27
15/10/2014	Primavera	27,1 a 32

Fonte: Elaborada pelo autor

**Figura 18 – Campus II do CEFET-MG**



Fonte: Google Earth (2015)

Nesse contexto, considerando-se um mesmo dia, o conforto térmico proporcionado pelo campus II tende a ser maior do que no campus I, devido à maior umidade proveniente de evapotranspiração da vegetação naquela unidade.

Interessante observar que as áreas vegetadas do CEFET-MG campus II contribuíram para amenizar as temperaturas na região que compreende as instalações da instituição. Em contrapartida, as regiões circundantes da unidade registraram temperaturas mais elevadas, em virtude da ausência da vegetação e da maior impermeabilização do solo, através de materiais como asfalto e concreto.

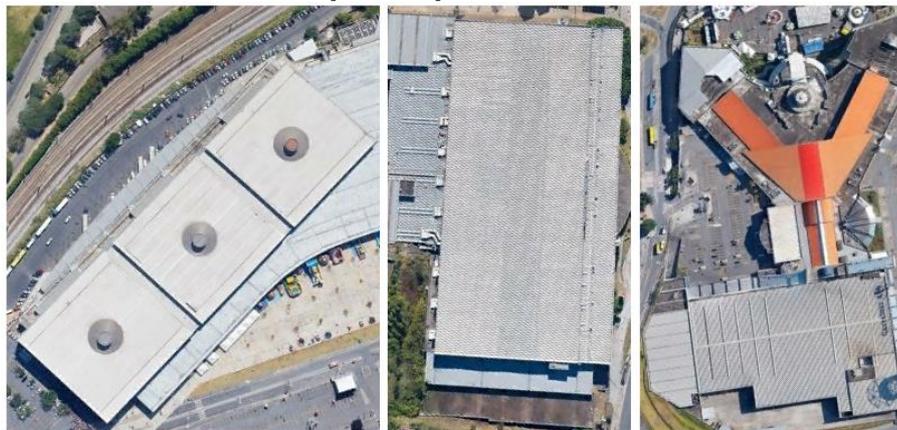
Um aspecto interessante que foi observado consiste na elevação das temperaturas de superfície de vários telhados de alta refletividade (Tabela 12), devido ao maior albedo desses materiais. A Figura 19 possui em detalhe tais telhados.

**Tabela 12 – Temperaturas de superfície dos telhados do Expominas (regional Oeste), Carrefour (regional Pampulha) e Shopping Del Rey (regional Noroeste)**

<b>Data</b>	<b>Estação do ano</b>	<b>Temperaturas de superfície [°C]</b>
16/01/2014	Verão	32,1 a 37 (predomínio), e $\geq 37$
09/06/2014	Outono	27,1 a 32
12/08/2014	Inverno	27,1 a 32
15/10/2014	Primavera	32,1 a 37, e $\geq 37$ (predomínio)

Fonte: Elaborada pelo autor

**Figura 19 – Telhados do Expominas, Carrefour e Shopping Del Rey, da esquerda para a direita**



**Fonte: Google Earth (2015)**

Importante destacar que os dias em que as temperaturas do ar foram maiores, como em 16/01/2014 e 15/10/2014, registrou-se também as mais elevadas temperaturas de superfície. Em contrapartida, os dias em que as temperaturas do ar foram menores, como em 09/06/2014 e 12/08/2014, registrou-se também as mais baixas temperaturas de superfície.

Nesse sentido, as menores temperaturas do ar registradas nos dias correspondentes ao outono e inverno podem ter exercido influência nas menores temperaturas na superfície desses telhados.

A Tabela 13 retrata as altas temperaturas captadas pelo sensor no Aeroporto da Pampulha.

**Tabela 13 – Temperaturas de superfície no Aeroporto da Pampulha**

<b>Data</b>	<b>Estação do ano</b>	<b>Temperaturas de superfície [°C]</b>
16/01/2014	Verão	32,1 a 37
09/06/2014	Outono	27,1 a 32
12/08/2014	Inverno	27,1 a 32
15/10/2014	Primavera	32,1 a 37, e ≥ 37

**Fonte: Elaborada pelo autor**

Através da Figura 20, percebe-se regiões de solo exposto e asfalto, que conferem pouca eficiência no mecanismo de dissipação do calor, fato que contribuiu para as temperaturas elevadas obtidas no momento da passagem do satélite.

