

INTENSIDADE E MODELAGEM DAS ILHAS DE CALOR URBANAS DE SUPERFÍCIE EM CIDADES DE PEQUENO PORTE: ANÁLISE DA REGIÃO DO OESTE GOIANO

Intensity and modeling of surface urban heat islands in small cities: analysis of west Goiás region

Elis Dener Lima Alves*

***Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - IF GOIANO / Ceres, Goiás**
elis.alves@ifgoiano.edu.br

RESUMO

A temperatura de superfície é um importante parâmetro para examinar o ambiente térmico das cidades, com uma cobertura espacial contínua de grandes áreas. Por isso, o objetivo desta pesquisa foi de analisar as ilhas de calor urbanas de superfície (ICUS) no Oeste Goiano e propor equações baseadas na população, área urbana e índice de desenvolvimento humano (IDH) para estimar suas intensidades máximas. Para tanto, calculou-se a temperatura de superfície para 20 cidades da Região do Oeste Goiano. Posteriormente, para o cálculo da ilha de calor urbana de superfície, foram elaborados dois *buffers* para cada cidade, um que representa a área urbana e o outro que representa a área rural circundante (550 m). Os resultados evidenciaram que a cidade de Iporá apresentou a maior temperatura da superfície, assim como a maior Intensidade das ICUS das cidades estudadas. A equação proposta para estimar as intensidades máximas das ICUS, a partir da população, obteve melhor desempenho que as equações propostas por Oke (1973), Torok et al., (2001), Sun (2015) e Lee (1993). A equação final, proposta como modelo preditor das intensidades máximas das ICUS, para a Região do Oeste Goiano, utilizando as três variáveis (População, área urbana e IDH) obteve r^2 de 0,6, com baixos valores do Root Mean Square Error (RMSE).

Palavras-chave: Ambiente Térmico. Cidades Pequenas. Sensoriamento Remoto.

ABSTRACT

The surface temperature is an important parameter to examine the cities' thermal environment with a continuous spatial coverage of large areas. Therefore, the objective of this research was to analyze the surface urban heat islands (SUHI) in West Goiás and propose population-based equations, urban and human development Index (HDI), to estimate their maximum intensity. For this, we calculated the surface temperature of 20 cities at West Goiás Region. Thereafter, for the calculation of the surface urban heat island, were prepared two buffers for each city, representing the urban area and the other representing the rural surrounding area (550m). The results showed that the city of Iporá had the highest surface temperature, as well as greater intensity of SUHI of all the studied cities. The equation proposed to estimate maximum intensities of SUHI, from the population, performed better than the equations proposed by (OKE, 1973), (TOROK et al., 2001), (SUN, 2015) and (Lee, 1993). The final equation, proposed as a predictive model of maximum intensities of SUHI, for the West Goiás Region, using the three variables (population, urban area and HDI) obtained r^2 0.6, with low values of Root Mean Square Error (RMSE).

Keywords: Thermal Environment. Small Towns. Remote Sensing.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento dos centros urbanos criou, no decorrer dos anos, aquecimento acentuado nas áreas urbanas em relação ao ambiente rural (ALCOFORADO et al., 2014; ALVES; LOPES, 2017). As transformações no uso do solo, por causa da urbanização, podem alterar o equilíbrio de energia

nas cidades e afeta o ambiente térmico urbano, criando o efeito de ilha de calor urbana (ICU), segundo o qual as áreas urbanas, muitas vezes, apresentam temperaturas superiores às das áreas rurais circundantes (ALVES, 2016; LOPES et al., 2013).

A temperatura de superfície é um importante parâmetro para se analisar a Ilha de calor urbana (ALVES, 2017; MA; KUANG; HUANG, 2010). A ilha de calor urbana é geralmente avaliada de duas formas. Tradicionalmente, a ICU tem sido mensurada pelas observações terrestres por meio de transectos móveis ou redes de estações meteorológicas (VOOGT; OKE, 2003), com o avanço de novas tecnologias geoespaciais, os pesquisadores tem utilizado, cada vez as imagens de satélite para a estimação da ilha de calor urbana de superfície (ALVES; BIUDES, 2013; ALVES; LOPES, 2017; LOPES et al., 2013).

Comparado ao método tradicional, o sensoriamento remoto por satélite fornece uma maneira direta e consistente para examinar o ambiente térmico das cidades, podendo se obter uma cobertura espacial contínua de grandes áreas (ALVES, 2016; AMORIM; DUBREUIL; CARDOSO, 2015; XU; QIN; WAN, 2010), entretanto, conforme Alcoforado et al., (2007) e Lucena (2013) a ilha de calor urbana (ICU) difere da ilha de calor urbana de superfície (ICUS), pois a primeira se refere a diferença da temperatura do ar da área urbana em relação à rural, enquanto que a segunda se refere a temperatura da superfície.

A ICUS é afetada por vários fatores, incluindo o tamanho da cidade e a população (OKE, 1973), superfícies impermeáveis (baixo albedo, diminuição da evapotranspiração), topografia, liberação de calor antropogênico, população e as condições meteorológicas (COSEO; LARSEN, 2014; TAN; LI, 2015).

Diversos pesquisadores desenvolveram equações, com diferentes fatores, para se estimar a ilha de calor urbana, tais como: (COSEO; LARSEN, 2014; OKE, 1973, 1981; SOUZA et al., 2010; TAN; LI, 2015; TOROK et al., 2001).

