

## GEOTECNOLOGIAS E ILHAS DE CALOR URBANAS: UMA APLICAÇÃO A UBERLÂNDIA – MG

*Geotechnologies and urban heat islands: an application to Uberlândia - MG*

*Geotecnologías y las islas de calor urbanas: una aplicación en Uberlândia – MG*

Mariana Gomide Vieira  
Gilnei Machado

Recebido em: maio de 2018. Publicado em: dezembro de 2018.

**Resumo:** As geotecnologias, empregadas para a identificação das ilhas de calor, são compreendidas como uma área do conhecimento geográfico que possibilitam a observação espacial, sendo utilizadas, principalmente, para estudos de alvos da superfície terrestre. O sensoriamento remoto é uma técnica inserida no eixo das geotecnologias, que se torna indispensável para imagear a superfície, mensurando através do canal termal a temperatura da atmosfera próxima à superfície. Este tipo de técnica colabora para mensurar a temperatura de superfície, como também, a formação de ilhas de calor. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo principal realizar um roteiro metodológico para a obtenção da temperatura de superfície através do sensoriamento remoto. Para isto, foram realizados cálculos estatísticos e matemáticos, como também um processamento com imagens do satélite Landsat 5 e 8 no software Idrisi® (Selva 17.0). A área de aplicação da metodologia é a cidade de Uberlândia – MG, e os anos escolhidos foram 2004 e 2014, devido à disponibilidade de dados e a possibilidade de comparação e detecção da evolução. Este estudo mostra um passo a passo sobre a técnica de mensuração da temperatura de superfície empregada, a qual pode ser considerada satisfatória, por possibilitar a identificação de ilhas de calor.

**Palavras-Chave:** Temperatura de superfície, sensoriamento remoto, ilhas de calor.

**Resumen:** La geotecnología, empleada para la identificación de islas de calor, se incluyen como un área de conocimientos geográficos que permiten la observación espacial. La misma puede ser utilizada principalmente para estudios de objetos de superficie de la tierra. La teledetección es una técnica que se encuentra en el eje de las geotecnologías, que es indispensable para estudiar la superficie, medir el canal termal a través de la temperatura de la atmósfera cerca de la superficie de la proyección de imagen. Este tipo de técnica colabora para medir la temperatura de la superficie, así como la formación de islas de calor. En este contexto, este trabajo tuvo como objetivo principal llevar a cabo un plan de trabajo metodológico para la obtención de temperatura de la superficie a través de sensores remotos. Para esto se realizaron cálculos estadísticos y matemáticos, así como el procesamiento de imágenes del satélite Landsat 5 y 8 en el software Idrisi® (selva 17.0). El área de aplicación de la metodología es la ciudad de Uberlândia-MG, y los años 2004 y 2014, debido a la disponibilidad de datos y la posibilidad de detección y comparación de la evolución. Este estudio muestra un paso a paso en la técnica de medición de la temperatura de la superficie empleada, que puede considerarse satisfactoria, por lo que permite la identificación de islas de calor.

**Palabras clave:** Superficie De Temperatura, Sensores Remotos, Islas De Calor.

**Abstract:** *Geotechnology employed for the identification of heat islands can be included as an area of geographic knowledge that enable space observation, being used mainly for studies of the Earth's surface targets. Remote sensing is a technique inserted on the shaft of the GeoTechnologies, which becomes indispensable for imaging the surface, measuring the thermal channel through the temperature of the atmosphere near the surface. This technical type collaborates to measure the surface temperature, as well as the formation of heat islands. In this context, this work had as main objective to conduct a methodological roadmap for obtaining surface temperature through remote sensing. For this statistical calculations were performed and mathematicians, as well as the processing of Landsat satellite images 5 and 8 in the Idrisi® software (Jungle 17.0). The area of application of the methodology is the city of Uberlândia – MG, and the years were 2004 and 2014, due to the availability of data and the possibility of detection and comparison of evolution. This study shows a step to step on the technique of measuring the surface temperature employed, which can be considered satisfactory, by enabling the identification of heat islands.*

**Keywords:** *Surface Temperature, Remote Sensing, Heat Islands.*

---

## INTRODUÇÃO

As ilhas de calor são fenômenos comuns nas áreas urbanizadas. A significativa aglomeração urbana (atividade industrial, construção civil, concreto, asfalto, etc) contribui para a elevação das temperaturas da superfície e da atmosfera próxima a ela, fazendo com que este fenômeno esteja presente, em praticamente, todas as cidades, gerando microclimas urbanos.

Com a criação e o lançamento de vários satélites, nas últimas décadas, muitos dos estudos de clima urbano têm sido realizados com base no sensoriamento remoto. O uso de tais técnicas tem colaborado para dar notoriedade aos estudos das ilhas de calor e anomalias térmicas (BARBOSA & VECCHIA, 2009). As geotecnologias, empregadas para a identificação das ilhas de calor, são compreendidas como uma área do conhecimento geográfico que possibilitam a observação espacial de alvos da superfície terrestre.

A maioria dos sensores remotos registra a radiação eletromagnética refletida ou emitida pelos alvos, mas dependendo do objetivo da aplicação, podem registrar também outros tipos de energia como a termal, por exemplo (NISHIDA, 1998). Esta última possibilita mensurar a temperatura de superfície obtida em uma camada mais alta da atmosfera, diferente da temperatura do ar, a qual pode ser mensurada por meio dos abrigos meteorológicos e transectos móveis em superfície.

O fenômeno das ilhas de calor urbanas está intrinsecamente ligado à forma como os seres humanos constroem as cidades, com materiais que absorvem e conservam a radiação solar, contribuindo para a elevação de temperaturas em superfície e no ar próximo a ela. Desse modo, fazem-se necessários estudos para compreender em que medidas as atividades humanas estão interferindo na dinâmica atmosférica e quais consequências estas podem ter no clima urbano. Com as geotecnologias e o sensoriamento remoto, este tipo de pesquisa passou a ser facilmente realizada.

O objetivo deste trabalho é apresentar um procedimento metodológico que pode ser empregado na identificação da temperatura de superfície e ilhas de calor por meio do sensoriamento remoto, para tanto, recorreu-se, como referência teórica metodológica, aos

seguintes autores: Oke; Voogt (2003); Bias; Baptista; Lombardo (2003); Coltri (2006); Mendonça (1994), Nascimento (2011), Ortiz; Amorim (2012). Ressaltando que as metodologias propostas pelos autores foram adaptadas para atender às especificidades da área de pesquisa.

Com isso, pretendeu-se chegar a um diagnóstico sobre o campo térmico de superfície da cidade de Uberlândia para os anos de 2004 e 2014, tendo por base a escala microclimática. Este período temporal foi escolhido devido à disponibilidade de informações e como forma de monitorar o comportamento das ilhas de calor ao longo do tempo na referida cidade.

### **Abordagem teórica sobre a temperatura de superfície**

O sensoriamento remoto é uma técnica indispensável para imagear a superfície terrestre. Os conceitos sobre este, estão ligados ao processo de interação entre a radiação eletromagnética, considerada a peça fundamental das técnicas de sensoriamento remoto e os diferentes objetos dos quais se pretende extrair alguma informação (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

Com a diversidade de satélites lançados nas últimas décadas, parte dos estudos de clima urbano tem base no sensoriamento remoto. O uso de tais técnicas colaborou para dar notoriedade aos estudos das ilhas de calor e anomalias térmicas (BARBOSA & VECCHIA, 2007).

A banda do infravermelho termal, a qual é utilizada nos estudos do campo térmico (incluindo nesta pesquisa), registra os comprimentos de onda no intervalo de 3,0 - 20,0  $\mu\text{m}$  do espectro eletromagnético, “a energia desta porção é proveniente de vibrações moleculares decorrentes da temperatura dos corpos” (NOVO, 2008, p. 41).