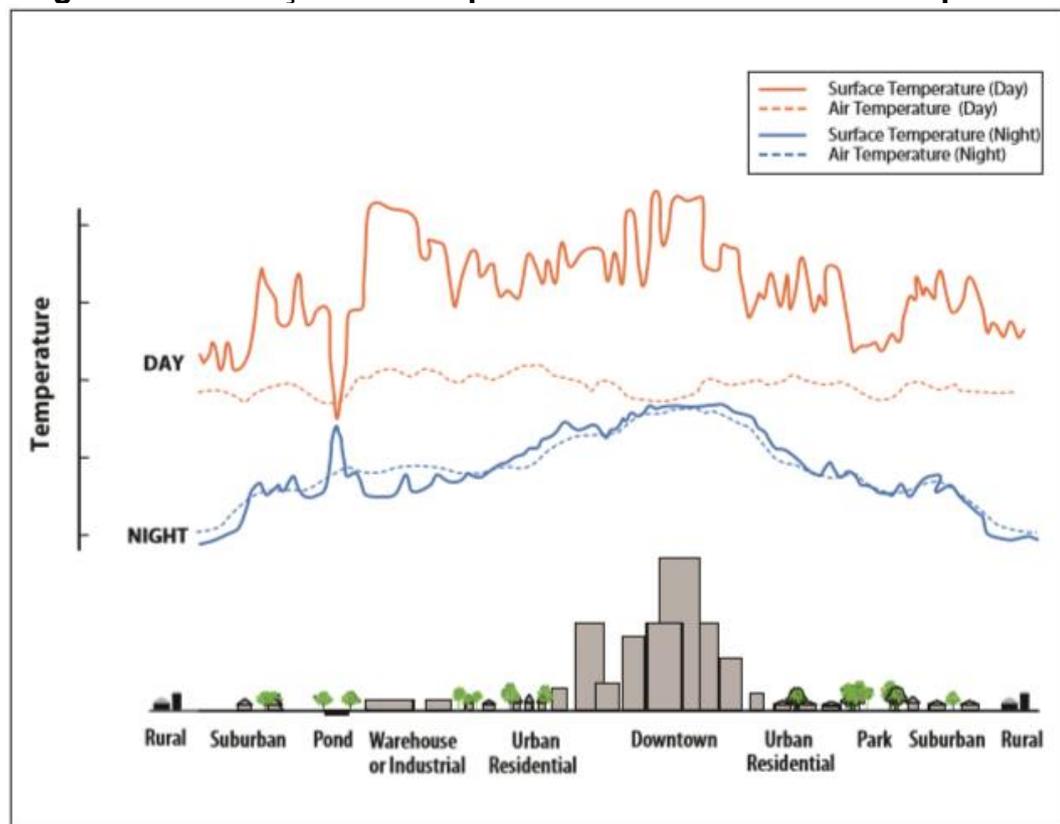
**Figura 20 – Aeroporto da Pampulha**



Fonte: Google Earth (2015)

A relação entre as temperaturas de superfície e do ar não é constante, e geralmente estas variam menos do que aquelas, ao longo de uma área (Figura 21).

