



Geografia e Ordenamento do Território, Revista Electrónica
Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território
<http://cegot.org>
ISSN: 2182-1267

ALVES, ELIS

*Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
– IF GOIANO/Campus Ceres*
Rodovia GO-154 - Km 3, S/N - Zona Rural, 76300-000, Ceres,
Brasil
elis.alves@ifgoiano.edu.br

ANJOS, MAX

*Instituto de Geografia e Ordenamento do
Território/Centro de Estudos Geográficos- IGOT,
Universidade de Lisboa*
R. Branca Edmée Marques, 1600-276 Lisboa, Portugal
maxanhos@campus.ul.pt

LOPES, ANTONIO

*Instituto de Geografia e Ordenamento do
Território/Centro de Estudos Geográficos- IGOT,
Universidade de Lisboa*
R. Branca Edmée Marques, 1600-276 Lisboa, Portugal
antonio.lopes@campus.ul.pt

Multitemporalidade das anomalias da temperatura de superfície: o caso da cidade de Iporá, Brasil

**Multitemporality of surface temperature anomalies: the case of Iporá city,
Brazi**

Referência: Alves, Elis ; Anjos, Max ; Lopes, António (2017). Multitemporalidade das anomalias da temperatura de superfície: o caso da cidade de Iporá, Brasil. *Revista de Geografia e Ordenamento do Território (GOT)*, n.º 12 (dezembro). Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território, p. 5-21, [dx.doi.org/10.17127/got/2017.12.001](https://doi.org/10.17127/got/2017.12.001)

RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi analisar, a partir de dados do satélite Landsat - 5, o padrão multitemporal e espacial das anomalias térmicas na cidade de Iporá - Goiás. Para tanto, foram utilizadas imagens multiespectrais (banda termal do satélite Landsat 5), dos anos de 1984 a 2011. Para o processamento das imagens foram desenvolvidos modelos matemáticos por meio da ferramenta Model Maker do software Erdas Imagine 11. Os resultados evidenciaram que: 1 - com a utilização das anomalias térmicas, os mapas ficaram homogêneos, o que possibilitou comparação temporal; 2 - Anomalias térmicas máximas de superfície ocorreram em áreas de pouca urbanização, com solo exposto; 3 - O maior número de anomalias positivas ocorreu nas áreas de baixa urbanização, com solos expostos. Enquanto que nas áreas mais urbanizadas com presença de vegetação e próximas a

superfície de água, ocorreu a maior quantidade de anomalias negativas; 4 - Nos pontos B, E, F e H foram observadas tendências estatisticamente significativas.

Palavras-chave: Temperatura de superfície, tendência, variabilidade.

ABSTRACT

The aim of this study was to analyze, from satellite data of Landsat - 5, the multi-temporal and spatial pattern of temperature anomalies in the city of Iporá - Goiás. To this end, were used multispectral images (thermal band of Landsat 5 satellite), from the years 1984-2011. For the processing of images were developed mathematical models using the Model Maker of the software Erdas Imagine 11. The results showed that: 1 - with the use of thermal anomalies, the maps were homogeneous, allowing temporal comparison; 2 - Maximum surface thermal anomalies occurred in areas of little urbanization, with exposed soil; 3 - The highest number of positive anomalies occurred in areas of low urbanization, with exposed soil. While in the more urbanized areas with presence of vegetation and nearby surface water, it was the largest amount of negative anomalies; 4 - In points B, E, F and H statistically significant trends were observed.

Keywords: surface temperature, trend, variability.

1. Introdução

O desenvolvimento tecnológico ocorrido a partir da segunda metade do século XX atingiu um estágio sem precedentes na história humana, obrigando as diversas ciências, como a Geografia, a repensar seus métodos e técnicas de análise (ALVES, 2017; ALVES; LOPES, 2017). Nesse contexto, as técnicas de sensoriamento remoto têm se mostrado importante instrumento utilizado pelos geógrafos, além de outros profissionais, para auxiliar na aquisição de dados, análises, e representação das informações obtidas do espaço geográfico.

O termo Sistemas de Informação Geográfica (SIG) é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos e recuperam informações não apenas com base em suas características alfanuméricas, mas também através de sua localização espacial.

Nesse contexto, o sensoriamento remoto se destaca nos estudos ambientais com o crescente uso de seus recursos na pesquisa científica. Nos estudos de clima urbano, o uso

do sensoriamento remoto tem experimentado crescimento nas últimas décadas, principalmente na análise de anomalias térmicas (BARBOSA; VECCHIA, 1996).

Existem diversos estudos que utilizaram o processamento de imagens na faixa do infravermelho termal para estimar a temperatura de superfície terrestre e assim, compreender a relação das diferentes paisagens e coberturas urbanas com a radiação (ALVES, 2016; SOUSA; FERREIRA, 2012). Segundo Weng (2009), a maioria destes estudos efetua avaliação de ilhas de calor urbano, bem como a relação entre índices de vegetação e temperatura de superfície terrestre. O autor evidencia que Rao (1972) foi o primeiro autor a identificar a possibilidade de utilização do sensoriamento remoto para o estudo do padrão de distribuição de temperaturas superficiais em ambiente urbano.

O uso do sensoriamento remoto para o estudo do clima urbano possibilita o levantamento sistemático e contínuo de dados, uma importante vantagem frente ao pequeno detalhamento espacial das estações meteorológicas (SOUSA; FERREIRA, 2012).

No Brasil o trabalho executado por Lombardo (1985) foi o pioneiro na utilização de imagens térmicas, tendo como área de estudo a região metropolitana de São Paulo. Neste estudo foram utilizadas imagens termais do sensor TM (Landsat 5) e dados do sensor AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) para identificar ilhas de calor urbana. O objetivo desta pesquisa foi analisar, a partir de dados de satélite, o padrão de distribuição espacial das anomalias térmicas na cidade de Iporá - Goiás, assim como efetuar análise temporal destas anomalias de 1984 a 2011.

2. Materiais e método

O município de Iporá localiza-se no Oeste do estado de Goiás (Figura 1), sua área territorial é de 1026,384 km² (IBGE, 2014). Nas últimas décadas, a população de Iporá não se alterou de forma substancial, e possui população de 31274 habitantes (IBGE, 2011). De 1980 aos dias atuais houve acréscimo de, aproximadamente, 4920 pessoas, distribuído ao longo dos anos.

