



INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS NATURAIS E ANTRÓPICAS NOS PADRÕES DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE: ANÁLISE POR MEIO DE REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA

INFLUENCE OF NATURAL AND ANTHROPOGENIC VARIABLES IN THE SURFACE TEMPERATURE STANDARDS: ANALYSIS BY MEANS OF MULTIPLE LINEAR REGRESSION

Elis Dener Lima Alves

*Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano-IF Goiano
Ceres, GO, Brasil*

e-mail: elis.alves@ifgoiano.edu.br

Recebido em: 05/02/2016

Aceito em: 11/11/2016

Resumo

A temperatura de superfície (TS) é um parâmetro importante nos estudos da dinâmica do ambiente térmico urbano. Diante disto este trabalho buscou avaliar a influência das variáveis geourbanas na distribuição espacial da temperatura de superfície, assim como o desempenho de modelos matemáticos para a sua estimativa na cidade de Iporá – Goiás. Para tanto, utilizou-se de imagens do satélite Landsat - 5, dados do IBGE e SRTM. O critério adotado para entrada e saída de variáveis no modelo foi o $p\text{-value} < 0,05$ (intervalo de confiança de 95%). Após realizadas as regressões calculou-se o root mean square error (RMSE) para se analisar os erros da estimativa. Os resultados mostraram que de modo geral: 1 - as variáveis geourbanas (NDVI, densidade demográfica, declividade e orientação das vertentes) apresentaram correlação negativa com a temperatura de superfície, isso denota que quanto menores os valores destas variáveis maiores serão os valores da temperatura de superfície; 2 - As variáveis mais influentes na regressão linear múltipla foram o NDVI que explicou 35% da variabilidade da TS e a densidade demográfica com 25%. Conclui-se que com o modelo de regressão linear múltipla utilizado foi possível a representação dos padrões da TS, sendo que 80,76% dos RMSE observados ocorreram na classe de menor magnitude (0°C a 2°C).

Palavras-chave: Clima urbano, Modelos matemáticos, Padrões térmicos.

Abstract

The surface temperature (ST) is an important parameter for studies of urban thermal environment dynamics. Therefore, this study aimed to evaluate the influence of geourban variables in the spatial distribution of surface temperature, as well as the performance of mathematical models for its estimation in the city of Iporá - Goiás. For this purpose, used images from the Landsat - 5, IBGE and SRTM data. The criteria adopted for input and output of variables in the model was the p-value < 0,05 (confidence interval of 95%). After performed the regressions, calculated the root mean square error (RMSE) to analyze the errors of estimation. The results showed that in general: 1 - the geourban variables (NDVI, population density, declivity and strands orientation) show negative correlation with the surface temperature. This shows that the smaller the values of these variables, the greater the surface temperature values; 2 - The most influential variables in the multiple linear regression were NDVI, that explained 35% of variability in ST and population density with 25%. It concludes that with the multiple linear regression model used was possible to represent the ST standards, while 80.76% of RMSE observed occurred in lesser magnitude class (0°C to 2°C).

Key-words: Urban climate, Mathematical models, thermal patterns.

1. INTRODUÇÃO

A temperatura de superfície (TS) é influenciada por diversos fatores. No momento em que a superfície recebe a radiação solar, ocorre uma interação em que parte da radiação é absorvida. Nas cidades, diversos fatores influenciam a absorção da radiação, como o tipo de superfície, localização, entre outros. Compreender esta relação pode fornecer subsídios ao planejamento urbano e consequentemente, minimização dos efeitos adversos.

O processamento de imagens de satélite na banda do infravermelho termal permite a obtenção de uma imagem momentânea da distribuição da temperatura de superfície terrestre com boa resolução espacial, algo que não é possível de obter com qualquer rede de medições estacionárias em solo. O sensoriamento remoto de dados no infravermelho termal tem sido amplamente usado para recuperar a temperatura da superfície.

Atualmente, muitas metodologias são adotadas para se estudar as variações no clima urbano (Mirzaei & Haghighat, 2010). Os dados necessários para estes estudos podem ser obtidos a partir de estações meteorológicas,

medições em pontos fixos, medições moveis, sensoriamento remoto, também podem ser obtidos a partir de modelos matemáticos (Elnesr, Abu-Zreig, & Alazba, 2010). Desta forma, vários estudos apresentam modelos matemáticos para estimar variáveis ambientais, tais como a temperatura do ar e de superfície umidade, radiação solar (Pezzuto, Labaki, & Mota, 2011).

A temperatura de superfície é um parâmetro importante nos estudos da dinâmica do ambiente térmico urbano (Weng, 2009). A TS modula a temperatura do ar da camada inferior da atmosfera urbana e é um fator primordial na troca de energia (Voogt & Oke, 1998). A avaliação da termografia por processamento de imagens de satélite parece, portanto, ser uma primeira investida no estudo das características térmicas ao nível local.