**Figura 21 – Variações de temperaturas atmosféricas e de superfície**

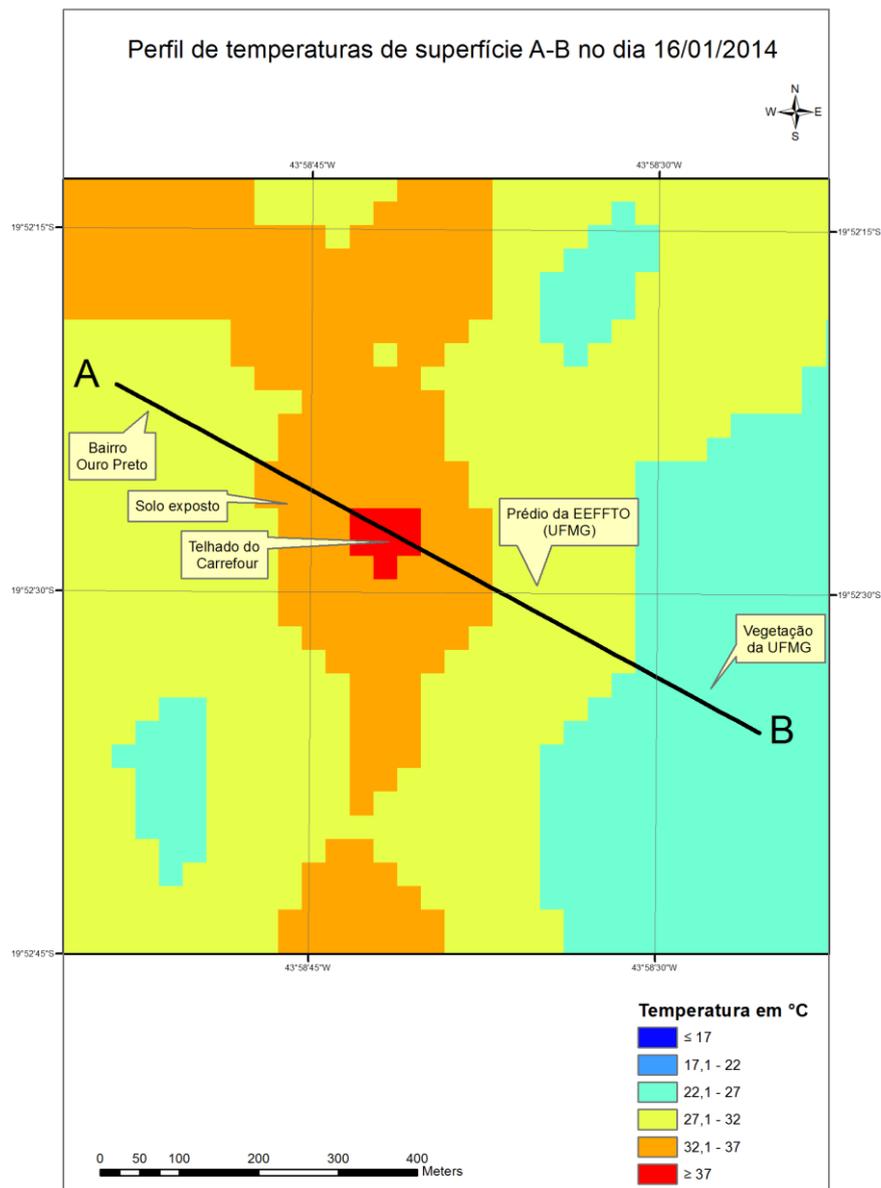


Fonte: ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (2008)

Observa-se que as temperaturas atmosféricas e de superfície variam conforme os diferentes usos e coberturas do solo. Em áreas urbanas e centros urbanizados com elevada verticalização de edifícios, as temperaturas são consideravelmente maiores se comparadas a regiões rurais, parques e lagoas.