Entretanto, não se tem registros de estudos que relacionaram o índice de desenvolvimento humano (IDH) com a ilha de calor urbana. No entanto, é importante observar se existe influência do IDH sobre a ICU e a ICUS. Primeiro porque pode contribuir para a modelagem climática, previsão do tempo e planejamento urbano. Segundo que estas questões são de particular interesse para os países que estão em fase de desenvolvimento ou rápida urbanização (TAN; LI, 2015; WU et al., 2014). Por isso, o objetivo desta pesquisa foi de propor equações baseadas na população, área urbana e IDH para estimar intensidades máximas das ilhas de calor urbanas de superfície para Região do Oeste Goiano.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 O clima do Sudoeste Goiano

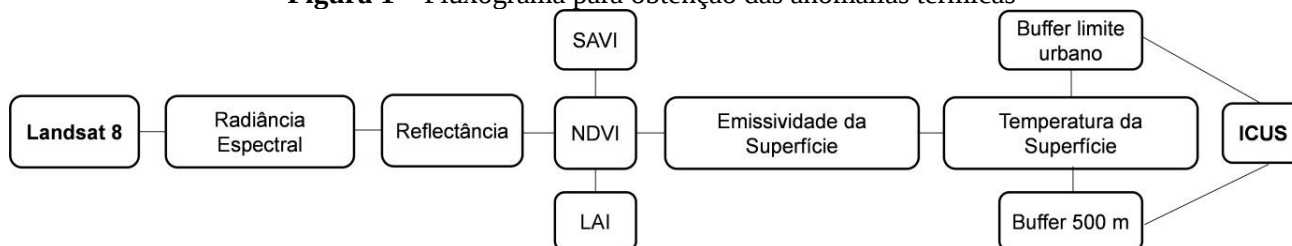
Nimer (1979) define o clima do estado de Goiás como Tropical Semi-Úmido e que o estado e a região Centro Oeste estão sujeitos a mudanças bruscas, ocasionados pelo sistema de correntes perturbadas. O estudo de Alves e Specian (2008) indica que o clima de Iporá é “primeiro” úmido com moderado déficit de água no inverno e grande excesso no verão.

O clima da Região Centro Oeste é dominado por uma série de sistemas atmosféricos, destaque para massa Tropical atlântica (mTa) que, devido à ação persistente do anticiclone do Atlântico Sul, possui atuação durante o ano todo, sendo que no inverno, o resfriamento basal aumenta a estabilidade superior, contribuindo para a ocorrência de bom tempo (STEINK, 2004). A autora afirma ainda que durante o verão a massa Equatorial continental (mEc) em conjunto com outros sistemas é responsável pelo aumento de umidade e chuvas na região.

2.2 Procedimento metodológico para o cálculo da ilha de calor de superfície

Para a aquisição das ilhas de calor de superfície das cidades do Oeste Goiano foram realizadas várias etapas. A primeira foi o cálculo da temperatura da superfície, computada a partir na banda termal (banda 10) do Landsat - 8, com resolução espacial de 100 m, porém processadas para 30 m, com comprimento de onda de 10.6 μm a 11.19 μm . Para o processamento das imagens foram desenvolvidos modelos matemáticos por meio da ferramenta Model Maker do software Erdas Imagine 11. Na Figura 1 está o fluxograma, com as etapas do processamento das imagens para obtenção das anomalias térmicas.

Figura 1 – Fluxograma para obtenção das anomalias térmicas



Foram utilizadas as imagens do dia 16/09/2014, por se tratar de um período de pouca cobertura de nuvens, além disso, nos outros anos, não foram possíveis a obtenção simultânea das imagens para toda a área de estudo. Foram necessárias seis imagens para cobrir toda a Região do Oeste Goiano. Posteriormente, para o cálculo da ilha de calor urbana de superfície, foram elaborados dois *buffers* para cada cidade, um que representa a área urbana e o outro que representa a área rural circundante (550 m) conforme sugestão de Oke (2006) (Figura 2).

De posse dos buffers da temperatura de superfície, seguindo a definição da intensidade da ilha de calor urbana de superfície, como sendo a diferença da temperatura entre a área mais aquecida da cidade e o seu subúrbio (OKE, 1973), calculou-se a ICUS de acordo com a Equação 1.

$$ICUS = TS_C - TS_R$$

Equação 1

Em que TS_C é o valor máximo da temperatura da superfície dentro da área urbana e TS_R o valor médio da temperatura de superfície no *buffer* de 500 m a partir do limite urbano (Figura 2).

A região do Oeste Goiano possui 43 municípios, que representam 17,5% dos municípios e 15,5% da área territorial do estado de Goiás (SEPIN, 2010). Destas 43 cidades foram selecionadas 20 (Tabela 1). O critério para escolha de cada cidade baseou-se em três características (População, Área Urbana e IDH), na qual se procurou selecionar cidades com características diferentes.

A localização das cidades selecionadas do Oeste Goiano pode ser observada na Figura 2, assim como os limites estabelecidos para o cálculo da intensidade da ICUS.

De posse da intensidade da ilha de calor urbana de superfície das 20 cidades, utilizou-se da técnica de regressão linear múltipla passo-a-passo, nas quais as variáveis: população, área urbana e IDH, foram inseridas no modelo quando o *p-value* fosse menor que 0,05. 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 2.

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

Equação 2

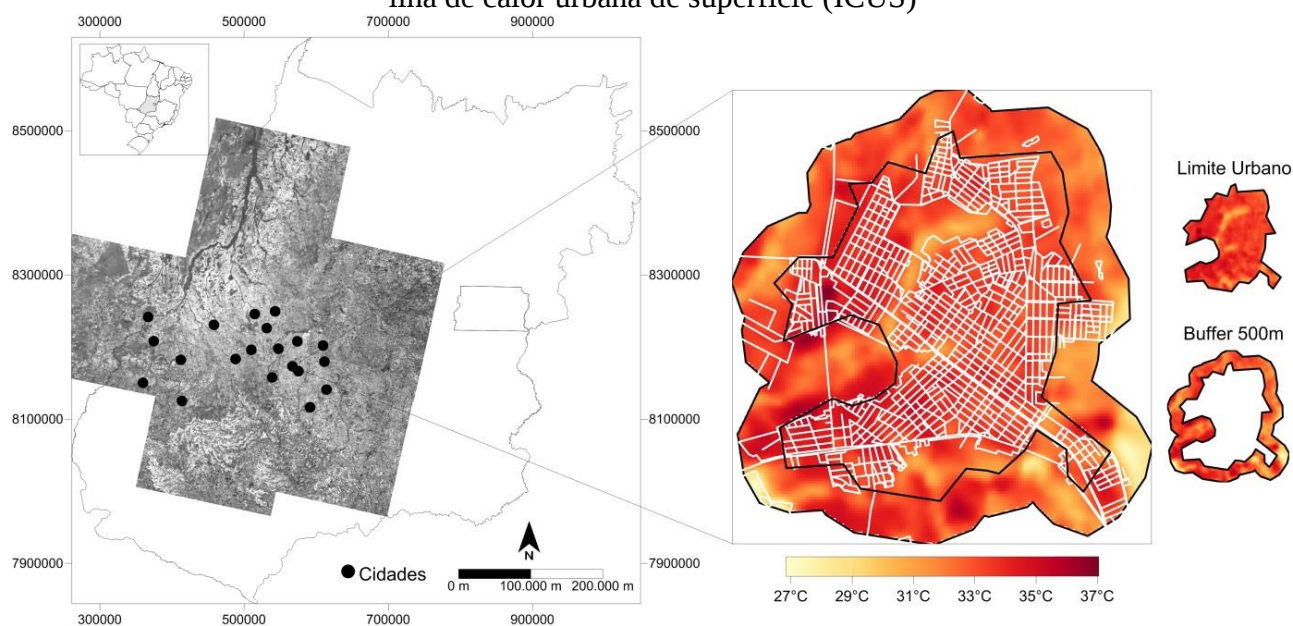
Em que E_i e O_i são os valores estimados e observados (medidos), respectivamente, e n é o número de observações. O RMSE tem sido utilizado como estatística padrão para mensurar a desempenho dos modelos em meteorologia (CHAI; DRAXLER, 2014).