Cabe salientar que esta pesquisa visa identificar as ilhas de calor na área urbana de Uberlândia – MG - mediante a análise da temperatura de uma camada da atmosfera próxima à superfície, um pouco mais elevada do que aquela onde é medida a temperatura do ar, pelos abrigos meteorológicos e transectos móveis em superfície.

A temperatura aparente de superfície corresponde, de acordo com as propriedades da radiação termodinâmica, ao balanço energético da superfície, nestes estão incluídas a umidade superficial, a admissão térmica, a emissividade e a entrada de radiação na superfície e atmosfera (OKE; VOOGT, 2003).

De acordo com Coltri (2006), os sensores que possuem a banda termal, mensuram a temperatura aparente de superfície, com valor mais elevado, se comparado com a temperatura do ar. Assim, “os dados das imagens de satélite do infravermelho termal são capazes de fornecer temperatura qualitativa da cidade, ou seja, o desenho da temperatura local” (2006, p. 101).

Para compreender o fenômeno das ilhas de calor por meio das imagens de satélites é necessário relembrar a Lei de Plank, que preconiza que “a emitância espectral de um corpo negro é uma função de sua temperatura e da frequência da radiação, podendo ser expressa matematicamente (...)” (VIANELLO; ALVES, 1991, p.158). Bias; Batista; Lombardo (2003) ressaltam que a captação dos fótons emitidos por um determinado objeto proporciona a avaliação de sua temperatura.

O albedo contribui para a identificação da temperatura de superfície, sendo ele “a relação da energia refletida sobre a incidente” (FERREIRA, 2006, p.19.), ou seja, é a “capacidade que os corpos tem de refletir a radiação solar que incide sobre eles (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2006, p.35). Vale ressaltar que “o albedo da maior parte da superfície varia com o comprimento de onda e com o ângulo de incidência dos raios luminosos” (AYOADE, 2006, p. 27).

Os diferentes padrões de refletividade dos objetos da superfície ocorrem de acordo com a cor e constituição do corpo. Neste sentido, Saydelles (2005) e Ayoade (2006) destacam que objetos mais claros e secos correspondem a maiores albedos, por sua vez, objetos/corpos escuros e úmidos absorvem mais radiação e refletem menos.

Os materiais empregados na construção civil possuem albedos diferentes, variando com as características da cor e matéria de cada objeto, com isso, é possível identificar quais objetos refletem maior radiação solar na superfície das cidades e quais refletem menos.

Esses dados podem dar suporte para uma nova reestruturação da malha urbana, visando à implantação e uso de objetos/elementos/materiais, com menores valores de albedo, consequentemente, menos incidência de radiação refletida na superfície e maior conforto térmico.

### **Estudos sobre ilhas de calor através do sensoriamento remoto no Brasil**

No Brasil, as pesquisas sobre ilhas de calor, tendo por base o sensoriamento remoto, iniciaram-se com os trabalhos de Lombardo em 1985, que se valeu das imagens do satélite NOAA – *National Oceanic and Atmospheric Administration* para encontrar a temperatura térmica e do Landsat para mapear os usos do solo da metrópole Paulista.

Mendonça, em 1995, desenvolveu sua tese de doutorado sobre a cidade de Londrina - PR, recorrendo a imagens do satélite NOAA/AVHRR para a identificação dos campos térmicos urbanos e imagens do satélite Landsat para a cobertura do solo e temperatura dos materiais urbanos. Amorim (2000) pesquisou o clima urbano de Presidente Prudente - SP, buscando auxílio com o mesmo satélite, para visualização do fenômeno das ilhas de calor.

Estudos dessa temática também foram realizados por Bias; Baptista; Lombardo (2003) servindo-se das imagens do satélite Landsat - TM 5, para a identificação de ilhas de calor na cidade

de Sobradinho - DF. Baptista (2002) também se dedicou a estudos com as mesmas imagens do satélite, nos anos de 1984 e 2001, para o Distrito Federal.

Nas pesquisas de Saydelles (2006), efetuadas em Santa Maria – RS com imagens do satélite Landsat 7, foram encontradas formações de ilhas de calor urbanas de elevada magnitude, bem como amplitude térmica centro-periferia de 10°C às 12h.

Coltri (2006) colaborou com a pesquisa no município de Piracicaba - SP, pela qual identificou as ilhas de calor, sua sazonalidade, intensidade e morfologia, comparando-as à cobertura do solo existente por meio dos dados orbitais do Landsat 7. Nascimento (2011) realizou uma análise multitemporal do fenômeno de ilhas de calor no município de Goiânia - GO (1986/2010), por meio do satélite Landsat 5.

Os estudos mencionados permitem notar que o satélite Landsat foi o mais utilizado nas pesquisas para o estudo do campo térmico climático urbano no Brasil, isso em virtude da fácil acessibilidade às imagens que são distribuídas gratuitamente. Nesta pesquisa não poderia ser diferente, aqui também serão utilizadas imagens dos satélites Landsat 5 e 8, devido a presença da banda infravermelha termal, fundamental para o desenvolvimento da análise.

A série Landsat iniciou-se na década de 1960, desenvolvida pela Agência Espacial Americana - *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), com o objetivo de observar e identificar os recursos naturais terrestres (EMBRAPA-MONITORAMENTO POR SATÉLITE, 2013; ROSA, 2007).

Os satélites Landsat são um marco importante para o sensoriamento remoto no Brasil e no mundo, sobre o qual inúmeras pesquisas com foco notadamente ambiental surgiram. São mais de quarenta anos obtendo imagens espaciais, as quais são disponibilizadas gratuitamente no Brasil e podem ser utilizadas livremente em pesquisas como esta, sobre as ilhas de calor, por exemplo.

O geoprocessamento, o sensoriamento remoto e os estudos ambientais formam parceria há muito tempo nas pesquisas de cunho ambiental e estas pesquisas só tendem a se desenvolver, em termos de qualidade e inovação.

### **Procedimentos metodológicos para obtenção da temperatura de superfície (estudo de caso em Uberlândia - MG)**

Os procedimentos metodológicos adotados para a mensuração da temperatura de superfície na cidade de Uberlândia - MG nos anos de 2004 e 2014 pautaram-se na aquisição e o tratamento das imagens dos satélites Landsat 5 e 8, com seus respectivos sensores TM, OLI e TIRS. Na aplicação de fórmulas e procedimentos no software Idrisi® (Selva 17.0) para a identificação do

campo térmico da área de estudos e das ilhas de calor e na correção atmosférica, a fim de constatar imagens com menor interferência de partículas da atmosfera.

Todos estes passos citados acima, estão especificados de forma minuciosa nos tópicos que se seguem.

### *Aquisição das Imagens*

Para a realização desta pesquisa, adotaram-se as imagens dos satélites Landsat 5 e 8, pelo fato desses dois satélites apresentarem a banda termal e atenderem ao recorte temporal aqui delimitado.

A partir disto, foram gerados mapas de temperatura de superfície do ano de 2004, baseados nas imagens da banda termal do satélite Landsat 5 (banda 6), e outro mapa, em 2014, recorrendo ao Landsat 8 (banda 10).

As imagens do Landsat 5 foram adquiridas através da homepage<sup>1</sup> do USGS (*U.S. Geological Survey*) de onde foram importadas as bandas 3, 4, 5 e 6. Do mesmo site, foram extraídas as imagens do Landsat 8 nas suas bandas 3, 4, 5 e 10. Na Tabela 01, encontram-se as informações sobre a data da passagem, ponto e órbitas das imagens utilizadas.