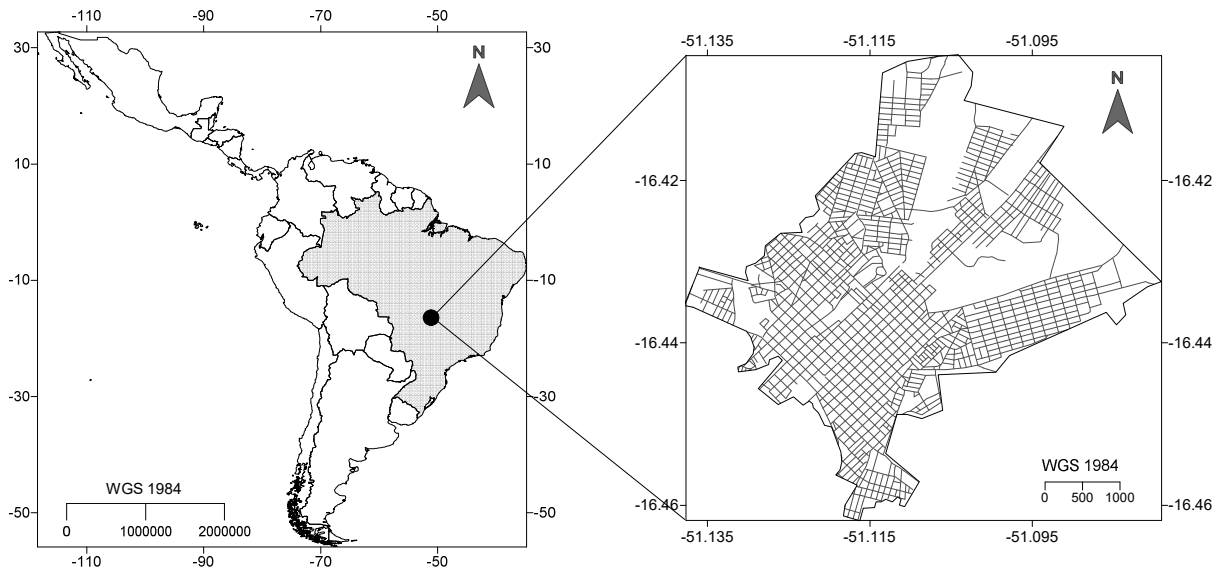


Figura 1 – Localização do município de Iporá – Brasil

Para o estudo espaço-temporal das anomalias térmicas em Iporá-Goiás foram utilizadas imagens multiespectrais (banda termal do satélite Landsat 5), disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) dos anos de 1984 a 2011. Todas as imagens foram obtidas para o mês de agosto e setembro, cujo período de seca proporciona menor cobertura de nuvens, bem como pouco vapor de água na atmosfera, que se trata de um dos maiores absorvedores da radiação emitida pela superfície na faixa do infravermelho termal.

Dentro do período de 1984 a 2011 não foi possível a aquisição das imagens para os anos de 1989, 1990, 1992, 1997, 2000 e 2002. Além da banda termal, utilizou-se as bandas 3 e 4 para correção dos valores da temperatura de superfície.

Para o processamento das imagens foram desenvolvidos modelos matemáticos por meio da ferramenta *Model Maker* do software Erdas Imagine 11. Na Figura 2 está o fluxograma, com as etapas do processamento das imagens para obtenção das anomalias térmicas.

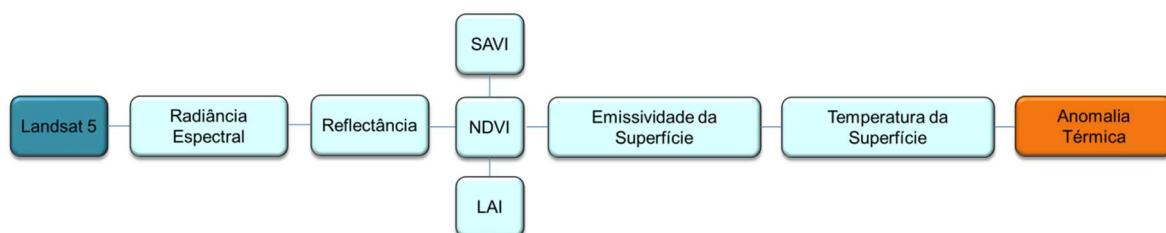


Figura 2 - Fluxograma para obtenção das anomalias térmicas

A primeira etapa foi a conversão do número digital de cada pixel da imagem em radiância espectral monocromática de acordo com a Equação 1 (MARKHAM; BARKER, 1987).

$$L_{\lambda i} = a_i + \frac{b_i + a_i}{255} \times ND \quad \text{Equação 1}$$

Em que a_i e b_i são as radiâncias espectrais mínimas e máximas, ND é o número digital da imagem que corresponde a um intervalo de 0 a 255 e i corresponde as bandas do satélite em estudo.

A etapa seguinte foi o cômputo da reflectância monocromática de cada banda (Equação 2), que é definido como sendo a razão entre o fluxo de radiação refletida e o fluxo de radiação incidente que é obtida segundo a Equação 2 (ALLEN; TASUMI; TREZZA, 2002).

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi \times L_{\lambda i}}{k_{\lambda i} \times \cos Z \times dr} \quad \text{Equação 2}$$

Onde $L_{\lambda i}$ é a radiância espectral de cada banda, $k_{\lambda i}$ é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera, Z é o ângulo zenital solar e dr (Equação 3) é o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol, conforme (IQBAL, 1983).

$$dr = 1 + 0,033 \cos \left(\frac{DJ \times 2\pi}{365} \right) \quad \text{Equação 3}$$

O ângulo zenital foi obtido com a Equação 4.

$$\cos Z = \cos \left(\frac{\pi}{2} - E \right) \quad \text{Equação 4}$$

Em que E é o ângulo de elevação do sol, obtido no cabeçalho de cada imagem.

Após os cálculos anteriores, realizou-se a correção atmosférica com o método *Dark-Object Subtraction* (DOS). O cálculo do *NDVI* foi obtido pela razão entre a diferença da medida da reflectância nos canais do infravermelho próximo (ρ_4) e vermelho (ρ_3) e a soma desses canais, conforme Equação 5.

$$NDVI = \frac{\rho_4 - \rho_3}{\rho_4 + \rho_3} \quad \text{Equação 5}$$

O *NDVI* é um indicador da quantidade e da condição da vegetação verde. Os valores variam de -1 a +1 e, valores positivos são obtidos em áreas com algum tipo de vegetação, e varia de

acordo com a atividade fotossintética das plantas nessa área e sua densidade, enquanto que superfícies com água o *NDVI*, geralmente, é menor que zero (GIONGO et al., 2010).