Diante disto este trabalho buscou avaliar a influência das variáveis geourbanas na distribuição espacial da temperatura de superfície, assim como o desempenho de modelos matemáticos para a sua estimação na cidade de Iporá – Goiás.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

O município de Iporá localiza-se no sudoeste do estado de Goiás, nas coordenadas de -16,26° e -50,94° (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 atualmente Iporá possui população de 31274 habitantes (IBGE, 2011). De 1980 aos dias atuais houve acréscimo de, aproximadamente, 4920 pessoas, distribuído ao longo dos anos.

A área de estudo localiza-se na borda da Bacia Sedimentar do Paraná, sendo que parte do município foi instalada em região identificada como Arco Magmático de Goiás (Navarro & Zanardo, 2007). O relevo em partes do município de Iporá é suavemente ondulado, apresentando afloramentos desgastados do arco magmático, com vertentes mais abruptas e elevações de

até 850 m, contrastando com a media de altitude do município que é de 600 m (Specian & Vecchia, 2014).

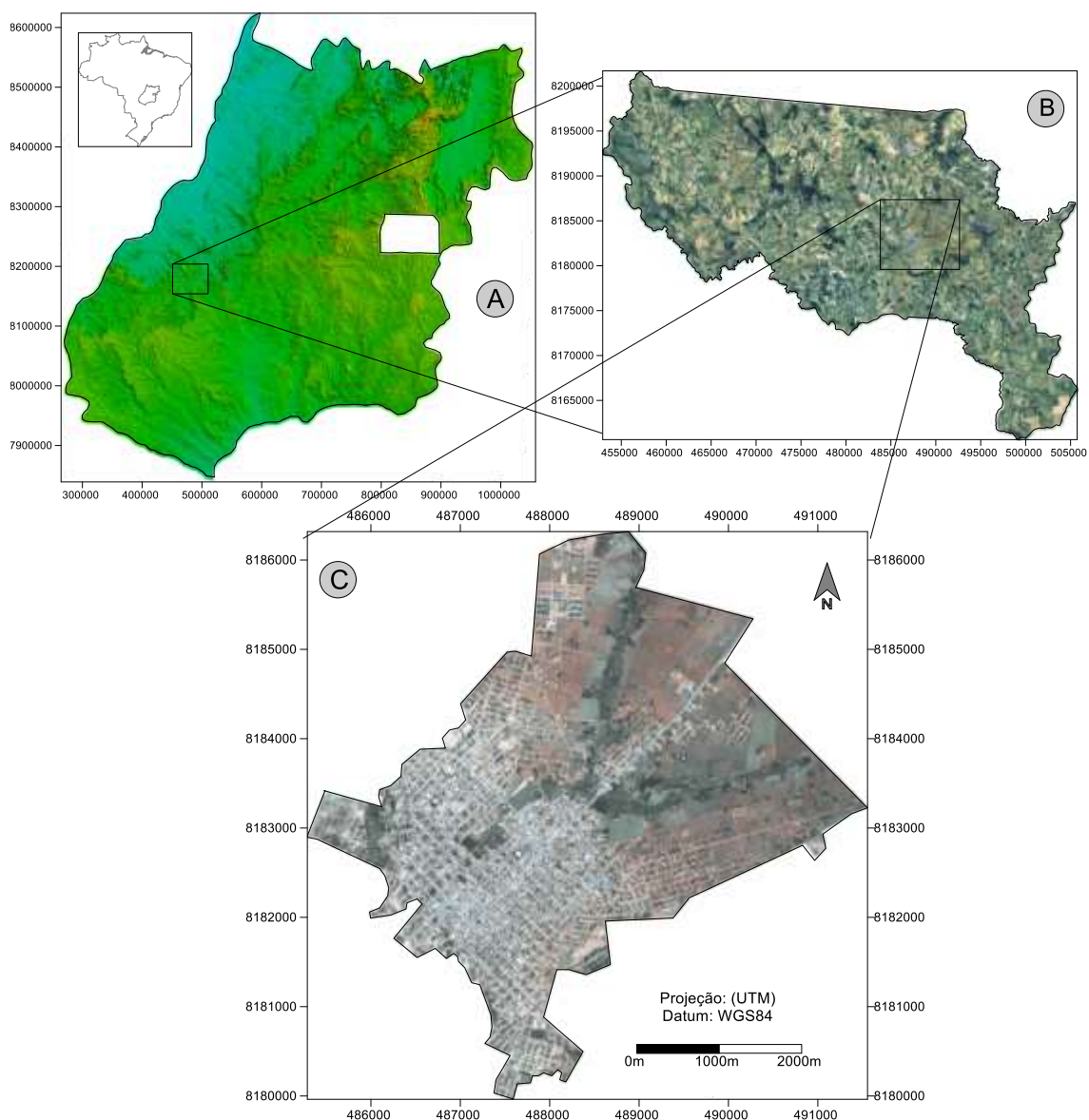


Figura 1. Mapa de localização do estado de Goiás (A), do município de Iporá (B) e da cidade de Iporá (C).

Neste estudo utilizou-se imagens do satélite Landsat 5, do dia 5 de setembro de 2010. Foram selecionadas 4 bandas, sendo as bandas 3, 4 e 7 para a confecção das variáveis geourbanas e a banda 6 para a elaboração da

imagem da temperatura de superfície. Estas imagens foram obtidas gratuitamente no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Para o processamento das imagens foram desenvolvidos modelos matemáticos por meio da ferramenta *Model Maker* do *software* Erdas Imagine 11, conforme o fluxograma da Figura 2.