Tabela 1 – Características das cidades do Oeste Goiano selecionadas

Cidade	População	Área urbana (Km ²)	IDH
Americano do Brasil	5508	1,6	0,732
Anicuns	20272	3,438	0,721
Aragarças	18310	6,897	0,748
Bom Jardim de Goiás	8423	2,718	0,737
Cachoeira de Goiás	1417	0,56	0,704
Caiapônia	16734	4,234	0,735
Córrego do Ouro	2629	0,83	0,726
Doverlândia	7892	2,575	0,71
Firminópolis	11603	2,662	0,745
Iporá	31274	12,602	0,78
Israelândia	2888	0,885	0,73
Itapirapuã	7851	4,201	0,707
Jandaia	6164	2,81	0,746
Jussara	19086	4,74	0,74
Montes Claros de Goiás	8000	2,022	0,75
Novo Brasil	3516	1,365	0,712
Palmeiras de Goiás	23333	5,907	0,76
Piranhas	11268	4,045	0,737
Sanclerlândia	7563	2,242	0,734
São Luís de Montes Belos	30050	9,289	0,752

Fonte: (SEPIN, 2010).

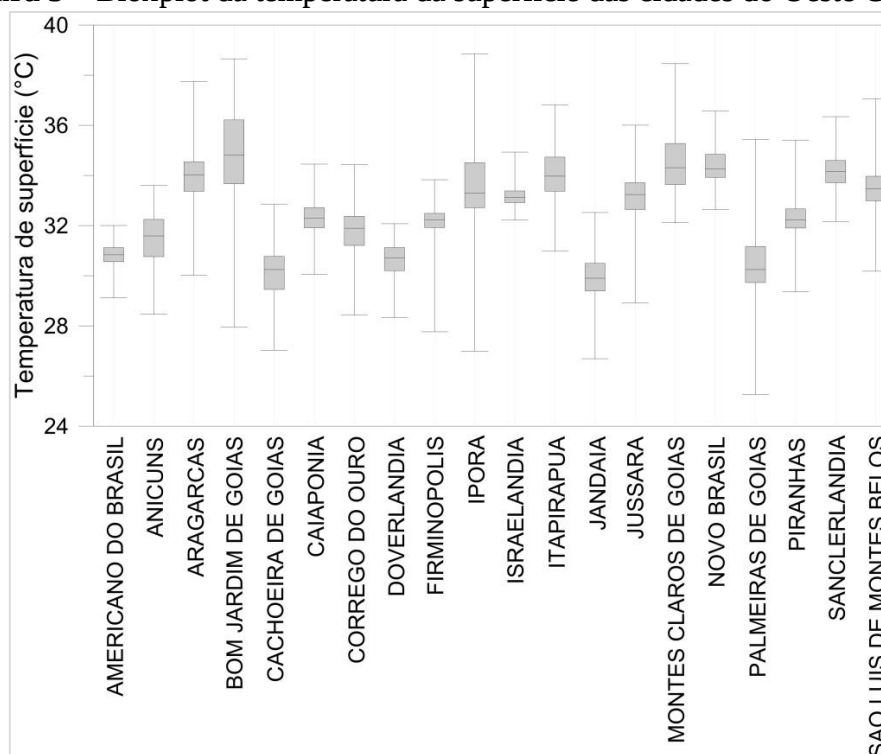
Figura 2 – Localização das cidades selecionadas da região do Oeste Goiano e método do cálculo da ilha de calor urbana de superfície (ICUS)



3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A temperatura da superfície nas cidades do Oeste Goiano variou de 25,3°C em Palmeiras de Goiás (valor mínimo) a 38,8°C em Iporá (valor máximo), portanto, amplitude de 13,5°C (Figura 3). A menor média da temperatura da superfície foi observada em Jandaia (29,9°C) e a maior média foi verificada na cidade de Bom Jardim de Goiás com 34,8°C. Além disso, o conjunto de dados da temperatura de superfície, correspondente a 50%, foram os mais elevados em Bom Jardim de Goiás, enquanto que a cidade de Jandaia apresentou o conjunto de dados com menores valores do Oeste Goiano (Figura 3).

Figura 3 – Bloxplot da temperatura da superfície das cidades do Oeste Goiano



Na Figura 4 estão as cidades de Jandaia e Bom Jardim de Goiás. Nota-se que na área central da cidade de Jandaia há um lago juntamente com área vegetada, em Bom Jardim também existe um lago, entretanto, este se localiza na borda do limite urbano, com pouca área vegetada.

Figura 4 – Cidade de Jandaia (A) e cidade de Bom Jardim de Goiás (B)



Fonte: (GOOGLE, 2016).