O *SAVI* (*Soil Adjusted Vegetation Index*) é um índice que visa atenuar os efeitos espectrais de “fundo” do solo, e pode ser obtido por meio da Equação 6.

$$SAVI = \frac{(1 + L) \times (\rho_4 - \rho_3)}{L + \rho_4 + \rho_3} \quad \text{Equação 6}$$

Em que *L* é uma variável que oscila entre 0,25 utilizado para vegetação densa, 0,5 utilizado para vegetação intermediária e 1 para vegetação rarefeita. Para este trabalho utilizou-se 0,5 por se tratar de um período de transição da estação seca para a chuvosa. Época em que a vegetação possui atividades metabólicas reduzidas, por conta dos efeitos da seca.

O *LAI* (*Leaf Area Index*) é um indicador da biomassa de cada pixel da imagem, sendo definido pela razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área ocupada por essa vegetação e pode ser calculado pela Equação 7.

$$LAI = \frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad \text{Equação 7}$$

Para a obtenção da temperatura da superfície, foi utilizada a equação de Planck invertida, válida para um corpo negro. Como cada pixel não emite radiação eletromagnética como um corpo negro, há a necessidade de introduzir a emissividade de cada pixel no domínio espectral da banda termal ε_{NB} . Conforme Allen, Tasumi e Trezza (2002) as emissividades ε_{NB} e ε_0 podem ser obtidas, para *NDVI* > 0 e *LAI* > 3, de acordo com a Equação 8 e Equação 9.

$$\varepsilon_{NB} = 0,97 + 0,00331 \times LAI \quad \text{Equação 8}$$

$$\varepsilon_0 = 0,95 + 0,01 \times LAI \quad \text{Equação 9}$$

Entretanto, para pixels com *LAI* ≥ 0,98, $\varepsilon_{NB} = \varepsilon_0 = 0,98$. Para corpos de água (*NDVI* < 0), utilizou-se os valores de $\varepsilon_{NB} = 0,99$ e $\varepsilon_0 = 0,985$, conforme Allen, Tasumi e Trezza (2002).

Na etapa 5 computou-se a temperatura de superfície a partir da radiância espectral da banda termal L_{λ_6} e a emissividade ε_{NB} obtida na etapa anterior. Dessa forma, obteve-se a temperatura da superfície em Kelvin (K) pela Equação 10, e posteriormente foi convertida para graus Celsius (°C) (Equação 11).

$$T_{s(K)} = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\varepsilon_{NB} \times K_1}{L\lambda^6} + 1\right)} \quad \text{Equação 10}$$

$$T_{s(^{\circ}C)} = T_{s(K)} - 273 \quad \text{Equação 11}$$

Em que $T_{s(K)}$ é a temperatura de superfície obtida em kelvin, $T_{s(^{\circ}C)}$ é a temperatura de superfície obtida em graus celsius e $K_1 = 607,76 \text{ W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}.\mu\text{m}^{-1}$ e $K_2 = 1260,56 \text{ K}$, que são constantes de calibração da banda termal do Landsat 5 TM, propostas por Allen, Tasumi e Trezza (2002).

Utilizou-se para análise, as anomalias térmicas, pois com elas é possível a comparação temporal. As imagens das anomalias térmicas foram obtidas, com base nas respectivas imagens de temperatura da superfície a partir do desvio padrão associado à cada pixel, conforme Equação 12.

$$A_t = \frac{T_s - \mu}{\sigma} \quad \text{Equação 12}$$

Onde T_s corresponde à temperatura de superfície, μ a média da T_s e σ o desvio padrão da T_s para cada imagem termal. Cálculos semelhantes já foram utilizados por Alcoforado e Andrade (2006), Busato, Lazzarin e Noro (2013), Cuadrat, Vicente-Serrano e Saz (2015).

3. Resultados e discussão

Com a utilização das anomalias térmicas, ao invés da temperatura de superfície, os mapas ficaram homogêneos, pois os valores das anomalias de cada pixel foram calculados a partir da média e do desvio padrão da TS para cada imagem. Em toda a série histórica (1984 a 2011) notou-se que determinados padrões se repetiram, as áreas com menores e maiores anomalias persistiram ao longo dos anos, conforme a Figura .

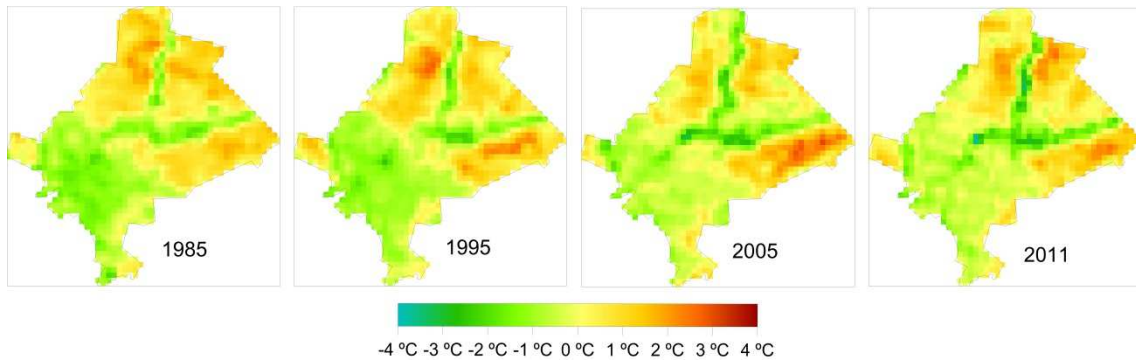


Figura 3 - Anomalias térmicas multitemporais

A partir das 22 imagens termais obtidas, calculou-se a média da anomalia termal de cada pixel. Na Figura está esse padrão médio das anomalias térmicas sobreposto ao relevo e a ocupação do solo.

Nota-se que as áreas de solo exposto, neste caso, solo com coloração vermelho-escuro, têm em média os maiores valores de anomalias térmicas. Esse tipo de solo se aquece mais rapidamente que outras áreas. Observa-se que as anomalias médias (Figura) tiveram variação de -2°C a $1,8^{\circ}\text{C}$ e as anomalias negativas se concentraram preponderantemente nos fundos de vale.

