

Relação entre as ilhas de calor e uso e ocupação do solo em centros urbanos de pequeno porte utilizando o sensoriamento remoto

Cristhy Willy da Silva Romero ¹
Helio Ricardo Silva ¹
Artur Pantoja Marques ¹
Paula Beatriz Pereira de Oliveira ¹

¹ Universidade Estadual Paulista – UNESP/FE
Campus de Ilha Solteira Av. Brasil, 56 – 15385-000 – Ilha Solteira - SP, Brasil
cr_willy@hotmail.com, hrsilva@agr.feis.br, artur@dec.feis.unesp.br,
paulab.oliver@hotmail.com

Abstract. Every day urban centers suffer from rising temperatures. Faced with global warming, degradation of these environments, pose risks to the health of the population, from the thermal discomfort to the occurrence of diseases caused by heat. Due to the urbanization process, this change in the landscape favors an occurrence of the phenomenon of the urban heat island (ICU), urban areas with temperatures higher than its surrounding rural areas. This phenomenon is reality not in large municipalities, but also occurs in small cities. The objective of this work was to analyze the occurrence of ICU in Ilha Solteira - SP, was studied through the use of remote sensing data, aiming to associate a surface temperature with different classes of land-use and land-cover. For a purpose of this work, a satellite image captured in the infrared region (TIRS/Landsat-8) and Geographic Information Systems (GIS) were used as land use and occupation classes in the areas of higher temperatures, based on Images of high spatial resolution, in the satellite Pleiades. Given that the different classes of land use and occupation directly influence the surface temperature, observing an asphalt paving and ceramic roof as higher temperature values, in ICU areas in small cities.

Palavras-chave: geotechnology, global warming, infrared thermal, geotecnologia, aquecimento global, infravermelho termal

1. Introdução

A cidade é um espaço extremamente dinâmico, onde ocorrem interações entre a sociedade e a natureza. Ao longo do tempo, com os diversos modos de produção aplicados por seus habitantes e as modificações quanto ao uso e ocupação do solo, as cidades vêm manifestando sérios problemas de ordem socioambientais, como a inversão térmica comum em centros urbanos industrializados e o fenômeno das ilhas de calor, presentes em regiões centrais das cidades (SOUZA, 2014).

As mudanças no uso e ocupação do solo são um dos grandes causadores de diferentes impactos ambientais de ordem social e/ou econômicas. Entres esses impactos destaca-se a alterações da temperatura de superfície, devido a sua influência no equilíbrio e distribuição da energia à superfície. Configurando, assim interferência no solo, vegetação e na paisagem local (PEREIRA et al., 2016).

As modificações das superfícies naturais para a superfície sintética, efeitos da urbanização, promovem um aumento na temperatura local, principalmente em áreas pavimentadas e com adensamento de construções, gerando um fenômeno conhecido como Ilha de Calor Urbana (ICU), diferença de temperatura na área urbana quando comparada com suas áreas de entorno.

A ICU habitualmente é retratada como aumento da temperatura dos ambientes urbanos em relação aos seus arredores (BARROS & LOMBARDO, 2016). As ilhas se configuram em “bolsões” de ar quente, em que a temperatura interna nestas áreas é mais elevada do que nas áreas circunvizinhas (ORTIZ & AMORIM, 2012).

A amplitude térmica entre a área urbana e a área rural, pode variar de 1 a 3°C, caracterizando a ilha de calor, afetando a comunidade local, desde o aumento da demanda de energia elétrica, até o agravamento de doenças, comprometendo assim, a qualidade de vida da população (EPA, 2016).

As metodologias para o sensoriamento remoto (SR) permitem a caracterização das propriedades físico-químicas de alvos naturais, através da detecção, registro e análise de fluxo de energia radiante. (ROSA, 2003).

De acordo com Mashiki (2012), os Sistemas de Informação Geográficas (SIG's) são ferramentas fundamentais para aplicação das técnicas de processamento digital das imagens, pois possuem diversas ferramentas, dentre elas, a capaz de transformar os dados do infravermelho termal em temperatura aparente da superfície, imprescindíveis para identificação das ilhas de calor.

O objetivo deste trabalho, foi realizar a identificação das ilhas de calor urbana em um município de pequeno porte, Ilha Solteira – SP, verificando a relação de suas ocorrências com as classes de uso e ocupação do solo, associados a dados climatológicos.