Figura 2. Fluxograma para obtenção da temperatura de superfície.

2.2 RADIÂNCIA ESPECTRAL

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.

2.3 REFLECTÂNCIA

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 (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_{λ_i} é a radiância espectral de cada banda, k_{λ_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.

2.4 NDVI - NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX

Após os cálculos anteriores, procedeu-se o cálculo do NDVI, 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).

2.5 SAVI - SOIL ADJUSTED VEGETATION INDEX

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.

2.6 LAI - LEAF AREA INDEX

O LAI (Leaf Area Index) é um indicador da biomassa de cada pixel da imagem, é 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.

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

2.7 EMISSIVIDADE

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 et al., 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 $LAI \geq 0,98$, $\varepsilon_{NB} = \varepsilon_0 = 0,98$. Para corpos de água ($NDVI < 0$), utilizou-se os valores de $\varepsilon_{NB} = 0,99$ e $\varepsilon_0 = 0,985$, conforme (Allen et al., 2002).

2.8 TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE

Na etapa 5 computou-se a temperatura de superfície a partir da radiância espectral da banda termal $L_{\lambda 6}$ e a missividade ε_{NB} obtida na etapa anterior. Dessa forma, obteve-se a temperatura da superfície em graus Kelvin (K) pela Equação 10, e posteriormente foi convertida para graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$) (Equação 11).

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

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

Em que $T_{s(K)}$ é a temperatura de superfície obtida em graus kelvin, $T_{s(^{\circ}\text{C})}$ 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 et al., 2002).

Após o calculo da TS foram extraídos dados em dois trasectos, um com direção norte - sul e outro com direção leste - oeste Figura 3. O transecto norte - sul obteve 224 dados e o transecto leste - oeste 208, estes transectos foram utilizados para se nalisar a relação das variaveis geourbanas e a temperatura de superfície.

ALVES, E.D.L.
**INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS NATURAIS E ANTRÓPICAS NOS PADRÕES DA TEMPERATURA DE
SUPERFÍCIE: ANÁLISE POR MEIO DE REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA**

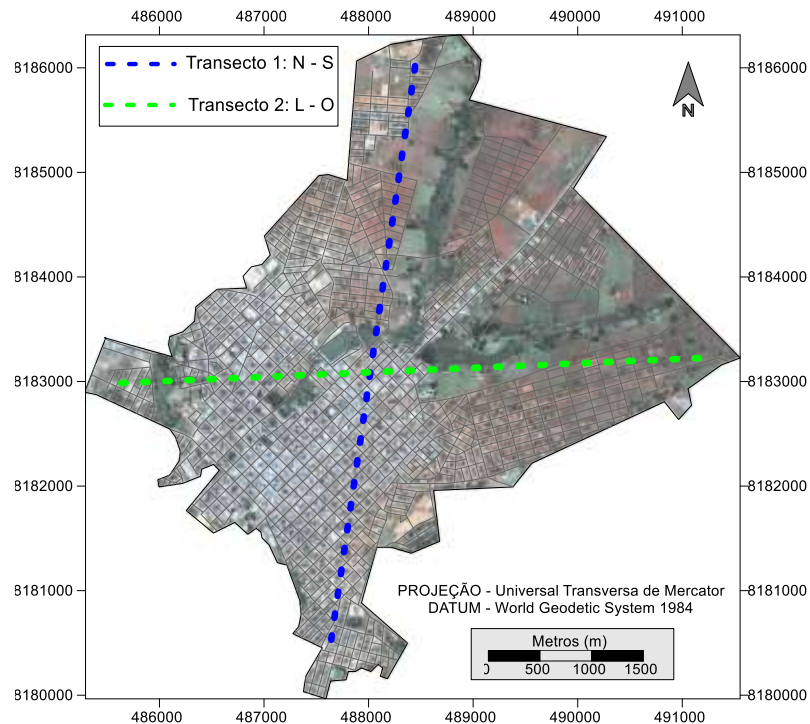


Figura 3. Transectos utilizados para extração de dados da temperatura de superfície.

A regressão linear múltipla é uma técnica multivariada cuja finalidade principal é obter uma relação matemática entre uma das variáveis estudadas (variável dependente ou resposta) e o restante das variáveis que descrevem o sistema (variáveis independentes ou explicativas), e reduzir o número de variáveis independentes com o mínimo de perda de informação. Sua principal aplicação, após encontrar a relação matemática, é produzir valores para a variável dependente quando se têm as variáveis independentes (Lapponi, 2005).

De acordo com (Montgomery, Peck, & Vining, 2012) o modelo de regressão linear múltipla (MRLM) com k variáveis de controle pode ser representado pela Equação 12.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki} + \varepsilon_i \quad \text{Equação 12}$$

Os coeficientes de regressão $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ são descrito por (Montgomery et al., 2012) como: β_0 coeficiente do intercepto, o qual corresponde à média de Y_i quando todas as variáveis de controle são iguais a zero; os coeficientes $\beta_1, \dots, \beta_k$ coeficientes de regressão parciais. O coeficiente β_k pode ser interpretado como a derivada parcial de Y_i em relação a X_{ki} , ou seja, é a variação de Y causada por uma variação unitária em X_k dado que as outras variáveis de controle sejam mantidas constantes.