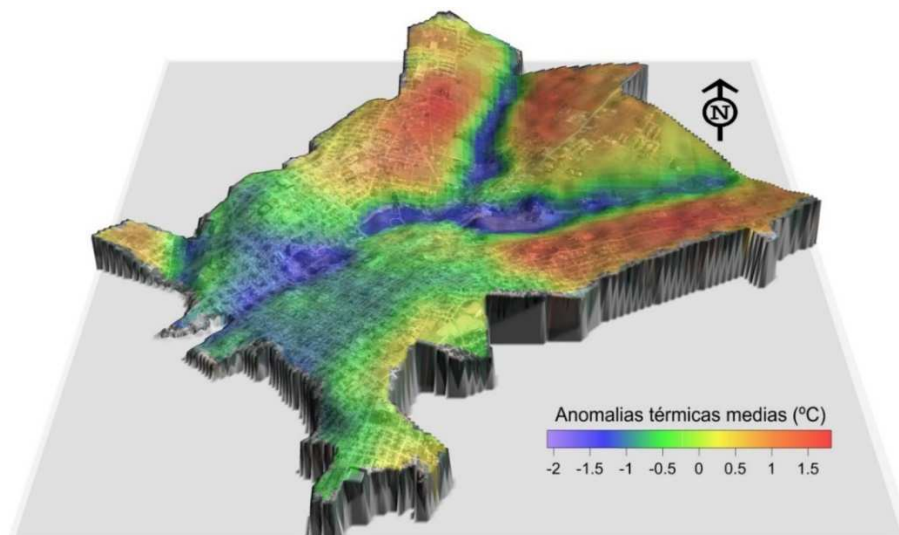


Figura 4 - Anomalias térmicas médias (1984 – 2011) sobrepostas ao relevo e ocupação do solo

Como o registro dessas anomalias térmicas refere-se ao horário das 10 horas da manhã (horário de passagem do Landsat 5) esse padrão fica mais evidente. Na Figura há o movimento aparente do sol durante o equinócio (data próxima à data das imagens adquiridas). Verifica-se que algumas áreas de Iporá estão mais expostas a radiação solar nas

horas iniciais do dia (7h, 8h, 9h e 10h), áreas estas que correspondem, em parte, às áreas com as maiores anomalias térmicas médias (Figura 5).

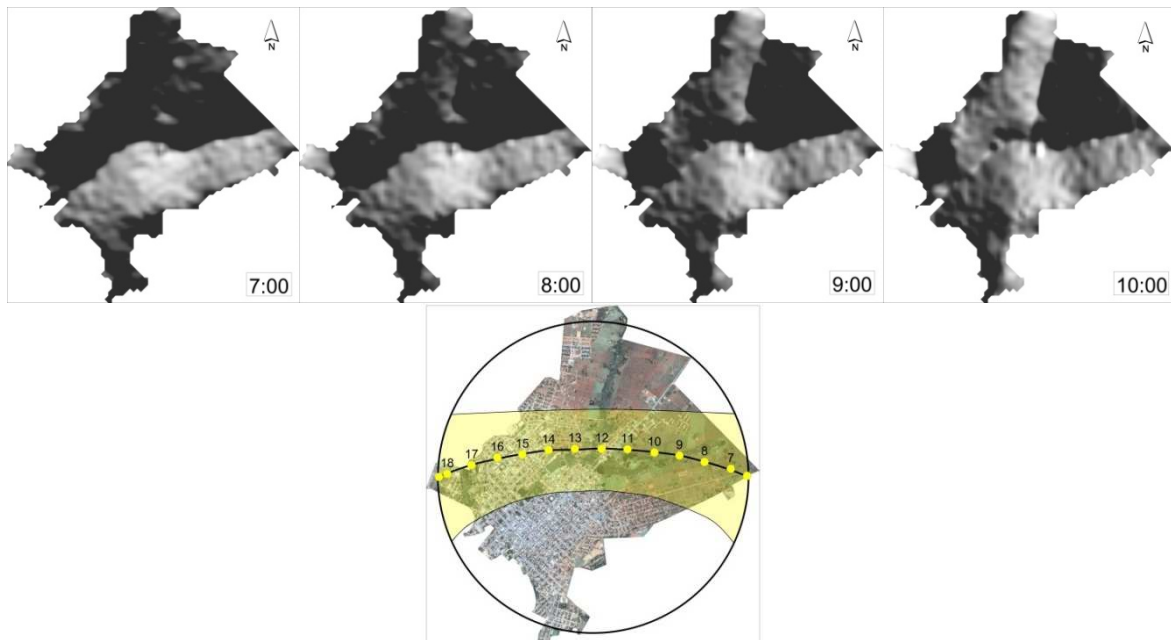


Figura 5 - Movimento aparente do sol no equinócio em Iporá – GO

Conforme Figura , as anomalias térmicas máximas de superfície ocorreram em áreas de pouca urbanização, com solo exposto, fato observado em Pereira et al. (2012). Os valores mínimos das anomalias térmicas máximas negativas foram observados nas áreas com maior vegetação e próximas ao córrego Tamanduá e ao lago pôr do sol.

Em muitos estudos foi constatado esse efeito da vegetação de amenizar a temperatura de superfície (DORIGON; AMORIM, 2013; HAMADA; OHTA, 2010; HART; SAILOR, 2008; SOUSA; FERREIRA, 2012), estudos sobre a temperatura de superfície de lagos tem mostrado que estas superfícies se aquecem mais lentamente que a superfície do solo, devido ao seu calor específico (OESCH et al., 2005). Nota-se que foram observadas anomalias negativas de -4°C (Figura 6A) e anomalias positivas de 3°C (Figura 6B).