Tabela 01: Imagens utilizadas do satélite Landsat 5 e 8

<b>Sensor/Satélite</b>	<b>Órbitas/Pontos (O/P)</b>	<b>Datas de passagem/Satélite</b>	<b>Resolução Radiométrica/ imagem</b>
<b>TM/Landsat 5</b>	221/73	18/06/2004	8 bits
<b><u>OLI e TIRS/ Landsat 8</u></b>	221/73	30/06/2014	12 bits

Org:GÔMIDE (2015).

As imagens escolhidas datam do mês de junho (outono/inverno), em razão das condições atmosféricas mais estáveis<sup>2</sup>, sem significativa quantidade de nuvens, poeira, entre outros fatores, colaborando, assim, para um mapeamento mais acurado da realidade, no que se refere ao campo termal e a cobertura do solo (NASCIMENTO, 2010).

<sup>1</sup> <http://glovis.usgs.gov/>

<sup>2</sup> Apesar da escolha do mês com boas condições atmosféricas, foi realizado a correção atmosférica descrita adiante.

Para utilizar estas imagens foram analisadas as características meteorológicas das variáveis de temperatura, precipitação, umidade relativa do ar e pressão atmosférica, a fim de assegurar que não houve anomalia ou alteração no padrão das condições descritas no momento da tomada da imagem. Este procedimento é necessário para se constatar que a precipitação e os outros elementos não causaram interferência na reflectância e no albedo dos alvos no mapeamento do campo térmico.

Para isso foram analisados os três dias anteriores às datas escolhidas e um dia após, verificando que não ocorreu precipitação nos dias anteriores e após as datas selecionadas, e a temperatura não apresentou grandes variações, assim como os demais parâmetros. Isso é feito para assegurar que não ocorram influências e interferências no solo e, conseqüentemente, na temperatura, para a data escolhida.

Para caracterizar as condições meteorológicas das datas selecionadas, criou-se a Tabela 02, com dados cedidos pela estação meteorológica da Universidade Federal de Uberlândia, localizada no perímetro urbano de Uberlândia-MG. Vale ressaltar que esses dados meteorológicos correspondem aos dias em que se obtiveram as imagens no horário das 15 horas.

Tabela 02: Condições meteorológicas das datas escolhidas para os mapeamentos

<b>Datas das imagens</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Precipitação</b>	<b>Umidade relativa</b>	<b>Pressão</b>	<b>Altitude</b>	<b>Vel. vento</b>
<b>18/06/2004</b>	24.4 °C	0.0	53	928	869 m.	Sem dados
<b>30/06/2014</b>	22.4 °C	0.0	54	920	869 m.	1.8 m/s Dir.163°

Fonte: Estação Meteorológica da Universidade Federal de Uberlândia (2014).  
Org:GOMIDE (2015).

De acordo com os dados apresentados na Tabela 02, verificou-se que ocorreu uma variação de 2.0 °C na temperatura, comparando os dois dias, na umidade e na pressão encontram-se valores sem significativas variações, haja vista que a precipitação não ocorreu em nenhuma das datas.

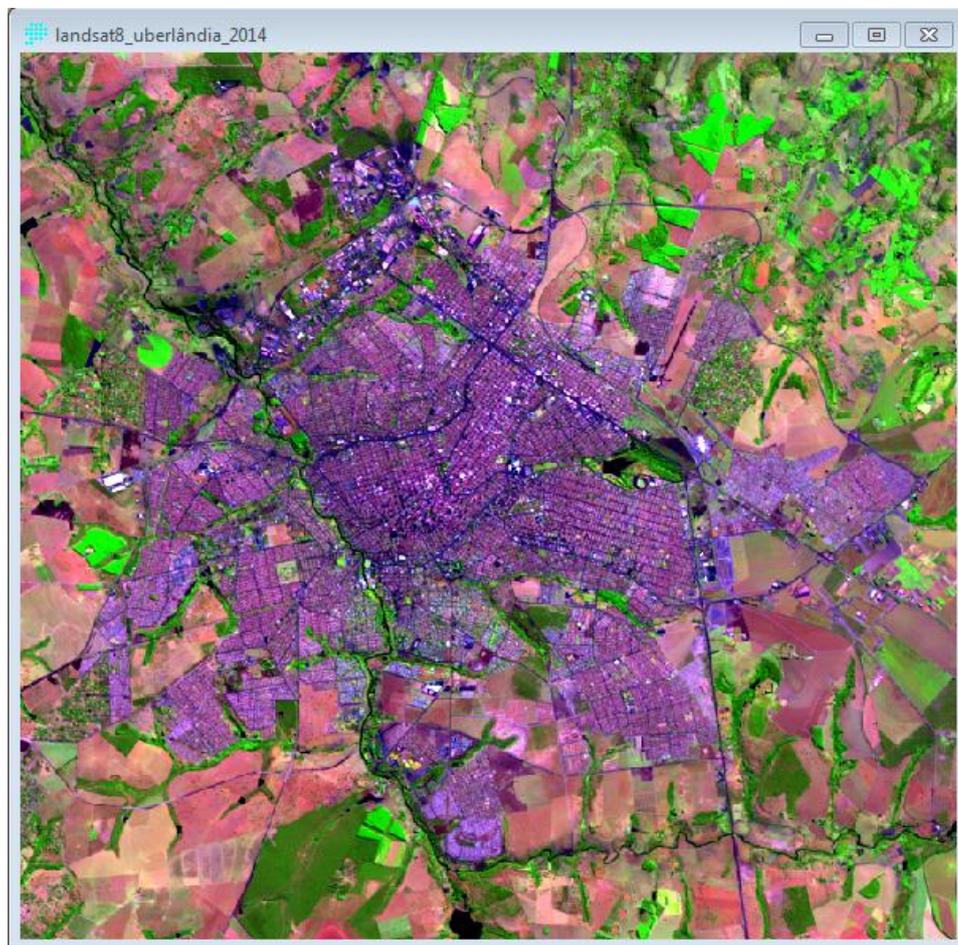
#### *Tratamento das Imagens*

Após a coleta das cenas do satélite na homepage da USGS, iniciou-se seu tratamento no software Idrisi® 17.0, realizando a importação das bandas 3, 4, 5 e 6 e as bandas 3, 4, 5 e 10 respectivamente do Landsat 5 e 8, através do *import – Geotiff/ tiff*. Uma vez importadas as imagens, fez-se a composição colorida (falsa cor) R,G,B, correspondendo à banda 5 o vermelho, à 4 o verde e à 3 o azul do Landsat 5. Para o Landsat 8 utilizou-se a banda 4 para o azul, e à 5 para o verde e à 6 para o vermelho.

Para este procedimento de composição colorida, foi usada a ferramenta *Image Processing – Enhancement – Composite*, em que é necessário inserir as três bandas para a geração de uma imagem com a composição colorida de falsa cor. Após este procedimento, a mesma foi recortada por meio da ferramenta *Reformat- Window*.

No entanto, para a escolha do recorte, lembrando que o foco deste trabalho se refere à zona urbana de Uberlândia, o polígono de recorte da área de trabalho não se ateve apenas ao setor correspondente ao limite urbano. A imagem utilizada e recortada abrangeu a cidade e o meio rural contido em seu entorno. Isto principalmente, para realizar a comparação da temperatura entre os dois meios citados, atento ao fato de que o comportamento das ilhas de calor não sofre interferência apenas da cidade por si só, mas de outros elementos, como o meio natural circunvizinho (SAYDELLES, 2005). A área escolhida para se trabalhar segue identificada na Figura 01.

Figura 01: Área de estudo – Uberlândia/MG em 2014



Fonte: USGS<sup>3</sup> (2015).

---

<sup>3</sup> USGS (U.S. Geological Survey) adquirida em sua homepage <http://glovis.usgs.gov/>.