Com a finalidade de verificar estatisticamente quais as variáveis independentes com maior potencialidade de contribuir para o cálculo da temperatura de superfície empregou-se a técnica de regressão linear múltipla passo-a-passo.

Conforme descrito por (Lapponi, 2005; Ribeiro Júnior, 2001) a regressão passo-a-passo é uma ferramenta bastante conhecida, utilizada para verificar quais as melhores variáveis independentes para uma determinada variável dependente, levando em conta apenas a dependência linear entre as variáveis. Neste tipo de análise, um modelo é desenvolvido pela inserção de uma variável independente a cada passo, a partir do conjunto total de variáveis. A primeira variável independente inserida será aquela que apresentar maior correlação com a variável dependente. Isto é, aquela que melhor explicar a variância. A partir daí, a cada passo, será inserida nova variável independente que assegure a representação da maior fração de variância que não foi explicada pela inserção das anteriores. Ao longo do processo, variáveis independentes podem também ser excluídas do modelo, caso a inserção de outras, consiga explicar melhor a variância, tornando-a desnecessária. O critério adotado para entrada e saída no modelo foi o nível de significância de cada variável independente com relação à variável dependente em cada passo, o software utilizado foi o Statistica.

Foi fixado como critério de entrada $p\text{-value} < 0,05$ (intervalo de confiança de 95%). Assim, a variável que explicar uma fração de variância que levar a um $p\text{-value} < 0,05$ em cada passo, será inserida.

De posse do melhor modelo de regressão linear múltipla, este foi utilizado para a estimativa dos valores de temperatura de superfície. No

software Surfer 13 foi realizada a análise semivariográfica e a interpolação no intuito de se identificar o melhor método para representação dos dados estimados.

Utilizou-se o root mean square error (RMSE) para se analisar os erros da estimativa. RMSE é a medida da magnitude média dos erros estimados, tem valor sempre positivo e quanto mais próximo de zero, maior a qualidade dos valores medidos ou estimados (Alves & Vecchia, 2011), pode ser calculado pela Equação 13.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2}$$

Equação 13

Em que E_i e O_i são os valores estimados e observados (medidos), respectivamente, e n é o número de observações. O RMSE tem sido utilizado como estatista padrão para mensurar a desempenho dos modelos em meteorologia (Chai & Draxler, 2014).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 RELAÇÃO ENTRE TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE E VARIÁVEIS GEOURBANAS

Os dados da Figura 4 e Figura 5 foram padronizados pelo processo de standardize, para que os dados das variáveis geourbanas e da temperatura de superfície ficassem na mesma escala de valores, por isso os valores da escala y não são importantes, o que é interessante são as relações entre a TS e as variáveis geourbanas.

Conforme a Figura 4 a temperatura de superfície no transecto 1 (norte-sul) teve correlação negativa com o NDVI, densidade demográfica, altitude, e orientação das vertentes, correlações positivas foram observadas com as variáveis geourbanas: índice de urbanização e declividade das vertentes.

ALVES, E.D.L.
**INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS NATURAIS E ANTRÓPICAS NOS PADRÕES DA TEMPERATURA DE
 SUPERFÍCIE: ANÁLISE POR MEIO DE REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA**