2. Metodologia de Trabalho

2.1. Área de estudo

O município de Ilha Solteira está localizado a noroeste do Estado de São Paulo, na posição mais estratégica da Hidrovia Tietê-Paraná, apresentando área total de 661,3 Km² (Figura 1). Desse total, 5,82 km² compõem a área urbana (MIRANDA et al., 2005; SILVA et al., 2006).

De acordo com o Sistema Internacional de Köppen, o clima desta região é o tropical úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno (Aw). As temperaturas médias mensais variam entre 21,5 °C (julho) e 26,4 °C (dezembro), e as precipitações médias mensais variam de 20 mm (julho) a 225 mm (janeiro). O período de excedente hídrico estende-se de janeiro a fevereiro, e o de deficiência hídrica, de março a dezembro. A velocidade média do vento é classificada como fraca, e a sua direção predominante é E-SE (HERNANDEZ, 2007).

O relevo da área de estudo é o colinoso, com predomínio de colinas amplas e médias (SÃO PAULO, 1981). Mais de 80% da área urbana apresenta declividades que variam de 0 a 5%, e as classes de orientações de vertentes que predominam são as sul-oeste (SW) e oeste (W) (SANTOS, 2005). O solo presente na área de estudo é do tipo Latossolo Vermelho distrófico A moderado de textura argilosa, de relevo plano e suave ondulado (LV39) (EMBRAPA, 1999).

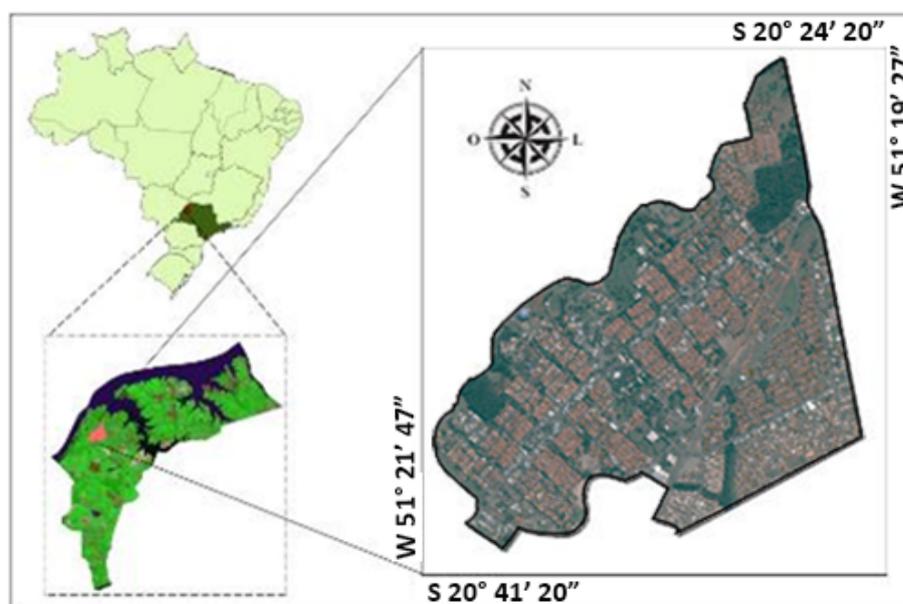


Figura 1. Localização da área urbana de Ilha Solteira – SP

Em Ilha Solteira, existem as áreas verdes denominadas Área de Lazer, localizada na posição norte do perímetro urbano, com 11,35 ha, ocupada com a espécie *Pinus elliottii* e zoológico,

localizada na posição oeste do perímetro urbano, com 18 ha, ocupada com vegetação predominante do bioma Mata Atlântica (Mata Seca Semi-Decídual) (COSTA et al., 2010).

2.2. Metodologia

Para a execução deste trabalho, foi realizado um levantamento de imagens orbitais gratuitas, disponíveis em United States Geological Survey (USGS), (www.usgs.gov), através do satélite Landsat 8, sensor TIRS (Thermal Infrared Sensor). A imagem utilizada foi de 07/02/2015, órbita/ponto 222/073, livre de cobertura de nuvem.

Para a obtenção de melhores resultados no estudo de uso e ocupação do solo da área urbana de Ilha Solteira, utilizou-se uma imagem do Satélite Pleiades, com alta resolução espacial, 0,50m, com data de passagem em 03/08/2013, às 10:00 horas, horário local.