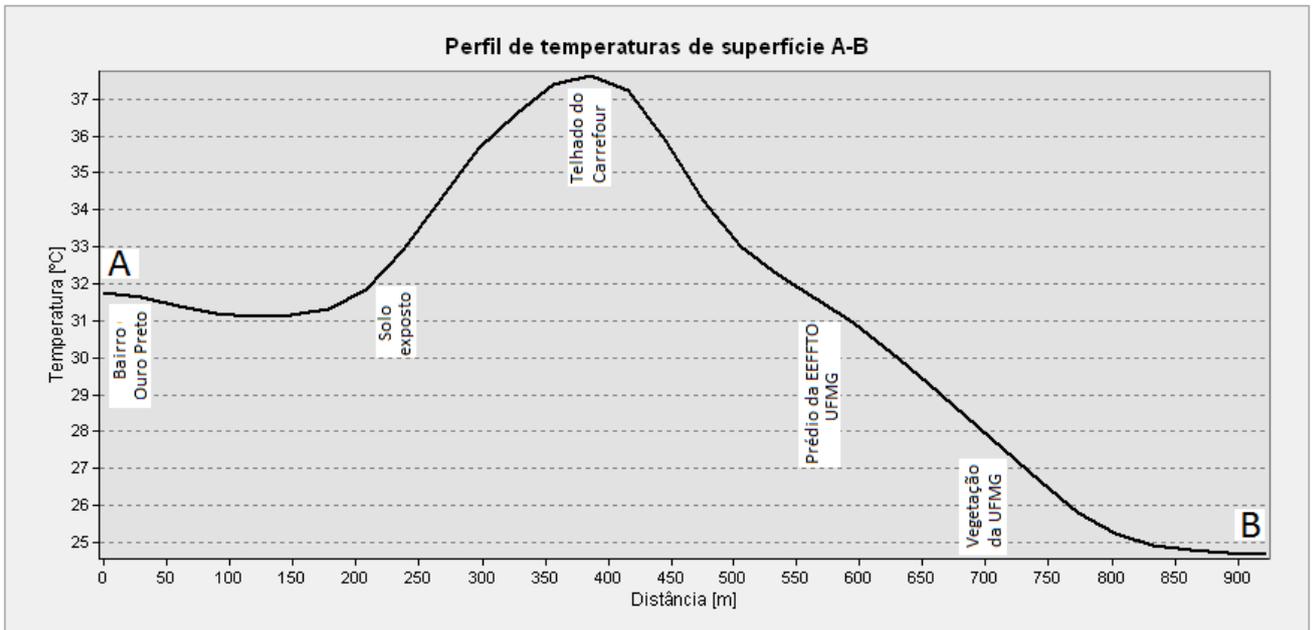
Na regional Pampulha, próximo ao campus da UFMG, realizou-se um traçado A-B, com o objetivo de revelar, em escala de detalhe, o comportamento da temperatura de superfície com base nos distintos usos e coberturas do solo, como construções, pavimentos, telhados e vegetação (Figuras 22 e 23).

**Figura 22 – Detalhe do perfil de temperaturas A-B para o Verão**



Fonte: Elaborada pelo autor

**Figura 23 – Gráfico do perfil A-B do campo térmico de superfície para o dia 16/01/2014**



Fonte: Elaborado pelo autor

Próximo ao ponto A, a área residencial correspondente ao Bairro Ouro Preto registrou valores de 27,1 a 32°C; a região de solo exposto logo em seguida provocou o aumento de temperaturas para 32,1 a 37°C; o telhado do Carrefour resultou no pico de valores, superiores a 37°C; o prédio da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional (EEFFTO) obteve valores de 27,1 a 32°C; e próximo ao ponto B a vegetação da UFMG registrou os menores valores, na faixa de 22,1 a 27°C.

Conforme demonstrado, a amplitude registrada nesse perfil no momento da passagem do satélite foi considerada elevada, com os menores valores detectados na superfície da vegetação, enquanto os maiores foram identificados nas áreas construídas com intensa reflectância termal e em telhado de elevado albedo. Os altos edifícios situados em vários bairros do município representam barreiras e dificultam a circulação dos ventos, fato que impede a dissipação mais eficiente do calor, o que contribui para o aumento das temperaturas.

Diante dessas informações, é importante destacar que a metodologia empregada no presente trabalho, através da utilização de imagens de satélite e geotecnologias, proporciona não apenas uma medida da magnitude de temperaturas

de superfície de toda a área municipal, mas também a extensão espacial dos efeitos das ilhas de calor e de frescor.

## **6.2 Medidas mitigadoras das ilhas de calor**

Diante das evidências constatadas sobre o fenômeno das ilhas de calor no município de Belo Horizonte, é necessária a adoção de medidas mitigadoras a fim de amenizar as elevadas temperaturas e melhorar o conforto térmico da população.