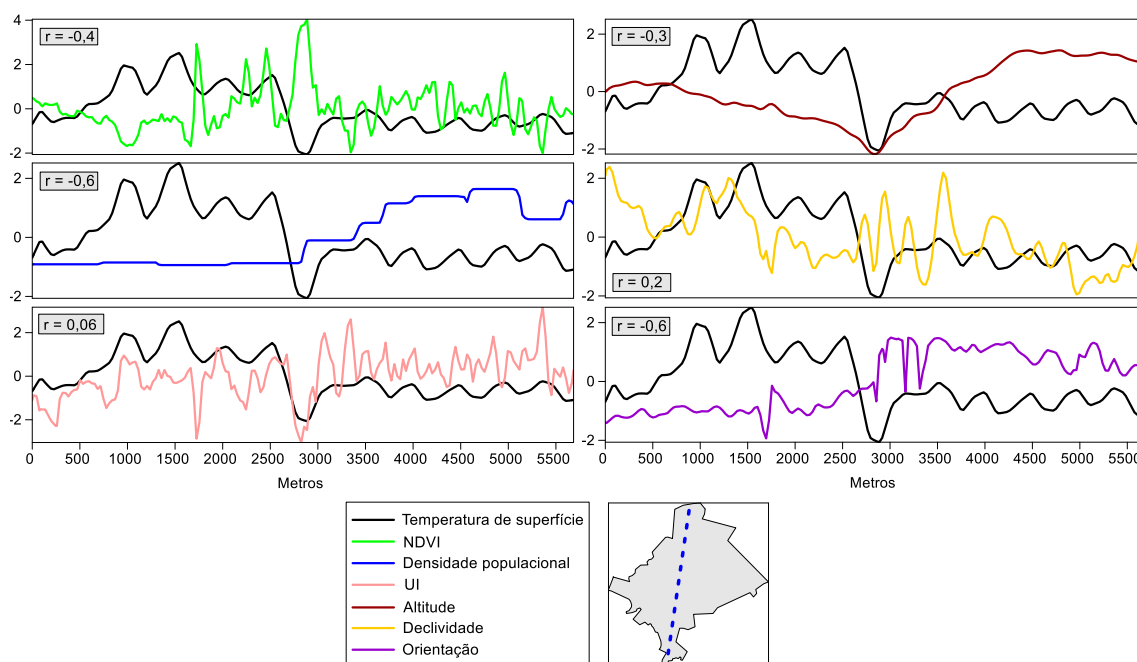


Figura 4. Relação entre as variáveis geourbanas e a temperatura de superfície - transecto 1.

Na Figura 5 estão as relações observadas no transecto 2 (leste – oeste), assim como no transecto 1 as variáveis NDVI e densidade demográfica obtiveram correlações negativas e o índice de urbanização correlação positiva. Diferentemente do transecto 1, no transecto 2 a altitude e a declividade tiveram correlações negativas e a orientação das vertentes correlação positiva.

INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS NATURAIS E ANTRÓPICAS NOS PADRÕES DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE: ANÁLISE POR MEIO DE REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA

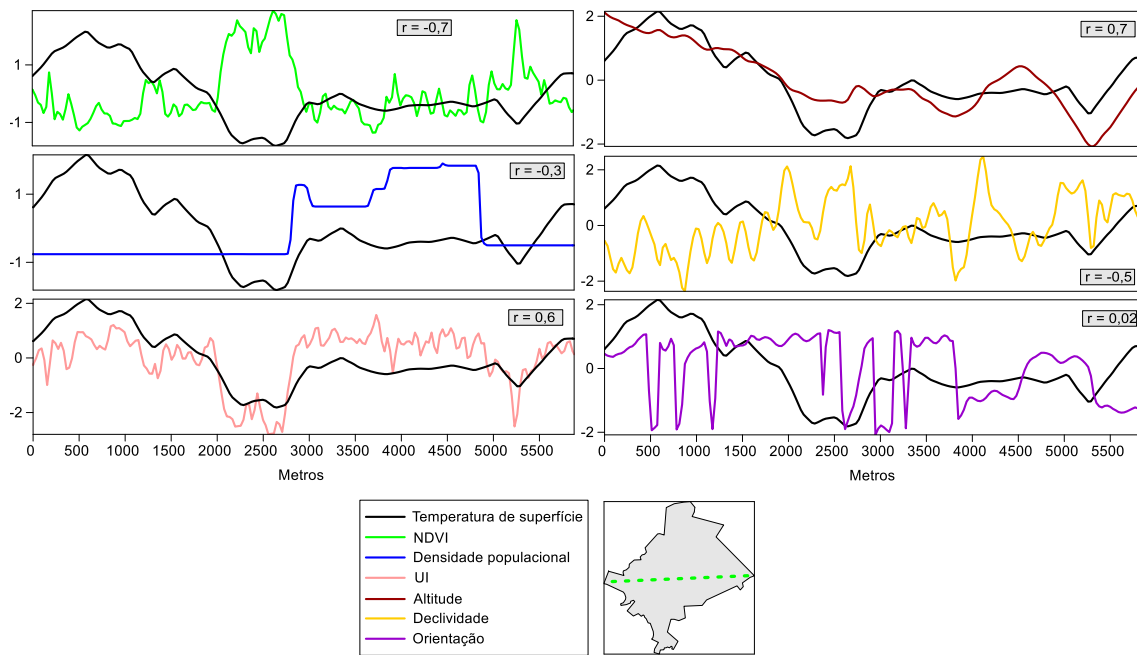


Figura 5. Relação entre as variáveis geourbanas e a temperatura de superfície - transecto 2.

Devido às discrepâncias das correlações do trasecto 1 e 2 realizou-se o computo das correlações com todo o conjunto de dados. Essas correlações podem ser averiguadas na Tabela 1, nesta observa-se que quatro variáveis (NDVI, densidade demográfica, declividade e orientação das vertentes) apresentaram correlação negativa com a temperatura de superfície, isso denota que quanto menores os valores destas variáveis maiores serão os valores da temperatura de superfície. Esta relação inversa entre NDVI e a TS já foi observada por diversos autores (Liu & Zhang, 2011; Weng, 2009). Entretanto, a relação negativa da densidade demográfica não apresenta correspondência na literatura (Oke, 1973), contudo, isso se justifica devido a influência majoritária das outras variáveis geourbanas.

Tabela 1. Coeficientes de correlação entre a temperatura de superfície e as variáveis geourbanas.

NDVI	DD	IU	A	DV	OV
r = -0,59	r = -0,38	r = 0,44	r = 0,32	r = -0,14	r = -0,25

3.2 REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE

Conforme a Tabela 2 a regressão que melhor explicou a variabilidade da TS foi constituída pelas 6 variáveis utilizadas nesta pesquisa, com p-value <0,05. O NDVI explicou 35% da variabilidade da TS e a densidade demográfica 25%, estas são as variáveis mais influentes observadas na regressão linear múltipla.