O limite da área urbana foi obtido por meio da planta com as vias de acesso da cidade de Ilha Solteira, em formato digital, cedida pela Prefeitura Municipal de Ilha Solteira, posteriormente realizou-se algumas correções vetoriais, corrigindo o seu posicionamento, com base na imagem Pleiades que possui alta resolução espacial, e com utilização do software AutoCAD, versão Student (www.autodesk.com/education/free-software/autocad).

Com utilização do SIG QGIS, foi gerada a imagem de temperatura de superfície (T_s), onde, utilizou-se a banda 10 (termal), do satélite Landsat-8, sensor TIRS, que apresenta a resolução espacial de 30 metros.

Para a geração da imagem de temperatura, foi utilizada a ferramenta calculadora raster, ferramenta implementada no SIG, inserindo a Equação 1, proposta pelo USGS (2015) onde, com base nos metadados contidos no conjunto de imagem, realizou-se a conversão de níveis de cinza para radiância:

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

onde:

- L_λ = Radiância Espectral no topo da atmosfera em Watts/(m²*sr*μm)
- M_L = Fator multiplicativo de redimensionamento da banda 10 (3.3420E-04)
- Q_{cal} = Valor quantizado calibrado pelo pixel em DN (banda 10)
- A_L = Fator de redimensionamento aditivo específico da banda 10 (0.10000)

Após gerada a imagem de radiância, converteu-se este resultado para imagem de temperatura superfície (T_s), porém a imagem resultante desta conversão apresenta seus dados em temperatura Kelvin, de acordo com Coelho e Correa (2013), há a necessidade de implementação na Equação 2, proposta por USGS (2015), subtraindo 273,15 de seu resultado, para a obtenção de imagem de temperatura em grau Celcius, assim:

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} - 273,15 \quad (2)$$

Onde:

- T_s = Temperatura de superfície, em grau Celcius (°C)
- K_1 = Constante de calibração 1 (774.89)
- K_2 = Constante de calibração 2 (1.321.08)
- L_λ = Radiância espectral em Watts/(m²*sr*μm)

Com base no limite da área urbana, foi criado um buffer de 200m, abrangendo a área rural no entorno do perímetro urbano, sendo esta a área de referência para a análise de ocorrência de ICU dentro da cidade de Ilha Solteira. Posteriormente, foi realizada a classificação dos valores das temperaturas, definindo em classes com intervalo de 1°C.

A identificação dos polígonos contendo as ilhas de calor urbana (ICU) foi efetivada comparando-se a temperatura dos alvos presentes na área urbana, com os alvos presentes dentro

do buffer de 200m. Estas ICU possuíam pelo menos 1°C a mais do que alvos mais quentes dentro da área de entorno.

Definidos os polígonos onde haviam a ocorrência da ICU, foi realizada a vetorização manual das classes de uso e ocupação do solo no interior das mesmas, sendo utilizada como referência a imagem de satélite de alta resolução (Pleiades).

Como resultado da vetorização manual, foram definidas 10 classes de uso e ocupação do solo, sendo estas: “Asfalto” (ASF), “Telhado cerâmico e asfalto” (TCA), “Telhado cerâmico e lajotas” (TCL), “Pavimentos cimentados” (PC), “Solo exposto” (SE), “Telhado amianto” (TA), “Telhado cerâmico” (TC), “Telhado de metal” (TM), “Vegetação arbórea” (VA) e “Vegetação herbácea” (VH).

As classes denominadas “Telhado cerâmico e asfalto” e “Telhado cerâmico e lajotas”, identificam os passeios na área urbana onde a cobertura das residências apresentam telhado cerâmico e as vielas são pavimentadas com asfalto ou lajotas de cimento. Esses locais sofreram aglutinações em suas classes, pois, apesar da imagem Pleiades apresentar alta resolução espacial e radiométrica, não foi possível distinguir separadamente essas 02 classes de uso do solo em alguns passeios.

Para a análise espacial dos dados, utilizou-se o método Tabulação Cruzada, inserido no Spring/INPE, onde foram calculadas áreas de intersecção entre as classes de temperatura mais alta, que indicam as ilhas de calor com as classes de uso e ocupação do solo presente nestes locais, sendo obtidos os resultados em hectares (ha).