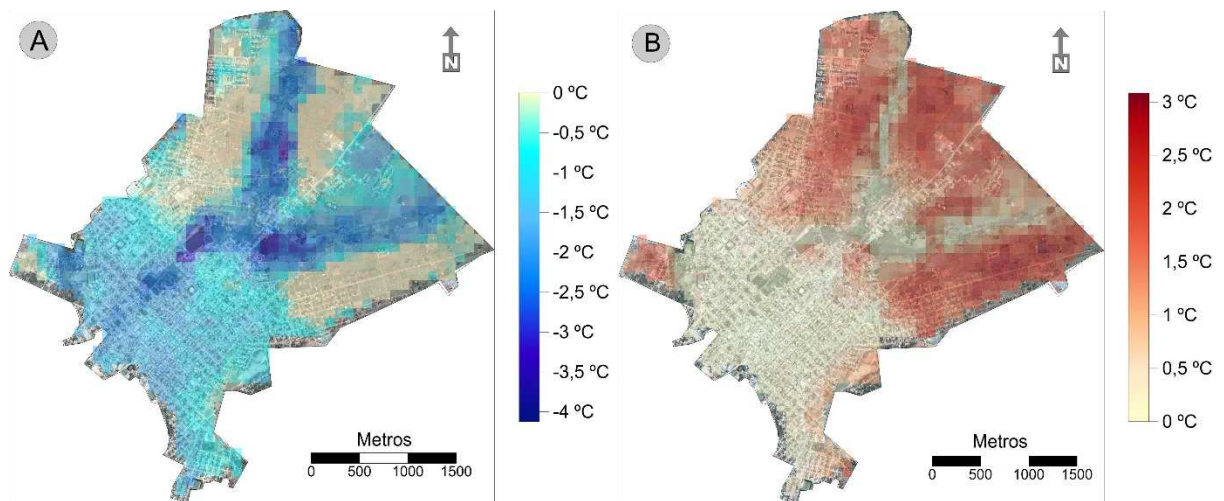


Figura 6 - Anomalias térmicas máximas negativas (A), anomalias térmicas máximas positivas (B) ocorridas no período de 1984 a 2011

Aspecto importante de se analisar além das anomalias térmicas máximas, são os locais de maior ocorrência das anomalias positivas e negativas. Na Figura nota-se, assim como no mapa das anomalias máximas, que a maior ocorrência de anomalias positivas foi nas áreas de baixa urbanização, com solos expostos. Enquanto que nas áreas mais urbanizadas com presença de vegetação e próximas a superfície de água, ocorreu a maior quantidade de anomalias negativas. Os mapas da Figura , graficamente, parecem inversos, denotando que estes são padrões representativos.

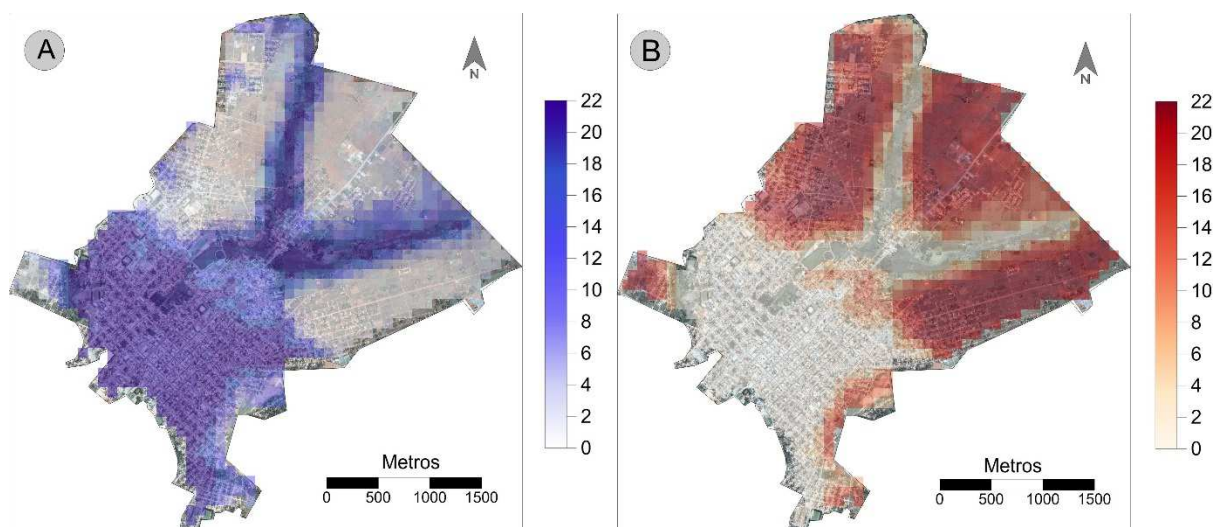


Figura 7 - Quantidade de anomalias térmicas positivas (A) e anomalias negativas (B) ocorridas no período de 1984 a 2011

3.1 Análise dos pontos de mensuração das anomalias térmicas

Após os cálculos para obtenção das anomalias térmicas foram realizadas análises pormenorizadas em 10 pontos (Figura 8), esses pontos diferenciam-se pelas suas características geourbanas.

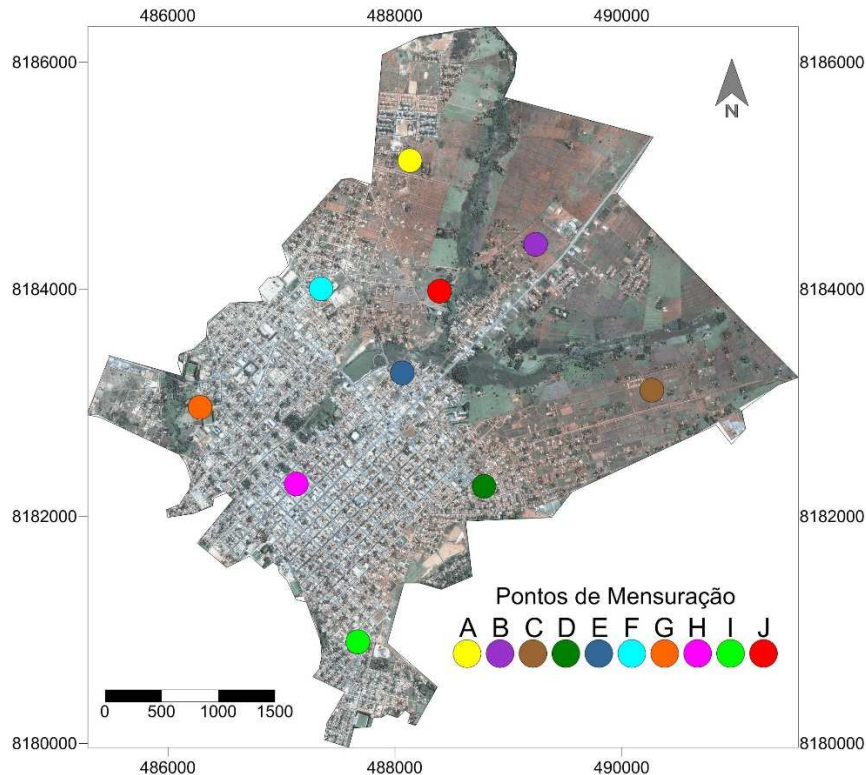


Figura 8 - Localização dos pontos de mensuração das anomalias

Na Figura estão expostos, por meio de bloxplots, os conjuntos de dados das anomalias térmicas, para cada ponto, durante o período analisado (1984 a 2011). Os pontos A, B e C, apresentaram os conjuntos de dados com os maiores valores de anomalias térmicas, conforme se nota na Figura e na Tabela 1. A menor mediana e os menores 50% dos dados foram averiguados no ponto G. Os pontos A, B, C e F apresentaram medianas positivas, enquanto que os pontos D, E, G, H, I e J medianas negativas.