Apesar de as áreas urbanas sofrerem influência do clima, geografia e topografia, que estão além da influência da política local, os tomadores de decisão podem selecionar uma gama de estratégias que irão gerar benefícios múltiplos. As comunidades também podem adotar uma série de medidas para reduzir o efeito das ICU, usando quatro estratégias principais: aumento da cobertura vegetal; criação de telhados verdes (também chamados "jardins suspensos" ou "eco-telhados"); e utilização de pavimentos frios (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2015).

Conforme foi possível observar nos mapas das quatro estações do ano, as regiões com maior quantidade de áreas permeáveis, concentração de remanescentes florestais ou presença de áreas verdes públicas apresentaram menores temperaturas de superfície e atenuação das mesmas em áreas próximas, atuando como "Ilhas de Frescor Urbano", através do aumento da evapotranspiração, da umidade e da absorção da radiação eletromagnética, atuando na mudança do balanço de energia na cidade.

Nesse contexto, julga-se importante que as autoridades adotem medidas para aumentar a vegetação urbana, seja em áreas públicas (composta por logradouros públicos, que são espaços aos quais o conjunto da população e visitante da cidade têm livre acesso e deles podem usufruir), seja em áreas privadas (compostas por jardins, quintais e remanescentes incorporados à malha urbana e localizados em terrenos particulares). A presença de áreas verdes nas cidades é importante não apenas como regulador do clima urbano, mas também na infiltração da água no solo, de modo a minimizar os impactos das inundações.

Gomes e Amorim (2003) destacam que a arborização de vias públicas, praças, vazios urbanos destinados a áreas verdes, encostas e fundos de vale podem contribuir significativamente na amenização do clima urbano.

De acordo com Gartland (2010), o plantio de árvores e vegetação realizado em locais estratégicos podem ser ainda mais úteis, por exemplo, de modo a fornecer sombras para janelas e partes da cobertura de edifícios. A realização de projetos paisagísticos merecem atenção. Os sombreamentos de estacionamentos e ruas pode também ser uma maneira eficaz de resfriar uma comunidade. Em áreas onde não há espaço para árvores ou elas crescem muito lentamente para se tornarem eficazes em curto prazo, pode-se utilizar a trepadeira cultivada em treliças. Essas plantas requerem menos espaço e terra, crescem rapidamente e geralmente podem ser apoiadas em arames ou fios junto a paredes externas de edifícios.

O emprego de telhados-verdes também consiste em uma opção interessante para sombreamento e paisagismo de áreas urbanas. Segundo Catuzzo (2013), os telhados-verdes, também denominados coberturas-verdes, são áreas vegetadas sobre casas ou edifícios residenciais, comerciais, industriais ou públicos. A vegetação pode ser rasteira, arbustiva ou de porte arbóreo. No âmbito da arquitetura, é considerado o futuro do urbanismo, para os geógrafos pode-se dizer que é a possibilidade para amenizar os efeitos do aquecimento no microclima urbano.

Em um estudo realizado por Catuzzo (2013), demonstrou-se que a utilização de cobertura vegetal sobre os telhados reduz as temperaturas e elevam a umidade do ar no microclima, enquanto o telhado de concreto eleva a temperatura e reduz a umidade do ar significativamente. A maior variação da temperatura do ar encontrada entre os dois telhados foi de 5,3°C, e da umidade foi de 15,7%.

Diante disso, torna-se importante a promoção de incentivos pelo poder público a fim de disseminar a implantação de telhados-verdes, tendo em vista seus impactos positivos no microclima e na atenuação das ilhas de calor urbanas, além de atuar na redução do uso de ar condicionado e ventilação interna de edifícios, contribuindo para a economia de energia, o conforto térmico no interior e exterior do ambiente e, conseqüentemente, a qualidade de vida dos cidadãos.

Outra solução mitigadora destacada por Gartland (2010) refere-se às coberturas mais frescas, que ajudam a reduzir as ICU, pois possuem alta refletância solar e alta emissividade térmica (acima de 85%). Alta refletância solar significa que esses materiais refletem a energia mais facilmente do que os materiais tradicionais. A autora destaca que materiais de camada única como o policloreto de vinila (PVC)

e poliolefina termoplástica (TPO) geralmente tem cor branca reluzente, possuem valores de refletância solar maiores que 70% e se mantêm a uma temperatura inferior a 50°C. A espuma de poliuretano *spray* (SPF) é um tipo de material isolante, geralmente aplicado com uma camada protetora de alta refletância, que também se mantém fresca.