Tabela 2. Contribuição de cada variável no padrão da temperatura de superfície.

Variáveis	r ²	Influência (%)
NDVI	0,353	35,33
NDVI, DD	0,607	25,34
NDVI, DD, A	0,676	6,91
NDVI, DD, A, IU	0,728	5,23
NDVI, DD, A, IU, OV	0,738	0,96
NDVI, DD, A, IU, OV, DV	0,743	0,50

A equação que melhor explicou a variabilidade da Ts está representada na Equação 14, com r² de 0,743.

$$T_s = 8,262 - (5,772 \times \text{NDVI}) - (0,00108 \times \text{DD}) + (8,418 \times \text{IU}) + (0,0416 \times \text{A}) - (0,147 \times \text{DV}) - (0,00235 \times \text{OV}) \quad \text{Equação 14}$$

O modelo semivariográfico utilizado para a interpolação da temperatura de superfície (Figura 6) foi o modelo exponencial, com r^2 de 0,97, com 1,32 de efeito pepita (C_0). O patamar (C_0+C) foi de 7,65 e o alcance (A_0) de 6666 m, valores que estão acima do valor máximo estipulado (5,6 para o patamar e 3200 para o alcance). Portanto o semivariograma utilizado não indicou o limite de dependência espacial dentro da área de estudo, com isso todos os valores da temperatura de superfície na área foram dependentes.

O modelo semivariográfico (Figura 6) foi utilizado na krigagem dos valores da temperatura de superfície obtidos por meio da regressão linear múltipla.

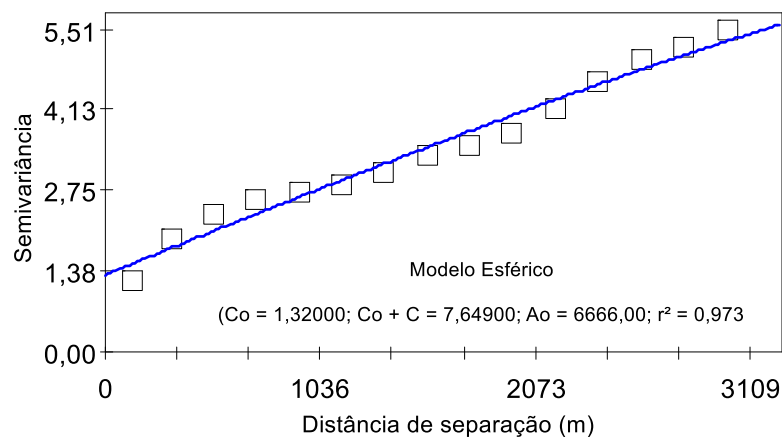


Figura 6. Modelo semivariográfico utilizado para krigagem da temperatura de superfície.

Na Figura 7A tem-se a temperatura de superfície e na Figura 7B a temperatura de superfície estimada (TSE).

O maior aquecimento de algumas áreas (Figura 7A) pode estar relacionado tanto à baixa umidade de determinadas superfícies quanto à maior radiação que se processou sobre as mesmas quando comparadas as áreas mais urbanizada, fato descrito por (MENDONÇA; DUBREUIL, 2005).

A TS e a TSE variaram de 20°C a 36°C. Nota-se que com o modelo da regressão foi possível a representação dos padrões da TS. Observa-se que a temperatura de superfície estimada subestimou as máximas e os valores

INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS NATURAIS E ANTRÓPICAS NOS PADRÕES DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE: ANÁLISE POR MEIO DE REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA

absolutos são relativamente diferentes. As áreas da imagem da TSE na faixa de 32°C - 33°C (principalmente no norte, nordeste e leste da imagem) foram bem maiores que as áreas da TS. Ressalta-se que um modelo/regressão possui suas limitações e, naturalmente, a sua representação da realidade consiste em uma aproximação.