3. Resultados e discussão

De acordo com os dados de temperatura de superfície da imagem de 07/02/2015, foram constatadas a presença de 03 áreas ocorrendo o fenômeno ICU (Área 01, Área 02 e Área 03). Todas as áreas das ICU apresentaram uma temperatura variando entre 29 a 30°C (Figura 2).

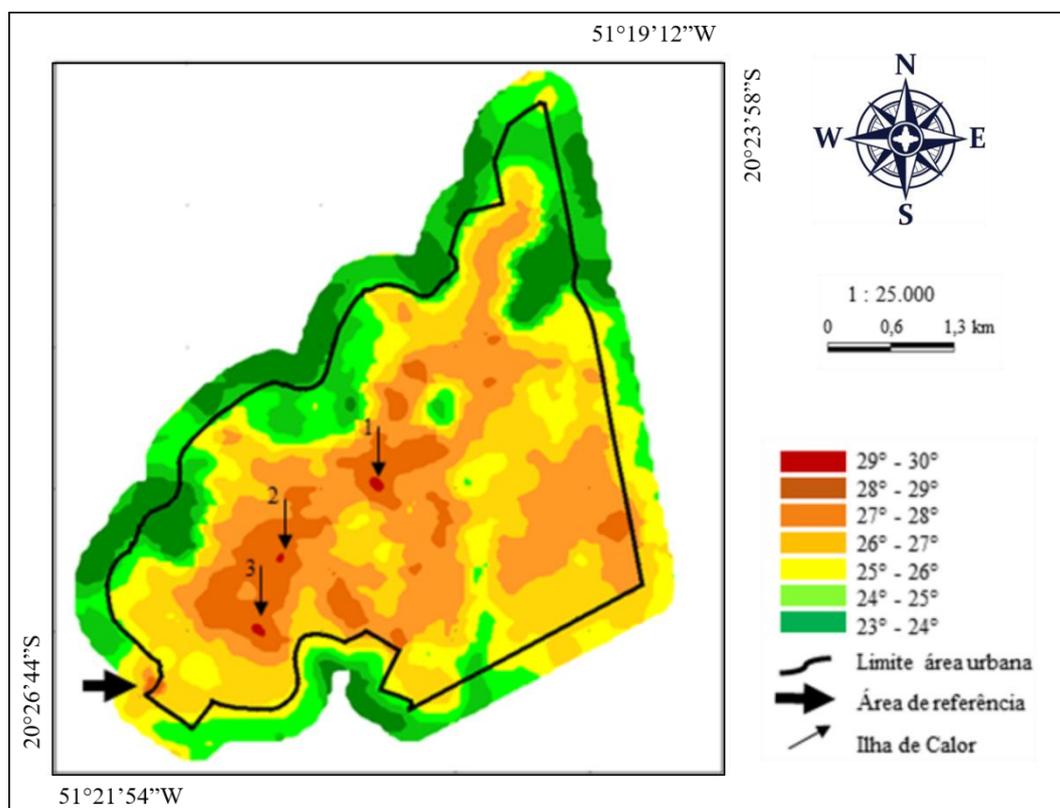


Figura 2. Mapa de Ilhas de Calor Urbana em Ilha Solteira – SP, em 07/02/2015

Dentro do buffer de 200m, foi encontrada uma área com temperatura entre 28 a 29°C, identificada como área de referência para a determinação da ocorrência de ICU na área urbana. Esta área utilizada como referência apresentou as classes Asfalto e Solo exposto.

A amplitude térmica das ICU foi de 1°C, sendo classificada como fraca magnitude, de acordo com a classificação de GARCÍA (1996). A área total de ICU nesta data foi de 1,052 ha, correspondendo a 0,15% da área urbana de Ilha Solteira.