As diferenças da temperatura de superfície do limite urbano e do *buffer* de 500 m, neste trabalho, denominada de ICUS (Ilha de Calor Urbana de Superfície), foram maiores nas cidades de Aragarças e Iporá, com 5,4°C e 5,8°C, respectivamente (Figura 5). Iporá possui a maior população (31274 habitantes), assim como a maior área territorial urbana (12,6 km²) das cidades analisadas. As menores intensidades ocorreram em Israelândia (ICUS = 1,6°C), Americano do Brasil (ICUS = 1,7°C) e Doverlândia (ICUS = 1,7°C), cidades nas quais possuem baixa população (2888, 5508 e 7892 habitantes, respectivamente) e pequena área territorial urbana (0,88, 1,6 e 2,5 km², respectivamente). Iporá e Israelândia possuem contraste muito acentuado em diversos aspectos, conforme descrito, destaca-se a população, a área urbana e o uso e ocupação do solo (Figura 6).

Figura 5 – Intensidade das ilhas de calor urbanas de superfície nas cidades do Oeste Goiano

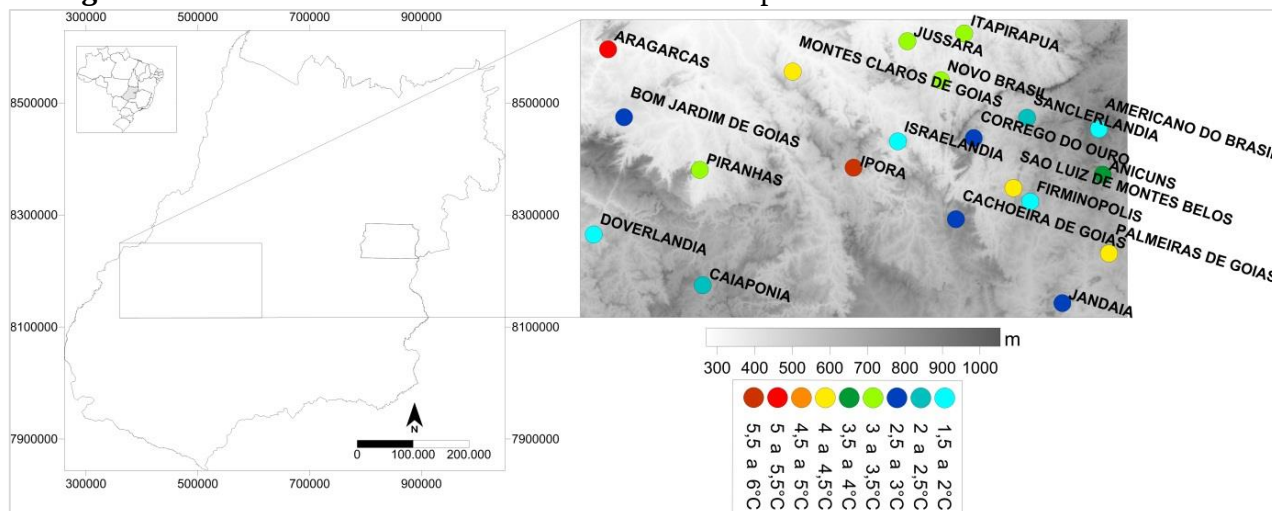


Figura 6 – Cidade de Iporá (A) e cidade de Israelândia (B)



Fonte: (GOOGLE, 2016).

Peterson (2003), nos Estados Unidos, analisou a relação da população com os desvios de temperatura e afirmou que cidades com população de até 10000 habitantes não requer ajuste para urbanização, pois não foi observada diferença significativa dos valores na área urbana com a área rural. Entretanto, Oke (1973) em estudo nas cidades da América do Norte e na Europa e Torok et al., (2001) em estudo no sudeste da Austrália, mostraram que até mesmo cidades com população de 1000 pessoas têm aquecimento urbano de 2,2°C em comparação com a área rural próxima.

Nestes estudos, Oke (1973) e Torok et al., (2001) encontraram evidências de que a ilha de calor urbana máxima aumenta com o aumento da população (P) de forma logarítmica para a América

do Norte, Europa e Sudeste da Austrália, conforme, respectivamente a Equação 3 com $r^2 = 0,96$, Equação 4 com $r^2 = 0,74$ e Equação 5 com $r^2 = 0,99$.

Em cidades de Taiwan, Sun (2015) encontrou a Equação 6, com $r^2 = 0,9$ para a ilha de calor média. Para as cidades da Coreia do Sul com população inferior a 300000, Lee (1993) verificou a relação da Equação 7 com $r^2 = 0,5$.

$$\Delta T_{u-r(max)} = 2,96 \log_{10}(P) - 6,41 \text{ (América do Norte)} \quad \text{Equação 3}$$

$$\Delta T_{u-r(max)} = 2,01 \log_{10}(P) - 4,06 \text{ (Europa)} \quad \text{Equação 4}$$

$$\Delta T_{u-r(max)} = 1,42 \log_{10}(P) - 2,09 \text{ (Sudeste da Austrália)} \quad \text{Equação 5}$$

$$\Delta T_{u-r(media)} = 1,49 \log_{10}(P) - 5,08 \text{ (Taiwan)} \quad \text{Equação 6}$$

$$\Delta T_{u-r(max)} = 2,38 \log_{10}(P) - 7,75 \text{ (Coreia do Sul)} \quad \text{Equação 7}$$

O efeito da ilha de calor urbana sobre os registros de dados em longo prazo tem sido estudado por meio das comparações dos dados dos centros urbanos com os das localidades rurais (TOROK et al., 2001). A comparação de dados históricos é essencial para a quantificação do efeito da ICU ou ICUS. Os resultados de Karl e Williams (1987) sugerem uma relação exponencial entre a diferença de temperatura média anual da área urbana e da rural com a população (Equação 8).