Uma importante ferramenta provedora de mudanças refere-se ao Plano Diretor de Belo Horizonte (Lei nº 7.165), que é o instrumento básico da política de desenvolvimento urbano, sob o aspecto físico, social, econômico e administrativo, objetivando o desenvolvimento sustentado do município, tendo em vista as aspirações da coletividade.

Com o intuito de melhorar a qualidade de vida urbana, garantindo o bem-estar dos munícipes, é fundamental que o Plano Diretor englobe as questões relacionadas à mitigação das ICU, de modo a nortear as políticas públicas para o melhor planejamento de expansão urbana, uso e ocupação do solo; fiscalizar a ocupação inadequada de áreas verdes; promover (re)arborização de áreas onde observa-se maiores temperaturas; incentivar a utilização de pavimentos e materiais que absorvem menos energia, assim como de telhados-verdes e vegetação em locais públicos e privados; incentivar o aumento da utilização de energias menos poluentes a fim de reduzir as emissões antropogênicas de gases de efeito estufa. A população também pode contribuir, com a possibilidade de formação de jardins, aumentando a área verde nas residências, nas áreas dos edifícios e nos estacionamentos.

Monteiro e Mendonça (2003) abordam que é necessário encontrar novas estratégias para uma efetiva sensibilização dos governantes encarregados das tomadas de decisão, para com a importância dos elementos e fenômenos climáticos e sua interação com a sociedade. A humanidade parece já ter ido longe demais negligenciando seus impactos sobre a natureza e os impactos desta sobre a sociedade. Os estudos climáticos, tanto em micro quanto em meso e macro escalas, já ofereceram elementos suficientemente confiáveis e incontestáveis para que os governantes possam, no que diz respeito à atmosfera, decidir sobre um futuro viável para a natureza e para a sociedade.

Nesse âmbito, Lombardo (2011) ressalta que os estudos das alterações climáticas têm sido cada vez mais considerados pelos urbanistas nos processos de planejamento urbano, o que surge a necessidade de estabelecer critérios que

estejam voltados para a questão da poluição do ar e do comportamento térmico, através da descrição qualitativa em sua variação espacial.

A autora aborda que, com a falta de planejamento urbano adequado e com a ausência de grandes áreas verdes no interior das cidades, modifica-se o balanço de energia havendo uma maior emissão de ondas longas pelas superfícies urbanas e, conseqüentemente, a formação de ilhas de calor.

Em Belo Horizonte, ressalta-se a importância para que os espaços verdes sejam mantidos e alargados com um adequado planejamento a fim de potencializar a sua utilização e reduzir possíveis aspectos negativos que ocorrem no tecido urbano. A priorização da implantação da vegetação nas diversas áreas da cidade demanda um critério de avaliação para áreas mais carentes, de forma a contribuir para as possibilidades de atividades de lazer àquela população.

## 7 CONCLUSÕES

Com a realização do presente trabalho, percebe-se que a utilização de imagens de satélite e geotecnologias para estudos de climatologia urbana e rural é de suma importância, pois proporciona uma visualização abrangente do território e uma rápida representação das temperaturas, auxiliando o pesquisador nas suas análises, além de contribuir na identificação, espacialização e compreensão da dinâmica climática operante de microclimas locais.

A utilização da banda 10 correspondente ao infravermelho termal do satélite Landsat 8 possibilitou identificar as temperaturas de superfície na capital mineira, mapear ilhas de calor e de frescor, e correlacionar os usos e ocupação do solo no ambiente urbano com a presença dessas ilhas no município, o que possibilitou o conhecimento do comportamento térmico ao longo de quatro estações do ano e a percepção das variações sazonais de temperatura em 2014.

Os resultados extraídos durante a passagem do satélite evidenciaram áreas no município de Belo Horizonte com intensa reflectância termal, como prédios, pavimentos, solo exposto, telhados, avenidas, ruas e outras superfícies típicas da paisagem urbana, bem como a importância de áreas vegetadas na amenização das temperaturas em áreas próximas.