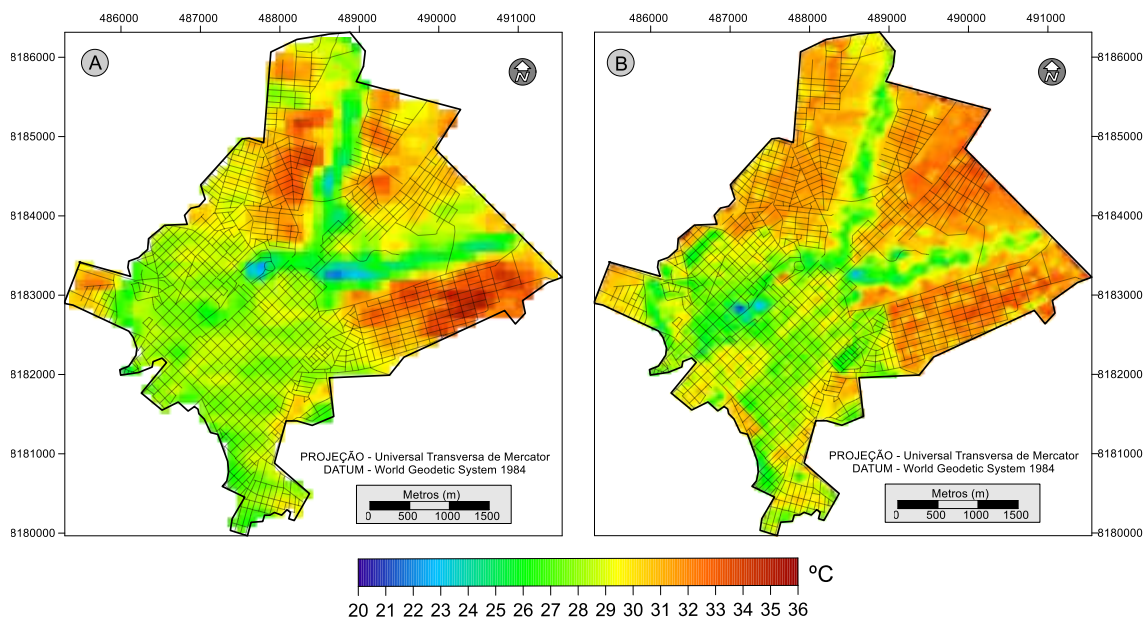


Figura 3. Temperatura de superfície - TS (A) e temperatura de superfície estimada - TSE pela regressão linear múltipla (B).

O Root mean square error (RMSE) da estimativa da temperatura de superfície (Figura 8) variou de 0°C a 10°C, o que denota grande amplitude, entretanto, ao se analisar mais estritamente nota-se que 80,76% dos RMSE observados ocorreram na classe de 0°C a 2°C, 17,65% na classe de 2°C a 4°C, 1,39% na classe de 4°C a 6°C e acima de 6°C apenas 0,25%. Portanto a amplitude verificada na Figura 8 não reflete o desempenho do modelo, pois a maior parte dos RMSE estiveram baixos, o que reflete a qualidade da estimativa realizada.

ALVES, E.D.L.
**INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS NATURAIS E ANTRÓPICAS NOS PADRÕES DA TEMPERATURA DE
SUPERFÍCIE: ANÁLISE POR MEIO DE REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA**

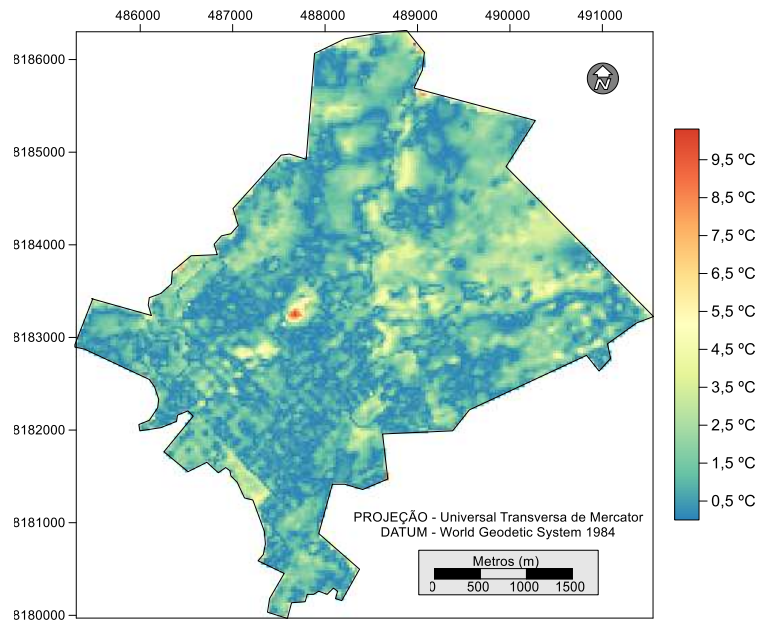


Figura 4. *Root mean square error* (RMSE) da regressão linear múltipla.

4. CONSIDERAÇÕES

Dentre os resultados obtidos, destacam-se:

1 - De modo geral as variáveis geourbanas (NDVI, densidade demográfica, declividade e orientação das vertentes) apresentaram correlação negativa com a temperatura de superfície, isso denota que quanto menores os valores destas variáveis maiores serão os valores da temperatura de superfície.

2 - As variáveis mais influentes observadas na regressão linear múltipla foram o NDVI que explicou 35% da variabilidade da TS e a densidade demográfica com 25%.

3 - O modelo semivariográfico utilizado não indicou o limite de dependência espacial dentro da área de estudo, com isso todos os valores da temperatura de superfície foram dependentes espacialmente.

4 - Com o modelo de regressão linear múltipla utilizado foi possível a representação dos padrões da TS, sendo que 80,76% dos RMSE observados ocorreram na classe de 0°C a 2°C.

Sugere-se, futuramente, pesquisas que busquem relacionar a temperatura de superfície com a temperatura do ar, de modo a criar um modelo preditivo. Tal modelo poderá ser útil nos prognósticos de ocorrência de elevadas temperaturas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela bolsa nº 2012/10450-0.