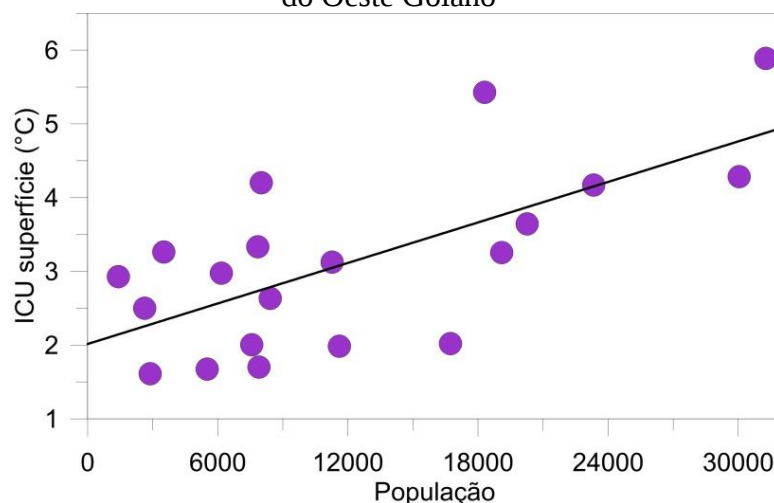
$$\overline{\Delta T}_{u-r} = a \times (P)^{0,45} \quad \text{Equação 8}$$

O coeficiente a varia de acordo com a população da cidade, mais detalhes em Karl e Williams (1987).

Para as cidades do Oeste Goiano também foi calculada essa relação, entretanto, a melhor regressão observada foi a linear, conforme a Figura 7. Na Equação 9 tem-se a equação obtida para se estimar a ICUS a partir da população, com r^2 de 0,46.

$$\Delta T_{u-r(max)} = 0,0000916 \times (P) + 2,015 \text{ (Oeste Goiano)} \quad \text{Equação 9}$$

Figura 7 – Relação entre a ilha de calor urbana da superfície e a população das cidades da Região do Oeste Goiano

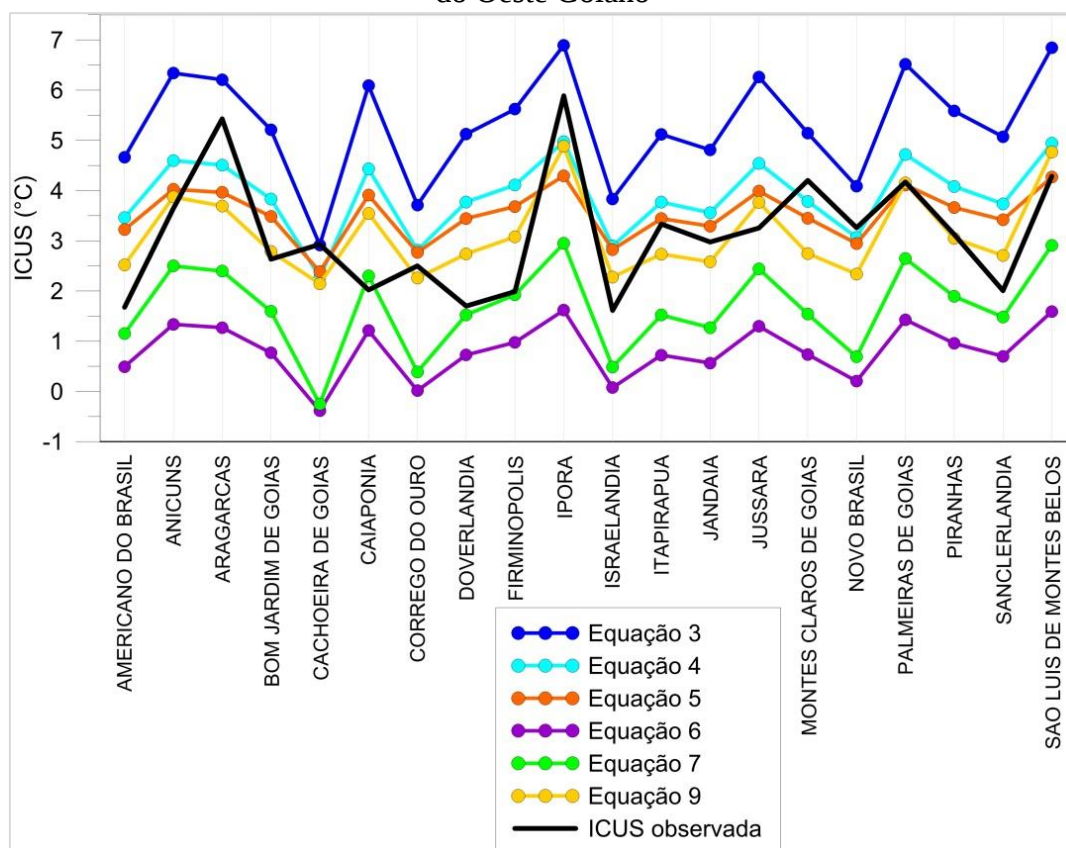


Afim de verificar se as equações propostas por Oke (1973), Torok et al., (2001), Sun (2015) e Lee (1993), para estimar as ilhas de calor urbanas máximas nas cidades da América do Norte,

Europa, Sudeste da Austrália, Taiwan e Coréia do Sul a partir da população das mesmas, conseguiriam estimar, satisfatoriamente, as intensidades máximas das ICUS da Região do Oeste Goiano, elaborou a Figura 8. Nota-se que os valores das ICUS estimadas pela Equação 3 (cidades da América do Norte) e Equação 6 (Cidades de Taiwan) foram muito discrepantes das intensidades das ICUS observadas.

A Equação 9, proposta nesta pesquisa, estimou as ICUS com maior exatidão em relação às outras equações. A Equação 5, proposta para cidades do sudeste da Austrália, foi a segunda melhor.

Figura 8 – Relação entre a ilha de calor urbana da superfície e a população das cidades da Região do Oeste Goiano



Os RMSE das estimativas das equações (Tabela 2) demonstram que a equação proposta para se estimar as ilhas de calor urbanas de superfície máximas para a Região do Oeste Goiano apresentou a menor média (0,68) e o menor total (15,17) dos RMSE.