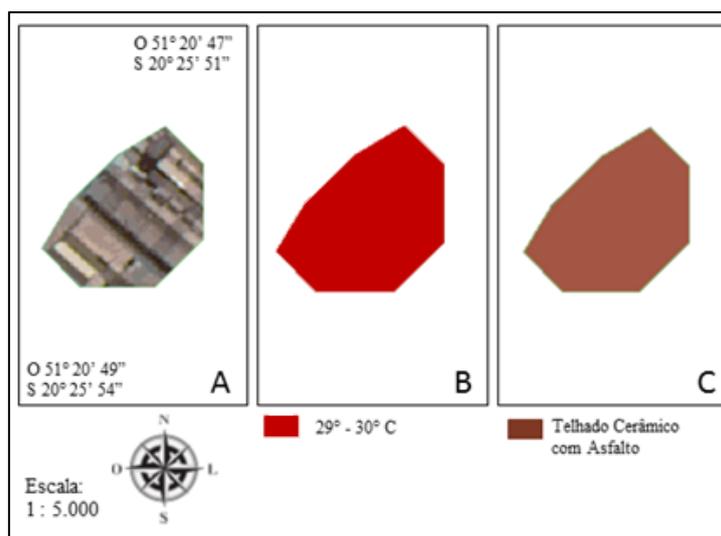
De acordo com os dados obtidos pelo Canal CLIMA, a velocidade do vento em Ilha Solteira no momento da passagem do satélite, foi de 1,4 km/h, considerado fraco, tal fato favoreceu a ocorrência de ICU na cidade.

A Área 1, estava localizada no bairro Zona Sul de Ilha Solteira, em área residencial. Esta ICU possuía uma área de 0,175 ha (Tabela 1), onde o uso do solo foi identificado apenas com a classe TCA, de acordo com a classificação manual de uso e ocupação do solo, utilizando a imagem de alta resolução espacial do Satélite Pleiades (Figura 3).

Tabela 1. Uso e ocupação do solo na Área 1, identificada na imagem de 07/02/2015

29 - 30°C	Uso e Ocupação do Solo ⁽¹⁾	
	TCA	TOTAL
Área (ha)	0,175	0,175
Área (%)	100,00	100,00

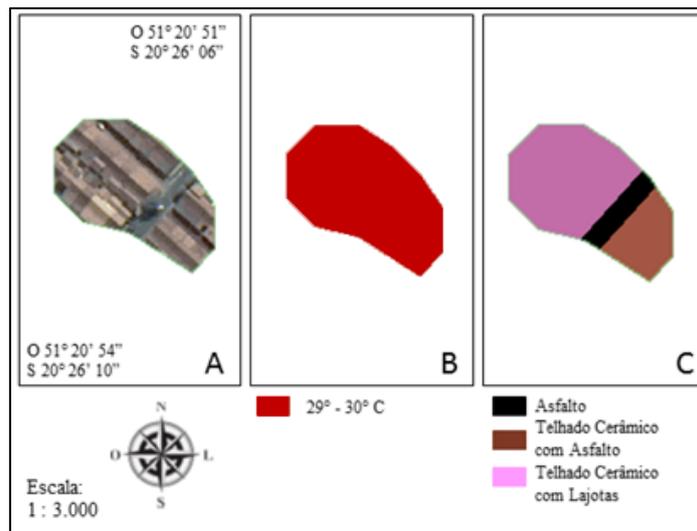
⁽¹⁾TCA, Telhado cerâmico e asfalto.



A – Imagem de satélite Pleiades; B – Temperatura de superfície da ICU; C – Classes de uso e ocupação do solo.

Figura 3. Uso e Ocupação do solo na Área 1, na imagem de 07/02/2015

A Área 2 (Figura 4), localizada no bairro Zona Norte, compreende uma área residencial, com disposição aglutinadas de casas, não havendo espaços entre as mesmas para a passagem de ar, desta forma, favorecendo o aumento da temperatura local.



A – Imagem de satélite Pleiades; B – Temperatura de superfície da ICU; C – Classes de uso e ocupação do solo.
 Figura 4. Uso e Ocupação do solo na Área 2, na imagem de 07/02/2015

O tamanho total desta ICU foi de 0,434 ha, onde identificou-se 03 classes de uso do solo, TCL (64,25%), TCA (23,15%) e ASF (12,60%) (Tabela 2).