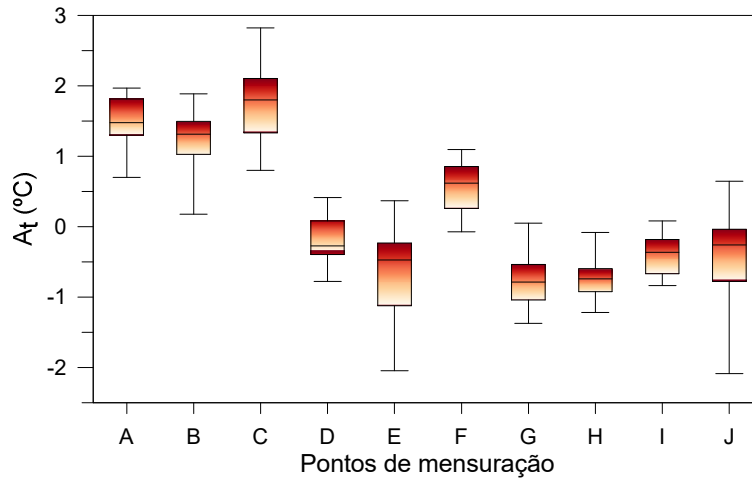


Figura 9 - Bloxplot das anomalias térmicas para cada ponto de mensuração.

Estadística	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Mediana	1,48	1,31	1,8	-0,27	-0,47	0,62	-0,78	-0,74	-0,36	-0,26
25% - 75%	1,3 a 1,8	1 a 1,5	1,3 a 2,1	-0,4 a 0	-1,1 a -0,2	0,2 a 0,8	-1 a -0,5	-0,9 a -0,2	-0,7 a 0	-0,8 a 0

Tabela 1 - Estatística dos bloxplots.

Na Figura 10 tem-se os padrões das anomalias térmicas nos pontos de mensuração de 1984 a 2011. Pode-se observar que entre os pontos G e J ocorreram as menores anomalias, enquanto que do ponto A ao D observou-se as maiores anomalias térmicas, com picos no ponto C.

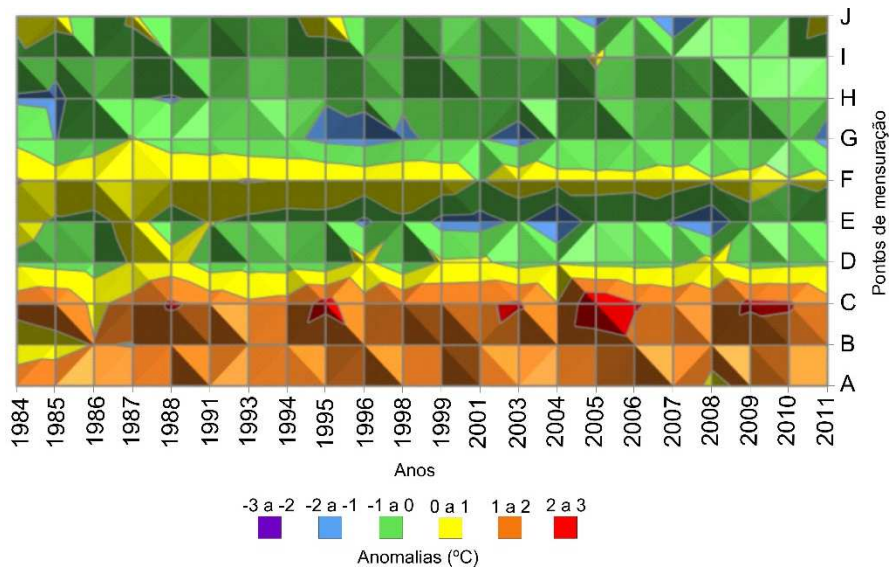


Figura 10 - Padrões das anomalias térmicas nos pontos de mensuração.

3.2 Análise da tendência das anomalias térmicas

Para análise das tendências utilizou-se o teste de hipóteses dos coeficientes angulares das retas de regressão. Para tanto se aplicou o modelo de regressão linear, dado pela seguinte equação:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon \quad \text{Equação 13}$$

Em que y é a variável dependente, β_0 o coeficiente linear, β_1 o coeficiente angular, x a variável independente e ε o erro aleatório.

Os parâmetros β_0 e β_1 foram determinados por meio das Equação 14 e Equação 15.

$$\beta_0 = \frac{1}{n}(\sum Y_i - \beta_1 \sum X_i) \quad \text{Equação 14}$$

$$\beta_1 = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum(X_i - \bar{X})^2} \quad \text{Equação 15}$$

O coeficiente β_1 indica a tendência da série temporal representada pela declividade da reta de regressão. A significância estatística das séries foi verificada mediante a aplicação do teste de hipótese para o coeficiente de regressão linear (β_1) dado por:

$H_0: \beta_1 = 0$, não existe tendência.

$H_1: \beta_1 \neq 0$, existe tendência em dado nível de significância.

Normalmente, em estudos climáticos, fixa-se o nível de significância (p -value) do teste (probabilidade de se rejeitar H_0 dado que ele é verdadeiro) em 0,05 ou 0,10 (SALVADOR; SANTOS, 2010). Sendo considerado, neste estudo, como não significativo qualquer valor acima de 0,05.

Atualmente existe grande discussão sobre questões voltadas ao clima, principalmente as que se referem às mudanças climáticas. De um lado estão os cientistas que afirmam que o homem é o grande responsável pelas mudanças climáticas, do outro estão cientistas que não constata essa influência em escala global. Muitos estudos foram elaborados a partir de simulações computacionais ou de análise de dados ao longo de uma série histórica. Por isso analisar a tendência de aumento ou diminuição nos valores das anomalias térmicas é importante, pois esta revela modificação no uso e ocupação do solo, que por conseguinte pode refletir em mudança climática local. A variação e a tendência das anomalias térmicas

podem ser observadas na Figura 11. Em quatro pontos (B, E, F e H) as tendências foram estatisticamente significativas com $p\text{-value} < 0,05$. Os pontos B e H com tendência a aumento da intensidade das anomalias, e E e F com tendência a diminuição.