Por fim, as imagens foram inseridas no software ArcGis 10.0 para efetuar o georreferenciamento. Para tanto, selecionaram-se pontos de controle distribuídos em toda a imagem, os quais foram baseados na carta topográfica de Uberlândia (SE. 22-Z-B-VI), de 1984, com escala de 1:100.000, em formato digital, sendo base para o georreferenciamento das imagens obtidas do satélite Landsat. A malha urbana utilizada foi cedida pela Prefeitura Municipal de Uberlândia, já georreferenciada.

#### *Processamento do Campo Térmico*

Para a análise do campo térmico foi seguida a metodologia utilizada por Amorim, Dubreuil e Sant'ana Neto, (2009). Para este procedimento, utilizou-se a banda 6 do Landsat 5 e a banda 10 do Landsat 8, e com as imagens já tratadas (recortadas, mosaicadas e georreferenciadas), foram importadas novamente para o software Idrisi® 17.0.

O cálculo para identificar a temperatura de superfície constitui em método empregado na conversão dos valores digitais dos níveis de cinza (DN) das imagens do infravermelho termal em radiância absoluta, posteriormente, a reflectância é obtida em temperatura em Kelvin e, finalmente, em Celsius (NASCIMENTO, 2010; COLTRI, 2006; COELHO; CORREA, 2013). Vale lembrar que o valor ou número digital (DN) é encontrado em cada pixel de uma imagem, correspondendo, na variação dos tons de cinza existentes, a 256 para o Landsat 5 (COLTRI, 2006) e a 4.096 variações de cinza para o Landsat 8. As equações e cálculos empregados estão disponibilizadas no site do Serviço Geológico Americano<sup>4</sup> já referenciado.

Para melhor compreensão dos conceitos de grandezas radiométricas utilizados pelo sensoriamento remoto e abordados nesta pesquisa, segue a Tabela 03 com os símbolos, unidade de medida e conceito dos padrões de radiância; emissividade; reflectância, transmitância e absortância.

Dumke (2007, p. 246) explica a sequência a seguir para obter a temperatura de superfície, a mesma de que se valeu para este trabalho,

- Os valores de níveis de cinza (NC) da imagem são, primeiro, convertidos para radiância espectral, por meio dos parâmetros de radiância calibração absoluta de pós-lançamento do sensor TM. Os valores de radiância espectral obtidos são, então, transformados em reflectância aparente;
- A estimativa das temperaturas da superfície terrestre, em graus Kelvin, por radiometria, baseia-se nas Leis de Stefan-Boltzman e Lei de Plank. Com base nos valores estimados de emissividade obtêm-se a temperatura da superfície mediante a inversão da equação de Plank para corpos radiadores seletivos;

---

<sup>4</sup> Cálculo de radiância disponibilizadas na homepage: [http://landsat.usgs.gov/how\\_is\\_radiance\\_calculated.php](http://landsat.usgs.gov/how_is_radiance_calculated.php).

- Gera-se a grade de temperatura da superfície mediante a transformação de graus Kelvin para graus Celsius (°C), subtraindo os valores de T de 273,16 (DUMKE, 2007, p. 246).

Tabela 03: Grandezas radiométricas

Grandeza	Símbolo	Unidade de Medida	Conceito
<b>Radiância</b>	L	Watt por esferorradiano, por metro quadrado ( $W sr^{-1}m^{-2}$ ).	Intensidade radiante por unidade de área normal à fonte, numa dada direção.
<b>Emissividade</b>	$\epsilon$	Adimensional	Razão entre a excitância de um material e a excitância do corpo negro (bb).
<b>Reflectância</b>	$\rho$	Adimensional	Razão entre o fluxo refletido e o fluxo incidente sobre a superfície
<b>Transmitância</b>	$\rho$	Adimensional	Razão entre o fluxo transmitido e o fluxo incidente sobre a superfície.
<b>Absortância</b>	$\alpha$	Adimensional	Razão entre o fluxo absorvido e o fluxo incidente sobre a superfície

Fonte: SLATER, 1980 apud NOVO, 2008.  
Org: GOMIDE (2016)

De acordo com a Lei de Plank, quanto maior a temperatura de um comprimento de onda, maior será o volume de energia emitida por esse corpo negro (COLTRI, 2006, BAPTISTA, 2003). Como afirmam Vianello e Alves (1991, p.158), “a emitância espectral de um corpo negro é uma função de sua temperatura e da frequência da radiação, podendo ser expressa matematicamente [...]”.

A equação para a conversão dos níveis de cinza para radiância pode ser expressa da seguinte maneira:

$$L\lambda = ML * Qcal + AL$$

Onde:

**L $\lambda$**  - Radiância Espectral do sensor de abertura em Watt/(m<sup>2</sup>sr $\mu$ m)

**ML** - Fator multiplicativo de redimensionamento da banda thermal

**AL** - Fator de redimensionamento aditivo específico da banda thermal

**Qcal** - Valor quantizado calibrado pelo pixel em DN = Imagem banda thermal

Um novo projeto foi criado no Idrisi Selva 17 e as bandas termais importadas, a primeira equação para a conversão dos níveis de cinza para radiância foi aplicada com o auxílio da calculadora *Image Calculator*. A equação para se chegar ao valor de radiância também pode ser expressa da seguinte maneira:

$$L_{\lambda} = ((L_{\max \lambda} - L_{\min \lambda}) / (QCALMAX - QCALMIN)) * (QCAL - QCALMIN) + L_{\min \lambda}$$

Onde:

**$L_{\lambda}$**  - Radiância espectral em sensor de abertura de em Watts/(m<sup>2</sup>srμm)

**QCAL** - Valor de pixel quantizado e calibrado em DN

**$L_{\min \lambda}$**  - A radiância espectral que é dimensionado para QCALMIN em Watts

**$L_{\max \lambda}$**  - A Radiância espectral que é dimensionado para QCALMAX

**QCALMIN** - O valor mínimo do pixel quantizado e calibrado (correspondente a  $L_{\min \lambda}$ ), em DN

**QCALMAX** - O valor máximo quantizado e calibrado de pixel (correspondente a  $L_{\max \lambda}$ ), em DN

Para o processamento da imagem Landsat 5 de 18 de Junho de 2004, empregaram-se os valores, expressos na fórmula:

$$L_{\lambda} = ((15.302-1.237)/(255.0-1.0))*(banda 6-1.0)+1.237$$

Esses valores podem variar, dependendo do satélite e/ou sensor adotados, data de imageamento, dados obtidos nas imagens, entre outros (DUMKE, 2007). Para o Landsat 5 e Landsat 8, foram obtidos os números utilizados na equação que segue, por meio do arquivo de *metadados* em que é feito o download juntamente com a imagem no portal da USGS, lembrando que a cena trabalhada com o L8 foi dia 30 de junho de 2014:

$$L_{\lambda} = ((22.001- 0.100)/(65535.0 - 1.0)) * (banda 10 - 1.0) + 0.100$$

Chegado ao valor de radiância, por meio da fórmula anteriormente expressa, pode-se partir em busca da temperatura de superfície que será expressa em Kelvin, para tanto, pode-se valer da seguinte equação:

$$T = \frac{K2}{\ln \left( \frac{K1}{L_{\lambda}} + 1 \right)}$$

Onde:

**T** = temperatura efetiva registada pelo sensor do satélite em Kelvin;

**K2** = constante de calibração 2,

**K1** = constante de calibração 1,

**L** = radiância espectral em Watts/( m<sup>2</sup> sr μm)

Esta equação também pode ser expressa da seguinte maneira:

$$\mathbf{K2 / \ln(k1/[imagem])+1}$$

Onde:

**K2 e K1** - As constantes do satélite

**Ln** - Logaritmo

Os valores das constantes K1 e K2 do satélite Landsat 5 são encontrados no site do USGS<sup>5</sup>, sendo elas, respectivamente, 607.76 e 1260.56. As constantes do satélite Landsat 8, estão disponíveis no arquivo *metadados* que acompanha a imagem quando adquirida, são elas K1 = 774.89; K2 = 1321.08. Diante disto, seguem os valores utilizados:

Para o Landsat 5      1260.56/ln(607.76/imagem)+1

Para o Landsat 8      1321.08/ln(774.89/[imagem])+1

Por fim, para se obter a temperatura em graus Celsius, torna-se necessário subtrair o valor de -273.15 dos valores da imagem anteriormente gerada com a temperatura na escala de Kelvin, para, por fim, chegar ao resultado da temperatura de superfície (atmosférica) em Celsius. Porém os resultados obtidos não se mostram confiáveis sem a realização da correção atmosférica nas imagens, o que será melhor explicado no tópico que segue.