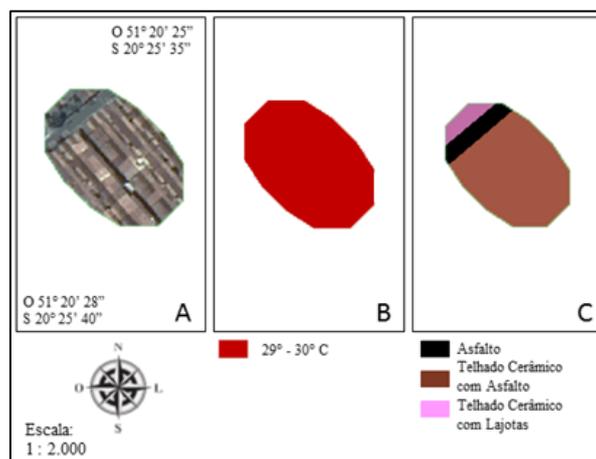
Tabela 2. Uso e ocupação do solo na Área 2, identificada na imagem de 07/02/2015

29 - 30°C	Uso e Ocupação do Solo ⁽¹⁾			TOTAL
	ASF	TCA	TCL	
Área (ha)	0,055	0,101	0,279	0,434
Área (%)	12,60	23,15	64,25	100,00

(1) ASF, Asfalto; TCA, Telhado cerâmico e asfalto; TCL, Telhado cerâmico e lajotas.

Nesta ICU a maioria de sua área possuía o pavimento de lajotas de concreto velhos, onde os mesmos são sujos, este fato interfere na reflectância do material, pois de acordo com Gartland (2010), pavimentos de concretos tendem a ficar sujo com o passar do tempo, assim reduzindo sua reflectância solar a 25-35%.

A ICU denominada Área 3 (Figura 5), estava localizada no bairro Zona Sul, em área residencial. Esta ICU ocupou uma área de 0,441 ha, onde foram identificadas 3 classes de uso do solo, sendo estas, TCA (78,57%), ASF (14,51%) e TCL (6,92%) (Tabela 3).



A – Imagem de satélite Pleiades; B – Temperatura de superfície da ICU; C – Classes de uso e ocupação do solo.
 Figura 5. Uso e Ocupação do solo na Área 3, na imagem de 07/02/2015

Tabela 3. Uso e ocupação do solo na Área 2, identificada na imagem de 07/02/2015

29 - 30°C	Uso e Ocupação do Solo ⁽¹⁾			TOTAL
	ASF	TCA	TCL	
Área (ha)	0,064	0,347	0,031	0,441
Área (%)	14,51	78,57	6,92	100,00

(1) ASF, Asfalto; TCA, Telhado cerâmico e asfalto; TCL, Telhado cerâmico e lajotas.

As classes de uso e ocupação do solo identificadas nas ilhas de calor encontradas foram: TCA, Telhado cerâmico e asfalto; TCL, Telhado cerâmico e lajotas; ASF, asfalto. Estes dados estão de acordo com COLTRI et al. (2007), onde afirma que a morfologia das ilhas de calor é, em sua maioria, sempre a mesma: cimento, telhas de cimento e amianto, asfalto.

O material de pavimentação de maior ocorrência em todas as ilhas de calor constatadas, foi o pavimento asfáltico, em seguida, lajotas de concreto. Tal afirmação concorda com SAYDELLES (2005), onde afirma que a formação do fenômeno das ilhas de calor urbana está relacionada com as atividades desempenhadas pelos seres humanos e com a intensidade dos materiais empregados na expansão das malhas urbanas, (concreto, asfalto, telhados) os quais absorvem e conservam o calor proveniente da radiação solar, sendo assim, alimentando positivamente o aumento da temperatura local.

Nas três áreas identificadas não foi constatado a presença de cobertura natural (vegetação arbórea e vegetação herbácea). De acordo com Oliveira et al. (2013) a sombra da vegetação arbórea é um fator importante para reduzir a quantidade de radiação solar que atinge a superfície da terra (radiação de onda curta), portanto, reduzindo a emissão de radiação de ondas longas. Sendo assim, todas as áreas identificadas com ilhas de calor são caracterizadas pelo excesso de material de construção civil, o adensamento de casas, impedindo a circulação de ar, e nenhuma área verde.

4. Conclusões

Nesta data analisada, as classes de uso do solo encontradas em áreas com ICU, foram TCA (telhado cerâmico e asfalto), TCL (telhado cerâmico e lajotas) e ASF (asfalto), sendo assim, o uso e ocupação do solo influencia diretamente formação das ilhas de calor urbana.

Além do aumento da temperatura estar relacionada com o material sintético de cobertura do solo, o padrão arquitetônico compacto entre as residências, dificultando a circulação do ar, também favoreceu o aumento da temperatura nas áreas denominadas Área 1, Área 2 e Área 3.

A imagem do infravermelho termal do sensor TIRS/Landsat-8, contribuíram na identificação, espacialização e compreensão das ilhas de calor na área urbana de Ilha Solteira.