Diante dessas informações, pode-se nortear as políticas públicas no sentido de auxiliar na gestão e planejamento do espaço urbano, através, por exemplo, da determinação dos locais prioritários de arborização das regiões mais quentes, da regulamentação do uso do solo e do crescimento adaptativo da estrutura urbana.

Nesse contexto, o Plano Diretor do município possui essencial função, enquanto instrumento de política ambiental, em desempenhar um papel decisivo na obtenção do almejado equilíbrio ambiental urbano, de modo com que os tomadores de decisão possam adotar medidas a fim de melhorar a qualidade de vida e o conforto térmico dos habitantes.

## **8 PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS**

A metodologia utilizada neste trabalho possibilita a aplicação em outros intervalos de datas e locais distintos, podendo-se abranger maiores ou menores áreas para análises em macro, meso ou micro escalas, o que contribui na compreensão dos problemas e no auxílio na tomadas de decisões.

Outros estudos podem ser realizados, em outras abordagens temporais e com outras escalas espaciais de análise, seja em bairros, municípios, região metropolitana estados, países, etc., de forma a atender aos interesses dos pesquisadores e identificar os fatores intervenientes no espaço que influenciam a ocorrência de ilhas de calor e de frescor.

## REFERÊNCIAS

- ASSIS, W. L.; ABREU, M. L. O clima urbano de Belo Horizonte: análise têmporo-espacial do campo térmico e hígrico. **Revista de C. Humanas**, v. 10, n. 1, p. 47-63, jan./jun. 2010.
- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os Trópicos**. 9. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. 332 p.
- BELO HORIZONTE. Lei nº 7.165, de 27 de agosto de 1996. **Institui o Plano Diretor do Município de Belo Horizonte**.
- CATUZZO, H. **Telhado verde: impacto positivo na temperatura e umidade do ar – o caso da cidade de São Paulo**. 206 p. Tese (Doutorado) – Departamento de Geografia. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2013.
- CHANDER, G., MARKHAM, B. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and post calibration dynamic ranges. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 41, n. 11, p. 2674-2677, 2003.
- CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; HELDER, D. L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, p. 893-903, 2009.
- COELHO, A. L. N. Uso de Produtos de sensoriamento remoto para Delimitação de Área Efetivamente Inundável: estudo de caso do baixo curso do rio Benevente Anchieta - ES. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 4, p. 53-63, 2010.
- COELHO, A.L. N.; CORREA, W.S.C. Temperatura de superfície Celsius do sensor TIRS/LANDSAT-8: metodologias e aplicações. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 7, n. 1, p. 31-45, 2013.
- DASH, P. et al. Land surface temperature and emissivity estimation from passive sensor data: theory and practice-current trends. **International Journal of Remote Sensing**, Bethesda, v. 23, n. 13, p. 2563–2594, 2002.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies**. Urban Heat Island Basics. 2008.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **HeatIsland**. Disponível em: <<http://www.epa.gov/heatisd/>>. Acesso em: 28 ago. 2015.
- FIGUEIREDO, Divino. **Conceitos básicos de sensoriamento remoto**. Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. Brasília. 2005.
- FITZ, Paulo Roberto. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 160 p.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. Fundamentos de sensoriamento remoto. In: FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 3.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. Cap. 1, p. 9-18.

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.

GARTLAND, Lisa. **Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 248 p.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

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 da Geografia**, Uberlândia, v. 7, n. 10, p. 94-106, 2003.

GOOGLE. **Google Earth**. Disponível em: <<https://earth.google.com/>>. Acesso em: 20 set. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Belo Horizonte - informações completas**. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=310620&search=||infográficos:-informações-completas>>. Acesso em: 05 jun. 2015.

INSTITUTO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS. **Estações do ano**. Universidade Estadual Paulista - UNESP. Disponível em: <<http://www.ipmet.unesp.br/4estacoes/#>>. Acesso em: 16 out. 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa - BDMEP**. Brasília. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 22 set. 2015.