#### *Correção Atmosférica*

A atmosfera pode causar interferência nas imagens de satélite, sobretudo, a diferenciação dos alvos em superfície. Nota-se que “os principais efeitos da atmosfera sobre as imagens (...) são

---

<sup>5</sup> Site da USGS onde é disponibilizado as constantes do satélite Landsat 5  
<<http://Landsathandbook.gsfc.nasa.gov>>

a redução do contraste entre os alvos, (...) e a não separação dos alvos que apresentam reflectância muito próximas” (ROSA, 2007, p.202).

Diante disto, é necessário realizar a correção atmosférica, especialmente quando se deseja obter informações de reflectância, emitância ou retroespalhamento, para modelos empíricos de determinados objetos, e quando há a comparação de imagens em diferentes datas (NOVO, 2011).

De acordo com o exposto, fica clara a necessidade da correção atmosférica para este trabalho, cujo objetivo é encontrar a temperatura de superfície. Tal fato é mais proeminente em função de se objetivar em analisar duas diferentes datas de imagens.

Steinke (2004, p. 56) salienta que, caso a correção não seja efetivada, pode ocorrer “contestação dos valores de incremento de temperatura encontrados”. Relatos de Voogt e Oke (1998) *apud* Ummus et al. (2008) apontam que a não utilização desta, pode gerar erros de 4 a 7° C na temperatura obtida.

A correção para a reflectância absoluta depende de dados de calibração registrados pelo satélite em órbita, como dados de transferência radiativa, emissividade de superfície, entre outros (NOVO, 2011; COLL et al., 2010).

Para que seja possível a obtenção desses dados, foi criado um modelo computacional de transferência atmosférica pela NASA, denominado *Atmospheric Correction Parameter Calculator*<sup>6</sup>, empregado neste trabalho para obter os dados necessários para a correção atmosférica.

Uma peculiaridade sobre este modelo computacional, é que só realiza o processamento dos dados do ano de 2000 em diante, e isto foi fator prioritário para a escolha do período temporal que este trabalho abrange (2004 e 2014), não sendo possível desenvolver estudos com datas anteriores ao ano de 2000 com este método de correção atmosférica.

Esse programa computacional consegue gerar dados de transferência radiativa atmosférica para as bandas termais dos sensores TM, ETM+ e TIRS, recorrendo à tecnologia MODTRAN-4, a partir da interpolação com padrões atmosféricos relacionados aos dados coletados no local que se deseja, constando características de superfície do dia como: data; hora; local; latitude; longitude; altitude; temperatura; pressão; umidade relativa e estação vigente (COLL et al., 2010).

Os dados referentes à hora da passagem do satélite no Landsat 5 e 8 são obtidos mediante o arquivo *metadados*, que vem compactado juntamente com as bandas baixadas da imagem que se deseja. Os outros dados necessários são os meteorológicos (Tabela 04), precisando de uma estação na área de estudo, todos os dados solicitados neste âmbito devem ser preenchidos. Na tabela 04 consta todos os valores empregados e inseridos no programa *Atmospheric Correction Parameter Calculator*.

---

<sup>6</sup> Disponibilizado na homepage <http://atmcorr.gsfc.nasa.gov>.

Tabela 04: Atributos meteorológicos e físicos da área de estudo utilizados na calculadora de correção atmosférica da NASA - *Atmospheric Correction Parameter Calculator*

Satélite	Data	Hora	Lat/Lon g	Alt. Km	Temp.	Umidade Relativa	Pressão
<b>Landsat 5</b>	18/06/2004	12:56	-18.5501 -48.1518	0,86900	24,0	53	928
<b>Landsat 8</b>	30/06/2014	13:15	-18.5501 -48.1518	0,86900	22.4	54	920

Org: GOMIDE (2015)

Os dados gerados pelo programa *Atmospheric Correction Parameter Calculator* foram: transmissão atmosférica, radiância de resurgência e subsidência, que são necessários para realizar a correção atmosférica da imagem.

Os valores resultantes da interpolação efetuada pela calculadora de correção atmosférica, para a imagem de 18/06/2004 - Landsat 5, foram:

- Band average atmospheric transmission: 0,76
- Effective bandpass upwelling radiance: 1,85W / m<sup>2</sup> / sr / um
- Effective bandpass downwelling radiance: 2,97 W / m<sup>2</sup> / sr / um

E para a imagem de 30/06/2014 - Landsat 8, foram:

- Band average atmospheric transmission: 0,80
- Effective bandpass upwelling radiance: 1,55 W / m<sup>2</sup> / sr / um
- Effective bandpass downwelling radiance: 2,56 W / m<sup>2</sup> / sr / um

Para realizar a correção atmosférica da banda termal, é imprescindível inserir os dados apresentados na seguinte equação (COLL et al., 2010).

$$CV_{R2} = \frac{CV_{R1} - L \uparrow}{\epsilon \tau} - \frac{1 - \epsilon}{\epsilon} L \downarrow$$

Onde:

**CVR2** – is the atmospherically corrected cell value as radiance

**CVR1** - is the cell value as radiance from section 1

**L ↑** - is upwelling radiance

**L ↓** - is downwelling radiance

$\tau$  - is a transmittance

$\epsilon$  - is emissivity (typically 0,95)

Esta fórmula também pode ser expressa no software Idrisi Selva® da seguinte maneira:

$$\mathbf{((Imagem\ feita\ anteriormente\ -\ UpRadiance)\ / (Emissividade\ *\ Transmitância))\ -\ (0.05263\ *\ DownRadiance)}$$

Inserindo os dados adquiridos da interpolação realizada pela calculadora de correção atmosférica, na equação acima, os valores para o cálculo de cada imagem para o fim do processo de correção atmosférica estão expressos em:

$$\text{Landsat 5: } \mathbf{((imagem - 1.85) / (0.95*0.76)) - (0.05263 * 2.97)}$$

$$\text{Landsat 8: } \mathbf{((imagem - 1.55) / (0.95 * 0.80)) - (0.05263 * 2.56)}$$

Ressalta-se que é preciso chegar ao valor de radiância e, só após realizar a correção atmosférica, calcular a temperatura em Kelvin e, finalmente, converter em Celsius.