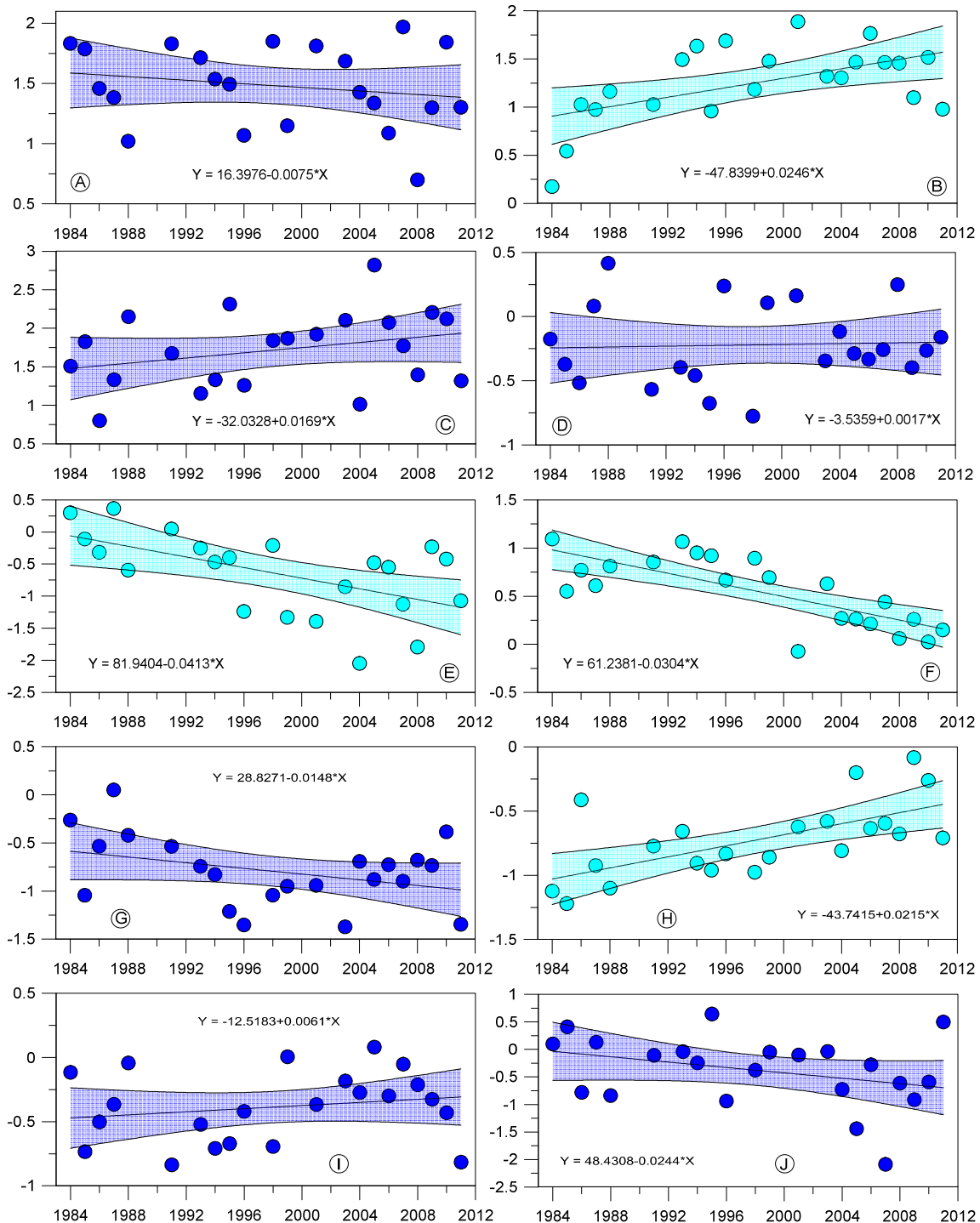


Figura 11 - Tendência das anomalias térmicas nos pontos de mensuração de 1984 a 2011.

Na Figura 12 são comparados os valores de NDVI com as anomalias térmicas dos pontos B, E, F e H. Os pontos de mensuração B e F obtiveram correlações negativas, -0,41 e -0,13 respectivamente. Porém nos pontos E e H observou-se correlações positivas (0,13 e 0,18). A correlação do ponto B parece indicar que a variação do NDVI ao longo dos anos teve influência nas anomalias térmicas, ou seja, com a diminuição do NDVI a intensidade das anomalias aumentou. Enquanto que nos outros pontos, parece que, outros fatores foram mais importantes na tendência das anomalias.