As relações entre a ICU ou ICUS e o tamanho das áreas urbanas têm sido debatidas por algum tempo (ATKINSON, 2003). A questão chave é se a intensidade da ilha de calor varia com o tamanho da área urbana. À medida que as cidades crescem, suas ilhas de calor também crescem, não só na sua dimensão horizontal, mas também em sua intensidade (ATKINSON, 2003; DEBBAGE; SHEPHERD, 2015). Isto foi demonstrado por Mitchell (1961) e Landsberg (1979) e fortemente inferida a partir de evidências indiretas por Yague, Zurita e Martinez (1991) e Shun Djen (1992).

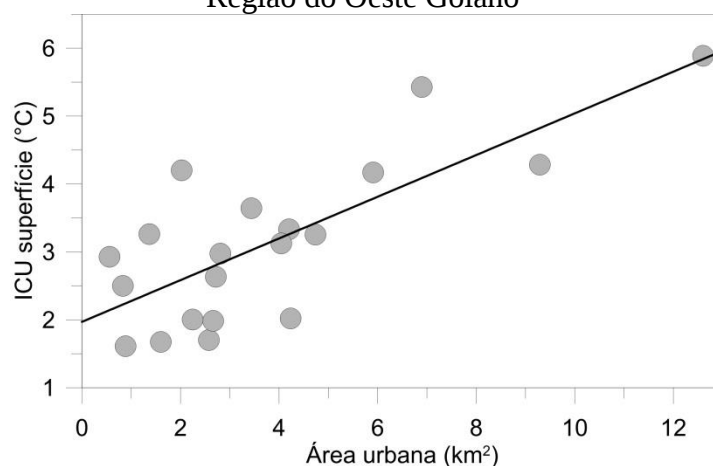
Em alguns casos, como no estudo de Atkinson (2003) foi observada, apenas, pequena sensibilidade da intensidade da ilha de calor para o tamanho da cidade. Para as cidades do Oeste Goiano notou-se que existe uma relação linear de aumento da intensidade da ilha de calor urbana de superfície com o aumento da área urbana (Figura 9), com r^2 expressivo de 0,58, a equação obtida pela regressão linear pode ser observada na Equação 10.

$$\Delta T_{u-r(max)} = 0,307 \times (Ar) + 1,97$$

Equação 10

Tabela 2 – RMSE das ICUS estimadas pela Equação 3, Equação 4, Equação 5, Equação 6, Equação 7 e Equação 9

CIDADES	Eq. 3	Eq. 4	Eq. 5	Eq. 6	Eq. 7	Eq. 9
Americano do Brasil	2,99	1,78	1,55	1,18	0,52	0,84
Anicuns	2,69	0,95	0,38	2,31	1,14	0,23
Aragarças	0,78	0,92	1,47	4,16	3,03	1,74
Bom Jardim de Goiás	2,58	1,2	0,85	1,86	1,04	0,15
Cachoeira de Goiás	0,01	0,65	0,54	3,31	3,18	0,78
Caiapônia	4,07	2,41	1,89	0,81	0,28	1,53
Córrego do Ouro	1,21	0,31	0,27	2,48	2,11	0,24
Doverlândia	3,42	2,07	1,74	0,97	0,18	1,04
Firminópolis	3,63	2,12	1,7	1,01	0,06	1,09
Iporá	1,01	0,91	1,59	4,27	2,94	1,01
Israelândia	2,22	1,28	1,21	1,54	1,13	0,67
Itapirapuã	1,79	0,44	0,11	2,61	1,81	0,6
Jandaia	1,83	0,58	0,32	2,41	1,71	0,4
Jussara	3,01	1,29	0,73	1,96	0,82	0,51
Montes Claros de Goiás	0,94	0,42	0,75	3,47	2,66	1,45
Novo Brasil	0,83	0,19	0,31	3,06	2,57	0,92
Palmeiras de Goiás	2,35	0,55	0,06	2,74	1,52	0,02
Piranhas	2,46	0,96	0,54	2,17	1,23	0,08
Sanclerlândia	3,06	1,73	1,41	1,31	0,52	0,7
São Luís de Montes Belos	2,56	0,66	0,02	2,69	1,38	0,48
MÉDIA	2,4	0,94	0,74	2,36	1,3	0,68
TOTAL	45,85	22,37	18,17	48,67	31,15	15,17

Figura 9 – Relação entre a ilha de calor urbana da superfície e a área urbana (A) das cidades da Região do Oeste Goiano

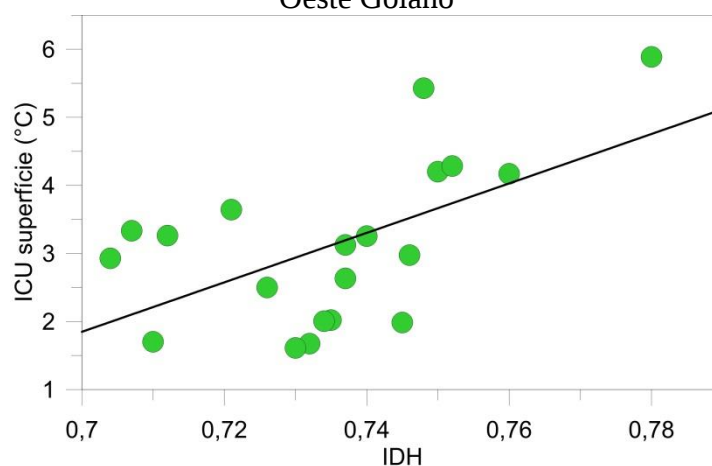
Harlan et al., (2006) elaboraram um índice de conforto térmico humano para alguns bairros de uma grande cidade norte-americana. A aplicação do índice mostrou que bairros habitados por minorias étnicas e com baixos indicadores socioeconômicos vivem, comumente, em bairros mais quentes e estão mais expostos a estresse térmico. Os resultados do trabalho de Velho e Fonseca (2015) também mostraram essa tendência para Porto Alegre, porque além da renda familiar mensal descreverem a diferença entre os dois grupos de bairros analisados, as temperaturas de superfície mostraram-se diferentes para bairros de renda alta e de baixa renda.