### **Resultado da temperatura de superfície em Uberlândia-MG**

Antes de expormos os resultados obtidos por meio desta pesquisa vale a pena apresentar a Figura 02 onde estão demonstrados todos os Bairros da área urbana de Uberlândia referenciados por números. Este mapa é essencial para a identificação da localização das ilhas de calor na cidade

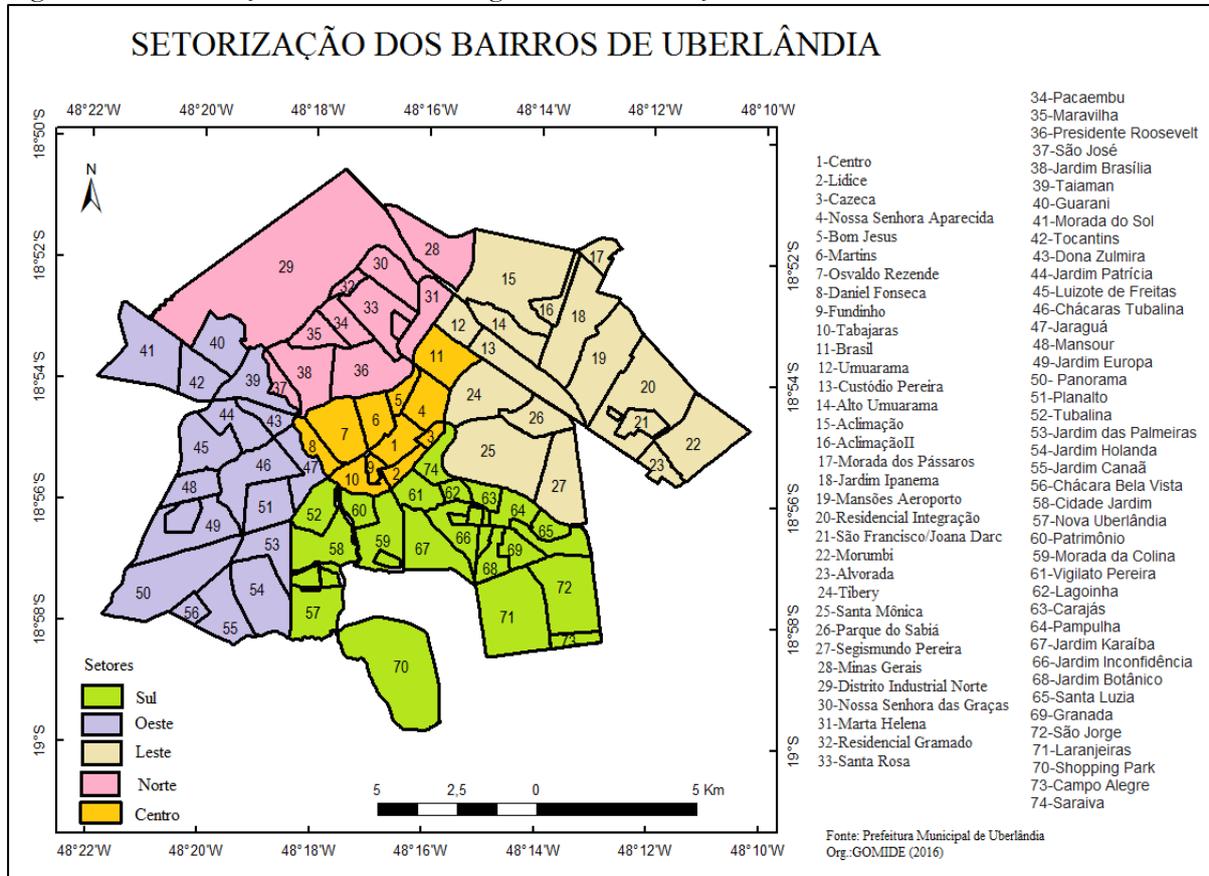
Todos os bairros da cidade encontram-se assinalados numericamente, os nomes dos mesmos respectivamente com sua numeração nos mapas de temperatura estão correspondendo a Figura 02. Como o principal objetivo deste trabalho foi propor a metodologia para se mensurar temperatura de superfície, não foi espacializada a discussão dos resultados por bairros, mas faz-se necessário que os mesmos sejam visualizados para compreender a distribuição da temperatura de superfície.

*Ano de 2004*

Em Uberlândia, no ano de 2004 foram encontrados locais com temperaturas entre 32,1 e 38.0 °C, que foram caracterizados, neste trabalho, como ilhas de calor. Isto ocorreu em virtude da diferença de temperatura que estas representam em relação ao seu entorno, conforme o conceito

de ilhas de calor ressaltado por Gartland (2010), relatando que as ilhas de calor são caracterizadas pela concentração de temperatura mais quentes em determinado local, se comparado com sua área circunvizinha, formando uma espécie de “oásis inverso”.

Figura 02: Delimitação dos bairros integrados e setorização da cidade de Uberlândia



Fonte: Prefeitura Municipal de Uberlândia (2016).

A legenda foi dividida com temperaturas menores de 20.0 °C a máxima alcançada no dia, agrupados em classes de 3 em 3°C, separados por cores diferentes. As maiores temperaturas encontrados, classificados como ilhas de calor, ocorreram, principalmente, no perímetro urbano na porção oeste e sul (Figura 03).

Os valores de temperatura de superfície predominantes na cidade variaram, de 26.1 a 32.0 °C. Na Figura 02, nota-se que o perímetro rural (mesmo não sendo foco desta pesquisa) apresentou, na data 18/06/2004, temperatura predominante entre 26.1 a 29.0 °C, sendo possível relacionar as baixas temperaturas com as zonas de vegetação e as altas com os solos expostos.

O solo exposto ou nu possui albedo de 7 a 20%, tratam-se de superfícies extremamente seca e clara (se comparada a floresta ou vegetação densa) emitindo maior radiação. O solo nu, ou

áreas sem vegetação, ocorre devido, principalmente, à colheita de culturas (quando encontrados na zona rural), há também os solos que possuem pouca presença (parcial) de vegetação, como a pastagem degradada com pouca ocorrência do capim ou braquiária, ou loteamentos vazios no meio urbano, ambos possuindo fina camada de cobertura vegetal.

Em decorrência do período de aquisição das imagens de satélite ser no inverno, precisamente no mês de junho, o solo e a vegetação se encontram secos, devido à estiagem. Se o solo estiver coberto por cultivos agrícolas secos ou até mesmo grama seca, os índices de albedo neste tipo de superfície aumentam para 25%. As principais culturas produzidas na zona rural de Uberlândia são, especialmente, soja, sorgo e milho, que tem safra no período do mês de abril a dezembro.

Temperaturas com menores valores, de 20.0 a 26.0 °C, visualizam-se em poucos locais na zona urbana, como na porção leste, que se refere ao parque existente na cidade e em outros fragmentos próximos ao percurso do rio Uberabinha na zona norte e sul (Figura 02).

Foram encontradas áreas brancas em meio a carta de temperatura de superfície, localizadas ao norte da malha urbana (decorrente do uso específico de um material de construção empregado em telhados, tratando-se da área industrial da cidade) e a leste no perímetro rural