KAZAY, D. F. et al. Mudança no uso e cobertura do solo e sua influência na temperatura de superfície: um estudo na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15, 2011, Curitiba. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. INPE, 2011. p. 752-759.

KING, V. J.; DAVIS, C. A case study of urban heat islands in the Carolinas. **Environmental Hazards**, Oxford, v. 7, p. 353–359, 2007.

KLYSIC, K.; FORTUNIAK, K. Temporal and spatial characteristics of the urban heat island of Lodz, Poland. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 33, p. 3885-3895, 1999.

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

LOMBARDO, M. A. O uso de geotecnologias na análise das mudanças climáticas na Metrópole de São Paulo. **Revista Geográfica de América Central**. p. 1-19, 2011.

MAGALHÃES FILHO, L. C. A.; ABREU, J. F. Ilha de calor urbana, metodologia para mensuração: Belo Horizonte, uma análise exploratória. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 10, n. 1, 1º semestre. 2010.

MENESES, P. R. et al. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. UnB – CNPQ. Brasília. 2012.

MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. **Clima Urbano**. São Paulo: Contexto, 2003. 192 p.

MORAIS, H. F. et al. Identificação do fenômeno de ilhas de calor urbano em Belo Horizonte – MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16, 2013, Foz do Iguaçu. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. INPE, 2013. p. 936-943.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos de sensoriamento remoto**. São José dos Campos - SP: INPE, 2001.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 4. ed. Viçosa: UFV, 2009. 320 p.

NEIVA, H. S.; CATTAE, J. F. A ilha de calor e frescor na cidade do Rio de Janeiro: estudo de caso dos bairros Méier e Jardim Botânico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEÓGRAFOS, 7, 2014, Vitória. **Anais VII Congresso Brasileiro de Geógrafos**. Associação dos Geógrafos Brasileiros, 2014. p. 1-12.

NOVO, E. M. L. de M. Utilização de dados de sensoriamento remoto em estudos ambientais. **Revista Geografia**, v. 13, n.25, p. 43-51, 1988.

RAO, P. K. Remote sensing of urban "heat islands" from an environmental satellite. **Bulletin of the American Meteorological Society**, Boston, v. 53, p. 647-648, 1972.

ROSA, Roberto. **Introdução ao sensoriamento remoto**. 6. ed. Uberlândia: EDUFU, 2007. 248 p.

SANTOS, A. R et al. **Sensoriamento remoto no ArcGIS 10.2.2 Passo a Passo: Processamento de imagens orbitais – Volume 1**. Alegre: CAUFES, 2014.

SANTOS, F. A. A. **Alagamento e inundação urbana: modelo experimental de avaliação de risco**. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós- Graduação em Ciências Ambientais) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

SAYDELLES, A. P. **Estudo do campo térmico e das ilhas de calor urbano em Santa Maria-RS**. 2005. 219 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, 2005.

SILVA, F. S.; ALMEIDA, R. S.; RANGEL, M. E. S. Análise da temperatura superficial terrestre do município de São Luís/MA a partir de imagem orbital do Sensor OLI/Landsat-8. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17, 2015, João Pessoa. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. INPE, 2015. p. 2031-2038.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. **Meteorologia e climatologia florestal**. Curitiba: UFPR. 2004.

SOUZA, S. M. **Mapeamento e avaliação da vegetação urbana da cidade de Vitória - ES, utilizando geotecnologias**. 2011. 140 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2011.

TORRES, F. T. P.; MACHADO, P. J. O. **Introdução à climatologia**. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Using the USGS Landsat 8 Product**. 2013. Disponível em: <[http://landsat.usgs.gov/Landsat8\\_Using\\_Product.php](http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php)>. Acesso em: 08 ago. 2015.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **About USGS**. 2015a. Disponível em: <<http://www.usgs.gov/aboutusgs/>>. Acesso em: 29 mai. 2015.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Landsat Missions**. 2015b. Disponível em: <<http://landsat.usgs.gov/>>. Acesso em: 29 mai. 2015.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Imagens do satélite Landsat 8**. 2015c. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 19 abr. 2015.