Contudo, não se verificou na literatura trabalhos científicos que relacionem, especificamente, a ilha de calor urbana com o índice de desenvolvimento humano. Entretanto, este índice pode ajudar a explicar a variação da intensidade da ilha de calor urbana, pois o mesmo considera três aspectos: 1 - Uma vida longa e saudável (Expectativa de vida ao nascer); 2 - O acesso ao conhecimento (Anos Médios de Estudo e Anos Esperados de Escolaridade) e 3 - Um padrão de vida decente (PIB per capita). Conforme a Figura 10, observou-se relação linear de aumento da ICUS com o aumento do índice de desenvolvimento humano. Esta relação pode ser verificada na Equação 11, que possui r^2 de 0,32. De acordo com os estudos citados anteriormente, era de se esperar uma relação inversa, entretanto, as cidades do Oeste Goiano, possuem em sua estrutura urbana pouca diferenciação dos materiais de construção utilizados nas residências das pessoas de maior poder aquisitivo, a diferença se concentra no tamanho das residências. Em cidade maiores (maior população e maior diferenciação de classes sociais) essa realação poderá ser inversa.

$$\Delta T_{u-r(max)} = 36,337 \times (IDH) - 23,589$$

Equação 11

Figura 10 – Relação entre a ilha de calor urbana da superfície e o IDH das cidades da Região do Oeste Goiano



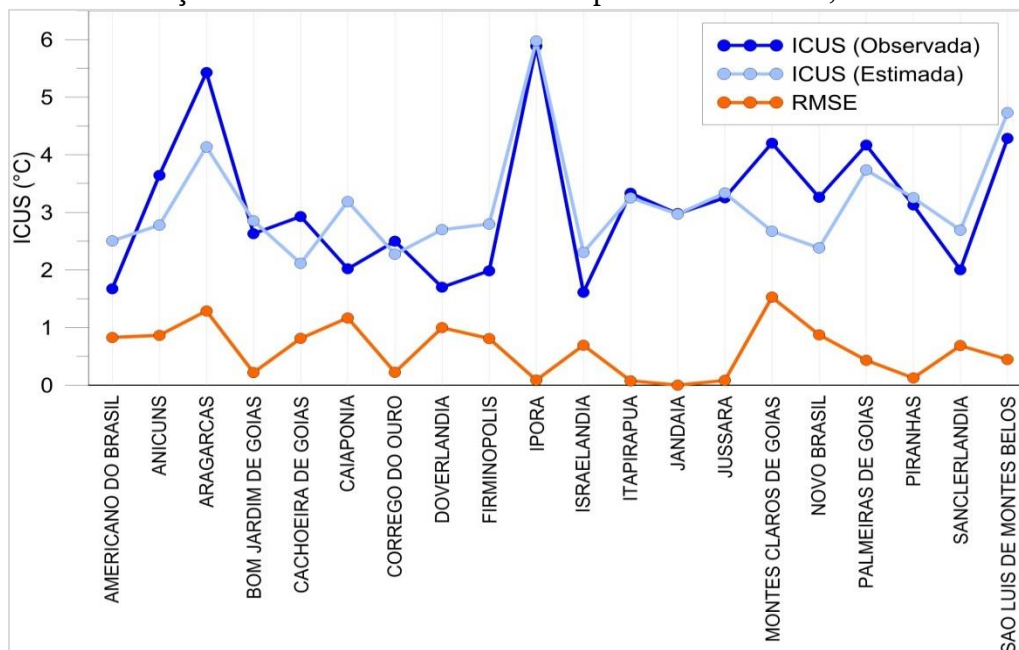
Com o objetivo de aperfeiçoar o modelo preditor da ilha de calor urbana de superfície para a Região do Oeste Goiano utilizou-se as três variáveis (População, área urbana e IDH), para tanto, foi necessária a utilização da regressão linear múltipla. Na Equação 12 pode-se observar a equação resultante da regressão linear múltipla, na qual possui r^2 de 0,6. Com esta equação é possível estimar a máxima intensidade da ilha de calor urbana de superfície para as cidades da região do Oeste Goiano.

$$ICUS = -1,024 - (0,0000218 \times P) + (0,348 \times Ar) + (4,226 \times IDH)$$

Equação 12

Em que P é a população, Ar a área urbana em km^2 e IDH o índice de desenvolvimento humano.

Em nove cidades (Bom Jardim de Goiás, Córrego do Ouro, Iporá, Itapirapuã, Jandaia, Jussara, Palmeiras de Goiás, Piranhas e São Luis de Montes Belos) os valores da ICUS observados e os valores estimados pela Equação 12 estiveram muito próximos, com RMSE abaixo de $0,5^\circ\text{C}$. O maior valor do RMSE foi verificado na estimativa da ICUS para a cidade de Montes Claros de Goiás (RMSE = 1,52), conforme Figura 11.

Figura 11 – Variação da ilha de calor urbana da superfície observada, estimada e o RMSE

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As ilhas de calor urbanas de superfície da região do Oeste Goiano variaram de forma heterogênea, as especificidades de cada ambiente urbano foram determinantes na definição da ICUS.

Dentre os resultados observados, destaca-se quatro pontos:

1 – Na cidade de Iporá foi verificada a maior temperatura da superfície das cidades do Oeste Goiano. A cidade de Jandaia apresentou entre os conjuntos de dados, os menores valores.

2 – As cidades de Aragarças e Iporá tiveram as maiores intensidades das ilhas de calor urbanas de superfície, com 5,4°C e 5,8°C, respectivamente. Enquanto as menores intensidades ocorreram em Israelândia (ICUS = 1,6°C), Americano do Brasil (ICUS = 1,7°C) e Doverlândia (ICUS = 1,7°C).

3 – A equação proposta para estimar as intensidades máximas das ICUS nas cidades do Oeste Goiano, a partir da população, obteve melhor desempenho que as equações propostas por Oke (1973), Torok et al., (2001), Sun (2015) e Lee (1993).

4 – A relação linear entre a ICUS e o tamanho da área urbana apresentou o melhor coeficiente de determinação ($r^2 = 0,58$), ou seja, com o aumento da área urbana a intensidade da ilha de calor urbana de superfície tende a ser mais elevada.