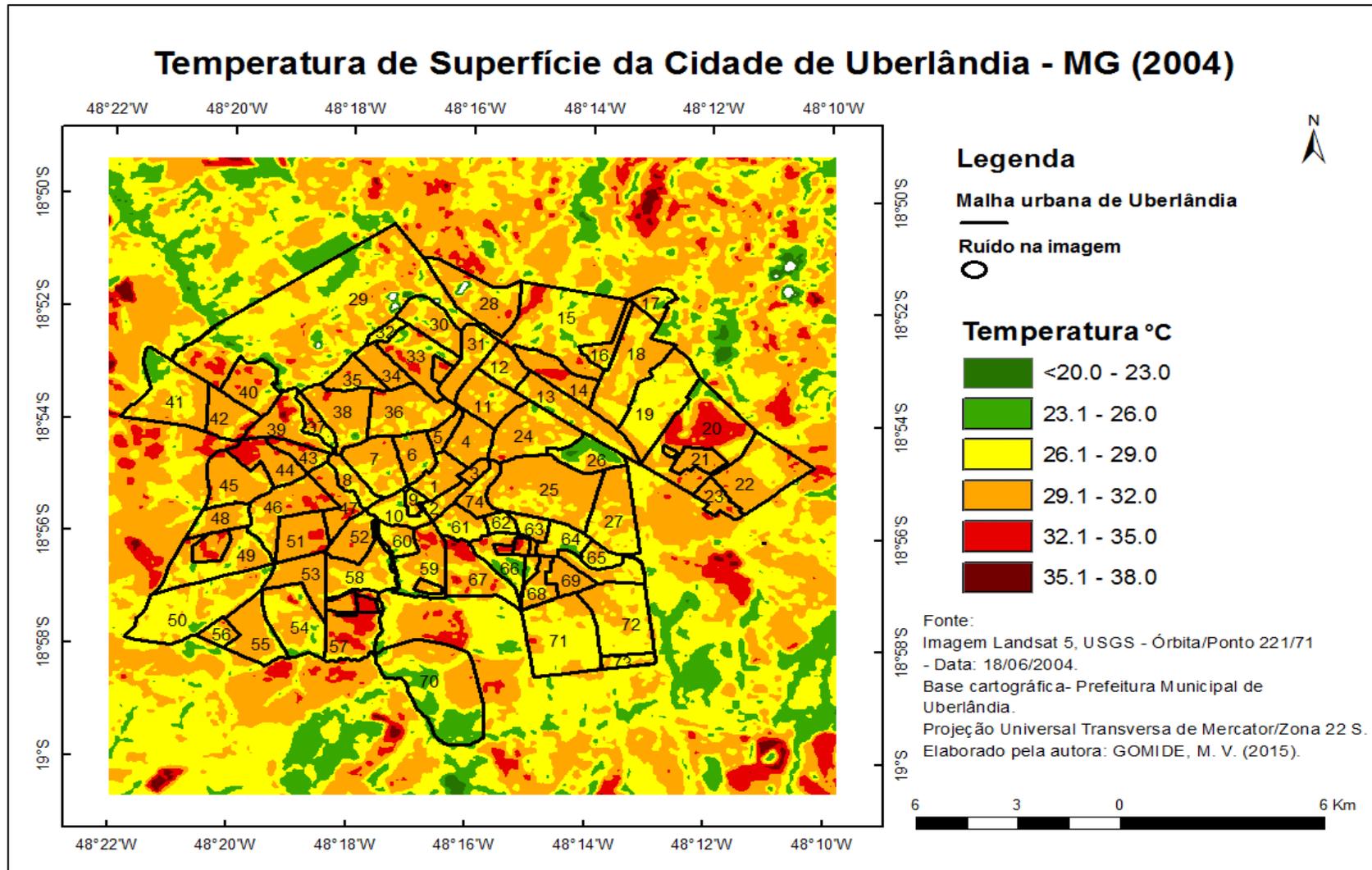
#### *Ano de 2014*

Os resultados mostram (Figura 04) temperaturas de superfície que variam de 20.0 a 39.0°C. Se comparado ao ano de 2004, foi registrado um aumento na média de 1.0°C para o ano de 2014.

Para o ano de 2014, estipularam-se como ilhas de calor, as temperaturas entre 32.1 a 39.0 °C (Figura 04). O predomínio das ilhas de calor é notório na faixa oeste da zona urbano e rural, também se manifestando no setor sul da área urbana. Em sua grande maioria, estas são provocadas devido ao solo exposto ou com vegetação parcial, tanto na área urbana quanto rural.

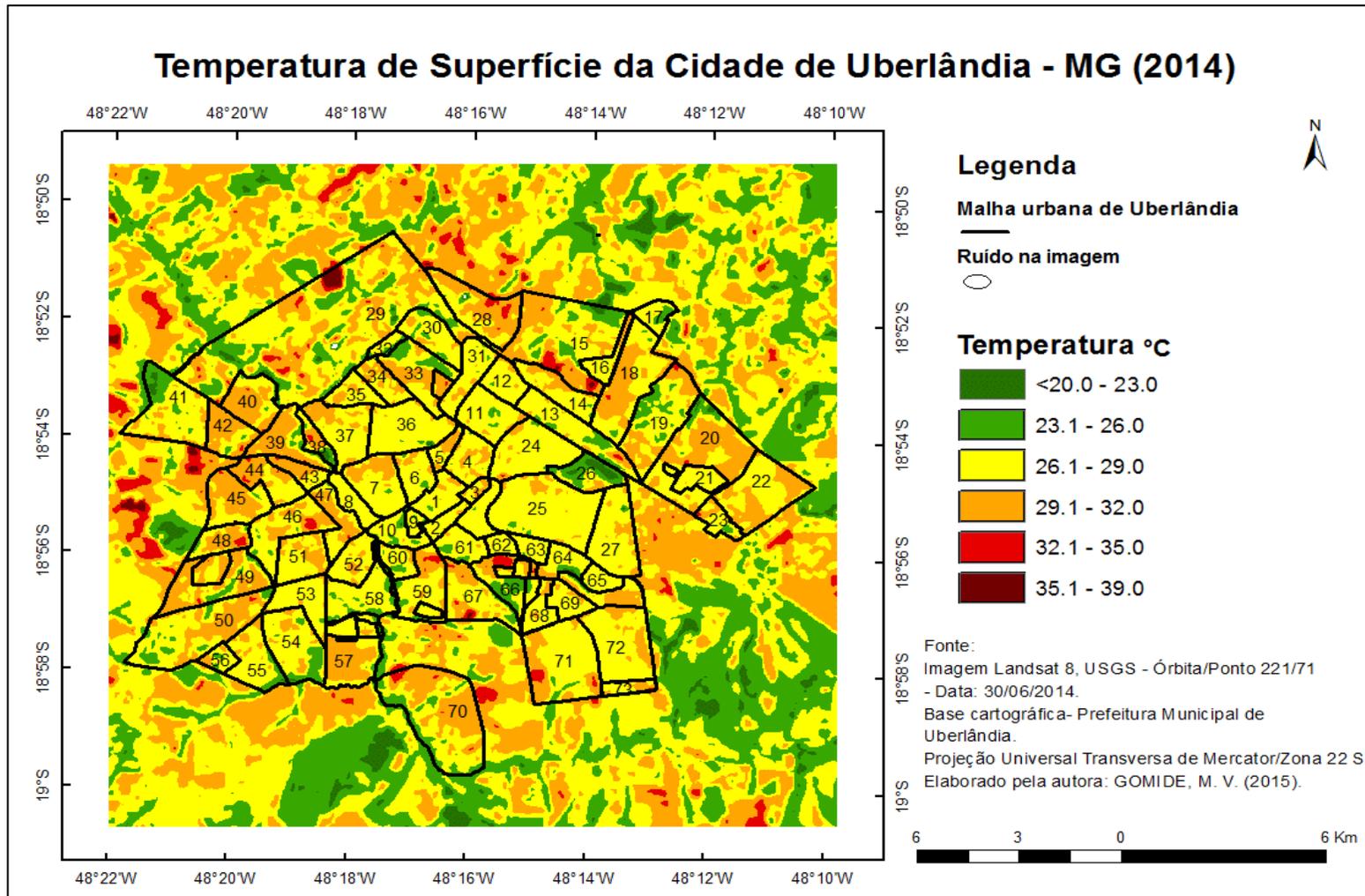
De modo geral, nota-se que a temperatura de 26.1 a 29.0 °C foi predominante na região. Áreas com maior frescor foram identificadas com temperaturas de 20.0 °C a 26.0 °C, com alguns pontos se sobressaindo na malha urbana, notadamente próximos à zona centro sul, e outros pontos com maior aglomerado fora da malha urbana.

Figura 03: Temperatura de superfície da cidade de Uberlândia – MG (2004)



Fonte: os autores.