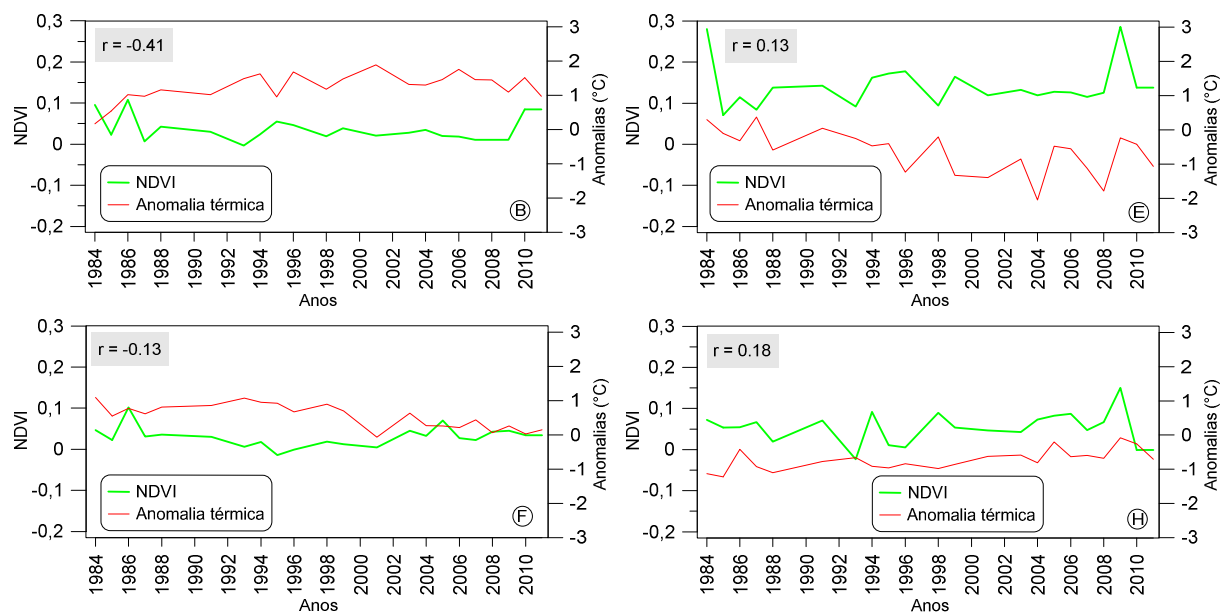


Figura 12 - Relação das anomalias térmicas nos pontos de mensuração com tendência significativa e o NDVI de 1984 a 2011

4. Considerações finais

Dentre os resultados obtidos, destaca-se:

- 1 - Com a utilização das anomalias térmicas, ao invés da temperatura de superfície, os mapas ficaram homogêneos, o que possibilitou a comparação temporal.
- 2 - Anomalias térmicas máximas de superfície ocorreram em áreas de pouca urbanização, com solo exposto.

3 - O maior número de anomalias positivas ocorreu nas áreas de baixa urbanização, com solos expostos. Enquanto que nas áreas mais urbanizadas com presença de vegetação e próximas a superfície de água, ocorreu a maior quantidade de anomalias negativas.

4 - As máximas das mínimas das anomalias foram observadas nas áreas com maior vegetação e próximas ao córrego Tamanduá e ao lago pôr do sol.

5 - Os pontos A, B e C (solo exposto) apresentaram os conjuntos de dados com os maiores valores de anomalias térmicas.

6 - Em quatro pontos (B, E, F e H) as tendências foram estatisticamente significativas com p -value $< 0,05$. Os pontos B e H com tendência a aumento da intensidade das anomalias, e E e F com tendência a diminuição.

5. Referências bibliográficas

ALCOFORADO, M.-J.; ANDRADE, H. Nocturnal urban heat island in Lisbon (Portugal): main features and modelling attempts. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 84, n. 1–3, p. 151–159, 18 jul. 2006.

ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. *SEBAL – Surface Energy Balance Algorithms for Land*. 2. ed. [s.l.] Advance training and users manual, 2002.

ALVES, E. Seasonal and Spatial Variation of Surface Urban Heat Island Intensity in a Small Urban Agglomerate in Brazil. *Climate*, v. 4, n. 4, p. 61, 10 dez. 2016.

ALVES, E. D. L. Quantifying the effect of waterways and green areas on the surface temperature. *Acta Scientiarum. Technology*, v. 39, n. 1, p. 89–96, 2017.

ALVES, E.; LOPES, A. The Urban Heat Island Effect and the Role of Vegetation to Address the Negative Impacts of Local Climate Changes in a Small Brazilian City. *Atmosphere*, v. 8, n. 2, p. 18, 9 fev. 2017.

BARBOSA, R. V. R.; VECCHIA, F. Estudos de ilha de calor urbana por meio de imagens do Landsat 7 ETM + : estudo de caso em São Carlos (SP). *Minerva*, v. 6, n. 3, p. 273–278, 1996.

BUSATO, F.; LAZZARIN, R. M.; NORO, M. Three years of study of the Urban Heat Island in Padua: Experimental results. *Sustainable Cities and Society*, v. 10, p. 251–258, maio 2014.

CUADRAT, J. M.; VICENTE-SERRANO, S.; SAZ, M. A. Influence of different factors on relative air humidity in Zaragoza, Spain. *Frontiers in Earth Science*, v. 3, n. March, p. 131–141, 19 mar. 2015.

DORIGON, L. P.; AMORIM, M. C. DE C. T. Estrutura térmica da superfície de Paranavaí/PR através do Landsat 7. *Caderno Prudentino de Geografia*, v. 2, n. 35, p. 110–129, 2013.

GIONGO, P. R. et al. Albedo à superfície a partir de imagens Landsat 5 em áreas de cana-de-açúcar e cerrado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 3, p. 279–287, 2010.

HAMADA, S.; OHTA, T. Seasonal variations in the cooling effect of urban green areas on surrounding urban areas. *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 9, n. 1, p. 15–24, jan. 2010.

HART, M. A.; SAILOR, D. J. Quantifying the influence of land-use and surface characteristics on spatial variability in the urban heat island. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 95, n. 3–4, p. 397–406, 7 maio 2008.

IBGE. *Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais*. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2014/>>. Acesso em: 5 maio. 2015.

IQBAL, M. *An introduction to solar radiation*. New York: Academic Press, 1983.

LOMBARDO, M. A. *Ilhas de Calor nas Metrôpoles: o exemplo de São Paulo*. São Paulo: HUCITEC, 1985.

MARKHAM, B. L.; BARKER, J. L. Thematic Mapper bandpass solar exoatmospheric irradiances. *International Journal of Remote Sensing*, v. 8, n. 3, p. 517–523, 1 mar. 1987.

OESCH, D. C. et al. Lake surface water temperature retrieval using advanced very high resolution radiometer and Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer data: Validation and feasibility study. *Journal of Geophysical Research*, v. 110, n. C12, p. C12014, 2005.

PEREIRA, C. C. et al. Análise da temperatura de superfície e do uso da terra e cobertura vegetal na bacia barra dos coqueiros (Goiás). *Revista Geonorte*, v. 2, n. 5, p. 1243–1255, 2012.

RAO, P. K. Remote sensing of urban “heat islands” from an environmental satellite. *Bulletin of the American Meteorological Society*, n. 53, p. 647–648, 1972.

SALVADOR, M. DE A.; SANTOS, L. S. F. C. DOS. Análise da precipitação na cidade de São Paulo no período 1961-2009. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 7, p. 7–20, 2010.

SOUSA, S. B. DE; FERREIRA, L. G. Análise da temperatura de superfície em ambientes urbanos: um estudo por meio de sensoriamento remoto no município de Goiânia, Goiás (2002 – 2011). *Confins*, n. 15, 18 jun. 2012.

WENG, Q. Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 64, n. 4, p. 335–344, jul. 2009.