5 – A equação final, proposta como modelo preditor da intensidade máxima da ilha de calor urbana de superfície para a Região do Oeste Goiano, utilizou as três variáveis (População, área urbana e IDH) e obteve r^2 de 0,6, com baixos valores do RMSE.

As imagens de satélite fornecem um conjunto de informações que contribuem para o entendimento dos fenômenos das ilhas de calor urbanas de superfície, contudo, ressalta-se a necessidade de uma rede de monitoramento das condições térmicas nas cidades goianas, estações meteorológicas distribuídas no meio urbano são imprescindíveis ao planejamento urbano.

REFERÊNCIAS

ALCOFORADO, M. J. et al. A ilha de calor em Lisboa. Aquisição de dados e primeiros resultados estatísticos para aplicação ao ordenamento urbano. In: **Geophilia - o sentir e os sentidos da Geografia Homenagem a Jorge Gaspar**. [s.l.: s.n.]. p. 593–612. 2007.

ALCOFORADO, M. J. et al. Lisbon Heat Island: statistical study (2004-2012). **Finisterra**, v. 49, n. 98, p. 61–80, 2014.

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. D. L.; BIUDES, M. S. Method for determining the footprint area of air temperature and relative humidity. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 35, n. 2, p. 187–194, 18 abr. 2013.

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.

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.

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.

ATKINSON, B. W. Numerical modelling of urban heat-island intensity. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 109, n. 3, p. 285–310, 2003.

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.

COSEO, P.; LARSEN, L. How factors of land use/land cover, building configuration, and adjacent heat sources and sinks explain Urban Heat Islands in Chicago. **Landscape and Urban Planning**, v. 125, p. 117–129, 2014.

DEBBAGE, N.; SHEPHERD, J. M. The urban heat island effect and city contiguity. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 54, p. 181–194, nov. 2015.

GOOGLE. **Google Earth**. Disponível em: <<http://earth.google.com/>>. Acesso em: 10 jan. 2016.

HARLAN, S. L. et al. Neighborhood microclimates and vulnerability to heat stress. **Social Science & Medicine**, v. 63, n. 11, p. 2847–2863, dez. 2006.

KARL, T. R.; WILLIAMS, C. N. An Approach to Adjusting Climatological Time Series for Discontinuous Inhomogeneities. **Journal of Climate and Applied Meteorology**, v. 26, n. 12, p. 1744–1763, dez. 1987.

LANDSBERG, H. E. Atmospheric changes in a growing community (the Columbia, Maryland experience). **Urban Ecology**, v. 4, n. 1, p. 53–81, maio 1979.

LEE, H.-Y. An application of NOAA AVHRR thermal data to the study of urban heat islands. **Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere**, v. 27, n. 1, p. 1–13, mar. 1993.

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.

LUCENA, A. J. de. Notas Conceituais e Metodológicas em Clima Urbano e Ilhas de Calor. **Revista Continentes**, v. 2, n. 2, p. 28–59, 2013.

MA, Y.; KUANG, Y.; HUANG, N. Coupling urbanization analyses for studying urban thermal environment and its interplay with biophysical parameters based on TM/ETM+ imagery. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 12, n. 2, p. 110–118, 2010.

MITCHELL, J. M. The Thermal Climate of Cities. In: **Symp. Air over Cities**. [s.l.] U.S. Public Health Service Publ. SEC, Tech. Rept, 1961. p. 131–143.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 4. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1979.

OKE, T. R. City size and the urban heat island. **Atmospheric Environment**, v. 7, n. 8, p. 769–779, ago. 1973.

OKE, T. R. Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: Comparison of scale model and field observations. **Journal of Climatology**, v. 1, n. 3, p. 237–254, 18 jul. 1981.

OKE, T. R. **Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites**. Geneva: IOM Report No.81, WMO/TD. No. 1250, 2006.

PETERSON, T. C. Assessment of Urban Versus Rural In Situ Surface Temperatures in the Contiguous United States: No Difference Found. **Journal of Climate**, v. 16, n. 18, p. 2941–2959, set. 2003.

SEPIN. **Região Oeste Goiano (Eixo GO-060): Síntese Estatística**. Disponível em: <<http://www.imb.go.gov.br/pub/regplan/2007/09-oeste-sintese.htm>>. 2010. Acesso em: 6 dez. 2015.

SHUN DJEN, C. The urban climate of Shanghai. **Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere**, v. 26, n. 1, p. 9–15, mar. 1992.

SOUZA, L. C. L. et al. Fator de visão do céu e intensidade de ilhas de calor na escala do pedestre. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 4, p. 155–167, 2010.

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.

SUN, C. Urban heat island study between different size of towns and cities. 9th International Conference on Urban Climate jointly with 12th Symposium on the Urban Environment Urban. **Anais...** 2015.

TAN, M.; LI, X. Quantifying the effects of settlement size on urban heat islands in fairly uniform geographic areas. **Habitat International**, v. 49, p. 100–106, out. 2015.

TOROK, S. J. et al. Urban heat island features of southeast Australian Towns. **Australian Meteorological Magazine**, v. 50, p. 1–13, 2001.

VELHO, L. F.; FONSECA, E. L. da. Distribuição de temperatura de superfície e sua relação com indicador socioeconômico – Porto Alegre/RS. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...** João Pessoa: 2015.

VOOGT, J. A.; OKE, T. R. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote Sensing of Environment**, v. 86, n. 3, p. 370–384, 2003.

WU, H. et al. Assessing the effects of land use spatial structure on urban heat islands using HJ-1B remote sensing imagery in Wuhan, China. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 32, p. 67–78, 2014.

XU, Y.; QIN, Z.; WAN, H. Spatial and Temporal Dynamics of Urban Heat Island and Their Relationship with Land Cover Changes in Urbanization Process: A Case Study in Suzhou, China. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, v. 38, n. December 2010, p. 654–663, 12 fev. 2010.

YAGUE, C.; ZURITA, E.; MARTINEZ, A. Statistical analysis of the Madrid urban heat island. **Atmospheric Environment**, v. 25B, n. 3, p. 327–332, 1991.

Data de submissão: 26.05.2017

Data de aceite: 14.08.2018

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.