A utilização da imagem de satélite Pleiades, com alta resolução espacial, foi fundamental na classificação manual das classes de uso e ocupação do solo na formação das ilhas de calor em cidade de pequeno porte.

Sugere-se aprofundar estudos ilha de calor em pequenos centros urbanos, pois um melhor conhecimento do assunto poderá contribuir nos planejamentos urbanísticos, melhorando a qualidade de vida da população local, através da diminuição do desconforto térmico e diminuição de problemas de saúde causados pelo aumento da temperatura.

Referencias Bibliográficas

BARROS, H. R.; LOMBARDO, M. A. A ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo em São Paulo-SP. *Geosp – Espaço e Tempo* (Online), v. 20, n. 1, p. 160-177, mês. 2016. ISSN 2179-0892.

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, p. 31-45, 2013.

- COLTRI, P.P, VELASCO, G.D.N., POLIZEL, J.L.; DEMETRIO, V.A.; Ferreira, N.J., 2007. Ilhas de Calor da estação de inverno da área urbana do município de Piracicaba, SP.
- COSTA, D. F.; SILVA, H. R.; PERES, L. F. Identificação de ilhas de calor na área urbana de Ilha Solteira-SP através da utilização de geotecnologias. **Engenharia Agrícola**, p. 974-985, 2010.
- EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Mapa pedológico do Estado de São Paulo. Campinas: Engemap, 1999. Mapa 13 – Urubupungá, color, 100 cm x 70 cm. Escala 1:500.000 (legenda expandida).
- EPA. Reducing Urban Heat Islands: Compendium of strategies. Urban Heat Island Basics. 2011. p. 1-22. Disponível em: <http://www.epa.gov/heatisl/resources/compendium.htm>. Acesso em: 21 mai. 2016.
- GARCÍA, F. F. **Manual de climatología aplica:** clima, medio ambiente y planificación. Madrid: **Editorial Síntesis, S.A.**, 1996. 285p.
- GARTLAND, L. Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. Tradução: Silvia Helena Gonçalves. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.
- HERNANDEZ, F.B.T. Análise agroclimática da área de influência do Reservatório da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, região noroeste do Estado de São Paulo. Ilha Solteira: UNESP, FEPISA e SEAP/PR (Convênio 80/2005), 2007. 27 p.
- MASHIKI, M. Y. Geoprocessamento na identificação de ilhas de calor e influência do uso e ocupação do solo na temperatura aparente da superfície no município de Botucatu/SP. 2012. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012
- MIRANDA, E. E. de; GOMES, E. G. GUIMARÃES, M. Mapeamento e estimativa da área urbanizada do Brasil com base em imagens orbitais e modelos estatísticos. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005.
- OLIVEIRA, A. S. et al. Variáveis meteorológicas e cobertura vegetal de espécies arbóreas em praças urbanas em Cuiabá, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 4, 2013.
- ORTIZ, G. F.; AMORIM, M. C. C. T. Ilhas de calor em Cândido Mota/SP: Algumas considerações. **Formação (Online)**, v. 1, n. 18, 2012.
- 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. 3, n. 9, p. 1243-1255, 2016.
- ROSA, R. Introdução ao Sensoriamento Remoto. 5a Edição. Ed. da Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2003.
- SANTOS, G. R. Identificação de ilhas de calor na área urbana de Ilha Solteira - SP, através de dados orbitais do satélite LANDSAT 5 – TM. 2005. 112 f. Monografia (Trabalho de Graduação em Agronomia) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2005.
- SAYDELLES, A. P. Estudo do campo térmico e das ilhas de calor urbano em Santa Maria – RS. 2005. 237 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, 2005.
- SÃO PAULO. Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo: IPT, 1981. (Boletim Técnico Científico, 1).
- SILVA, H.R.; ALTIMARE, A.L.; LIMA, E.A.C. de F. Sensoriamento remoto na identificação do uso e ocupação da terra na área do projeto “Conquista da Água”, Ilha Solteira - SP, Brasil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1, p.328-334, 2006.
- USGS - Geological Survey / Serviço de Levantamento Geológico Americano. Aquisicao de imagens orbitais digitais gratuitas do satellite Landsat-8 EUA. Acesso em 08 agosto 2014. Disponível em <<http://landsat.usgs.gov>>.