Figura 04: Temperatura de superfície da cidade de Uberlândia – MG (2014)



Fonte: os autores.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

No ano de 2004, observou-se diferença de um grau de temperatura a menos quando comparado com 2014. Mensurou-se, neste último ano, a maior temperatura do período analisado, 39.0 °C. Apesar do ano de 2014 ter apresentado maior temperatura, notou-se que no ano de 2004 ocorreu o predomínio de temperaturas mais elevadas na cidade, sendo de 29.1 a 32.0 °C. Isto se deu devido à temperatura média do ar, para o ano de 2004, estar cotada em 24.4 °C, enquanto que, no ano de 2014, a temperatura do ar foi mais baixa, 22.4°C e a de superfície predominante ficou entre 26.1 a 29 °C. Vários outros fatores poderiam ter colaborado para este resultado, como a massa de ar atuante no dia e os sistemas de ventos. Referente às ilhas de calor, foram identificadas em maior predominância no ano de 2004.

Conclui-se que a de geotecnologia é uma ferramenta de inúmeras facetas que a Geografia utiliza. No caso desta pesquisa, o sensoriamento remoto contribuiu para a apuração da temperatura de superfície, possibilitando uma visão especializada do local em questão e trazendo novas metodologia para esta temática.

O método utilizado para a mensuração da temperatura de superfície, se mostrou satisfatório, indicando as ilhas de calor existentes na cidade estudada. Fica a sugestão para trabalhos futuros de correlação entre a urbanização da cidade e as ilhas de calor, assim como as ilhas de frescor e a vegetação existente.

## REFERÊNCIAS:

ALVES, L. A **dinâmica e configuração atual da área central das cidades médias: particularidades e semelhanças entre Uberlândia-MG e Ribeirão Preto-SP.**In: XIII Simpósio de Geografia Urbana, Rio de Janeiro, p. 8-16, 2013.

AMORIM, M. C. C. T. **O Clima Urbano de Presidente Prudente/SP.** São Paulo, 2000, 322f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, USP, 2000.

AMORIM, M. C. C.T.; DUBREUIL, V. H. Q.; SANT'ANA NETO, J. L. Características das ilhas de calor em cidades de porte médio: exemplos de Presidente Prudente (Brasil) e Rennes (França), *Confins*, n. 7, 2009.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos.** 11º ed. - Rio de Janeiro: Bertrand, Brasil, 2006. 332p.

BAPTISTA, G.M.M. Estudo Multitemporal do fenômeno Ilhas de Calor no Distrito Federal. **Revista Meio Ambiente**, n. 02, p. 03-17, 2002.

BARBOSA, R. V. R.; VECCHIA, F. A. S. “Estudos de Ilha de Calor Urbana por meio de Imagens do Landsat 7 Etm+: Estudo de Caso em São Carlos (SP)”. **Revista Minerva – Pesquisa e Tecnologia**, v. 6, n. 3, set./dez. 2009. Disponível em: <[http://www.fipai.org.br/revista\\_minerva\\_eletro\\_v06n03.html](http://www.fipai.org.br/revista_minerva_eletro_v06n03.html)>. Acesso em: 8 out. de 2017.

BIAS, E. de S.; BAPTISTA, G.M.de M.; LOMBARDO, M. A. Análise do fenômeno de ilhas de calor urbanas, por meio da combinação de dados landsat e ikonos. In: XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Belo Horizonte, Brasil, **Anais do XI SBSR**, Belo Horizonte, Brasil, abril, 2003 INPE, p. 1741 – 1748. 2003. Disponível em: <[http://marte.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2002/09.12.18.52/doc/14\\_005.pdf](http://marte.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2002/09.12.18.52/doc/14_005.pdf)> Acesso em: 20 abr. de 2017

COELHO, A. L. N.; CORREA, W. S. C. Temperatura de Superfície Celsius do Sensor TIRS/Landsat-8: metodologia e aplicações. **Revista Geográfica Acadêmica** v.7, n.1. 2013, p. 31-45.

COLL, C.; GALVE, J.M.; SÁNCHEZ, J. M.; CASELLES, V. “Validation of Landsat 7/ETM+ Thermal-Band Calibration and Atmospheric Correction With Ground-Based Measurements”, **IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.**, v. 48, n. 1, pp. 547–555, Jan. 2010.

COLTRI, P.P. **Influência do uso e cobertura do solo no clima de Piracicaba, São Paulo: análise de séries históricas, ilhas de calor e técnicas de sensoriamento remoto**. 2006. 166p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2006.

Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-25102006-123617/pt-br.php>> Acesso em: 22 mai. De 2017.

DUMKE, E. M. S. **Clima urbano/conforto térmico e condições de vida na cidade – uma perspectiva a partir do aglomerado urbano da região metropolitana de Curitiba**. 2007. 417 f. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

EMBRAPA MONITORAMENTO POR SATÉLITE. **Sistemas Orbitais de Monitoramento e Gestão Territorial**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2013. Disponível em: <<http://www.sat.cnpem.br>>. Acesso em: 4 fev. 2015.

GARTLAND, L. **Ilhas de Calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. Tradução de Sílvia Helena Gonçalves. São Paulo: Oficina de Textos, 2010, p.248.

INPE. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. Disponível em: <<http://www.inpe.br>>. Acesso em: 01 jun. de 2015.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: Hucitec, 1985, p. 185.

MENDONÇA, F. de A. **O clima e o planejamento urbano das cidades de porte médio e pequeno: proposições metodológicas para estudo e sua aplicação à cidade de Londrina/PR**. 1994. 244f. Tese (Doutorado em Geografia) – Departamento de Geografia, FFLCH/USP, São Paulo. 1994.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia noções básicas e climas do Brasil**. Ed. Oficina de Textos. São Paulo. 2007. 206p.

MONTEIRO, C. A. F. Teoria e Clima Urbano. In: MONTEIRO, C.A.F.; MENDONÇA, F. (Org.) **Clima Urbano**. São Paulo: Editora Contexto, 2003. p. 9-67

NASA - **National Aeronautics and Space Administration**. Disponível em <<http://landsat.gsfc.nasa.gov/?p=5596>> Acesso em 23 fev. de 2015

NASCIMENTO, D. T. F. **Emprego de técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento na análise multitemporal do fenômeno de ilhas de calor no município de Goiânia-GO** (1986-2010). 2011.98 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Goiás, 2011.

NISHIDA, W. **Uma rede neural artificial para classificação de imagens multiespectrais de sensoriamento remoto**. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2008. 363p.

OKE, T. R.; VOOGT, J. A. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote Sensing Environment**, v. 86, p. 370-384, 2003. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425703000798>> Acesso em : 17 jul. 2017.

ORTIZ,G.F.; AMORIM,M. C. C. T. Clima urbano e ilhas de calor em Cândido Mota/SP. **Revista Geonorte**, edição especial 2, v.2, n.5, p.455 – 468. 2012. Disponível em: <<http://revista.fct.unesp.br/index.php/formacao/article/viewFile/822/1089>> Acesso em: 25 jun. de 2017.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y.E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. 1.ed. São José dos Campos: Parêntese, 2007. v.1, p.127.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**, 6<sup>a</sup>.ed. Uberlândia: EDUFU, 2007, p. 262.

SAYDELLES, A. P. **Estudo do campo térmico e das ilhas de calor urbano em Santa Maria-RS**. 2005. 219f. Dissertação (Dissertação de mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, 2005. Disponível em: <[http://w3.ufsm.br/ppggeo/files/dissertacoes\\_2005/Alexandre%20Pistoia%20Saydelles.pdf](http://w3.ufsm.br/ppggeo/files/dissertacoes_2005/Alexandre%20Pistoia%20Saydelles.pdf)> Acesso em: 29. fev. de 2016.

STEINKE, E. T. **Considerações sobre variabilidade e mudança climática no Distrito Federal, suas repercussões nos recursos hídricos e informação ao grande público**. 2004. 201 f. Tese (Doutorado em Ecologia)- Instituto de Biologia, Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília. Brasília, 2004.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia Básica e aplicações**. Viçosa, UFU, 1991, 449 p.