5. REFERÊNCIAS

- 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. D. L. Geourban influences analysis on Iporá - Goiás urban climate. **Geofocus**, v. 17, p. 166, 2016.
- ALVES, E. D. L.; SPECIAN, V. **Caracterização do Balanço Hídrico e Clima do Município de Iporá (GO)**. 1º Encontro de Divulgação da Produção Científica do Oeste de Goiás. **Anais...**Iporá: 2008
- ALVES, E. D. L.; VECCHIA, F. A. S. Análise de diferentes métodos de interpolação para a precipitação pluvial no Estado de Goiás. **Acta Scientiarum. Human and Social Sciences**, v. 33, n. 2, p. 193–197, 2011.
- AMORIM, M. C. DE C. T.; DUBREUIL, V.; CARDOSO, R. DOS S. Modelagem espacial da ilha de calor urbana em Presidente Prudente (SP) - Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 16, n. 11, p. 29–45, 2015.
- CHAI, T.; DRAXLER, R. R. Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? - Arguments against avoiding RMSE in the literature. **Geoscientific Model Development**, v. 7, n. 3, p. 1247–1250, 2014.
- ELNESR, M. N.; ABU-ZREIG, M. M.; ALAZBA, A. A. Temperature Trends and Distribution in the Arabian Peninsula. **American Journal of Environmental Sciences**, v. 6, n. 2, p. 191–203, 1 fev. 2010.
- HAASHEMI, S. et al. Seasonal Variations of the Surface Urban Heat Island in a Semi-Arid City. **Remote Sensing**, v. 8, n. 4, p. 352, 2016.
- IBGE. **Base de informações do Censo Demográfico 2010: resultados da Sinopse por setor censitário**. Rio de Janeiro: Centro de Documentação e Disseminação de Informações, 2011.
- 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.
- ISAAKS, E.; SRIVASTAVA, M. **An Introduction to Applied Geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989.
- LAPPONI, J. C. **Estatística Usando Excel**. 4. ed. Rio de Janeiro: CAMPUS - RJ, 2005.
- LIU, L.; ZHANG, Y. Urban Heat Island Analysis Using the Landsat TM Data and ASTER Data: A Case Study in Hong Kong. **Remote Sensing**, v. 3, n. 12, p. 1535–1552, 13 jul. 2011.
- LOPES, A. et al. Lisbon Urban Heat Island Updated: New Highlights about the Relationships between Thermal Patterns and Wind Regimes. **Advances in Meteorology**, v. 2013, p. 1–11, 2013.
- 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.
- MENDONÇA, F.; DUBREUIL, V. Termografia de superfície e temperatura do ar na RMC (Região Metropolitana de Curitiba/PR). **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 9, n. 9, p. 25–35, 29 nov. 2005.
- MIRZAEI, P. A.; HAGHIGHAT, F. Approaches to study Urban Heat Island – Abilities and limitations. **Building and Environment**, v. 45, n. 10, p. 2192–2201, out. 2010.
- MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A.; VINING, G. G. **Introduction to Linear Regression Analysis**. 5. ed. [s.l.] John Wiley & Sons, 2012.
- MULLER, C. L. et al. Sensors and the city: a review of urban meteorological networks. **International Journal of Climatology**, v. 33, n. 7, p. 1585–1600, 15 jun. 2013.
- NAVARRO, G. R. B.; ZANARDO, A. Geoquímica de gnaisses do arco magmático de Goiás na região sul do estado de Goiás. **Geologia USP - Serie Científica**, v. 7, n. 1, p. 19–28, 2007.
- NGIE, A. et al. Assessment of urban heat island using satellite remotely sensed imagery: a review. **South African Geographical Journal**, v. 96, n. 2, p. 198–214, 3 jul. 2014.
- NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 4. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1979.
- OKE. City size and the urban heat island. **Atmospheric Environment**, v. 7, n. 8, p. 769–779, ago. 1973.
- RASUL, A.; BALZTER, H.; SMITH, C. Diurnal and Seasonal Variation of Surface Urban Cool and Heat Islands in the Semi-Arid City of Erbil, Iraq. **Climate**, v. 4, n. 3, p. 42, 2016.
- RIBEIRO JÚNIOR, J. I. **Análises estatísticas no SAEG**. 1. ed. Viçosa: UFV, 2001.

**INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS NATURAIS E ANTRÓPICAS NOS PADRÕES DA TEMPERATURA DE
SUPERFÍCIE: ANÁLISE POR MEIO DE REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA**

SPECIAN, V.; VECCHIA, F. A. S. Distribuição da frequência mensal da precipitação para região Oeste de Goiás: comparação entre dois postos pluviométricos. **Ateliê Geográfico**, v. 8, n. 1, p. 200–214, 2014.

STEINK, E. T. **Considerações sobre variabilidade e mudança climática no Distrito Federal, suas repercussões nos recursos hídricos e informação ao grande público**. [s.l.] Universidade de Brasília, 2004.

VOOGT, J. A.; OKE, T. R. Effects of urban surface geometry on remotely-sensed surface temperature. **International Journal of Remote Sensing**, v. 19, n. 5, p. 895–920, jan. 1998.

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.