XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

IMAGENS TERMAIS COMO INDICADORAS DA DEGRADAÇÃO DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS: O CASO DE GUARULHOS, SP, BRASIL

Anderson T. Ferreira (1); Luciana S. Ferreira (2); Alessandra R. Prata Shimomura (3)
(1) Doutorado, Geografia, andersontsferreira@gmail.com, IGc USP, Rua do Lago, 562. Cidade Universitária. São Paulo/SP, (+5511) 3091-0505
(2) Doutorado, Arquitetura e Urbanismo, luciana.swf@gmail.com, FAU USP, Rua do Lago, 876. Cidade Universitária. São Paulo/SP, (+5511) 30914839
(3) Pós-Doutorado, Professora do Departamento de Tecnologia da Arquitetura, arprata@usp.br, FAU USP, Rua do Lago, 876. Cidade Universitária. São Paulo/SP, (+5511) 30914839

RESUMO
As imagens termais, além de revelarem as condições microclimáticas das áreas urbanas, constituem uma importante ferramenta de análise da distribuição dos serviços ecossistêmicos de uma região. Essas imagens revelam as condições térmicas locais, representando o serviço de regulação da Temperatura de Superfície (TS), que tem forte correlação com o uso da terra e constitui um importante indicador da presença de diversos serviços ecossistêmicos. A análise foi aplicada ao município de Guarulhos, Região Metropolitana de São Paulo (RMSP)/Brasil de forma multitemporal, para os anos de 1985, 2003 e 2014, a partir de geoprocessamento e interpretação das imagens dos satélites Landsat 5-TM, 7-ETM+ e 8-OLI. Observou-se que, na região analisada, a TS média apresentou uma tendência de aumento, com diferenças de até 6ºC entre as áreas urbanas e de vegetação arbórea. *Hotspots* da TS superiores a 40ºC foram observados, principalmente, nas áreas industriais e no Aeroporto Internacional de Guarulhos. A Análise por Componentes Principais (ACP) apontou para três zonas com diferentes graus de condições térmicas, que indicaram o potencial de "perda", "oferta com prejuízo" e "oferta" de serviços ecossistêmicos. A variação espacial dessas zonas mostrou que dos 47 bairros do município, apenas um manteve 100% de sua área com total prestação do serviço ecossistêmico de manutenção da TS; 10 oscilaram entre ofertados com prejuízo e perda e 36 apresentaram índices muito baixos revelando uma forte perda dos serviços no processo de urbanização de 1985 a 2014.
Palavras-chave: imagem termal, serviços ecossistêmicos, análise por componentes principais.

ABSTRACT
Thermal images, in addition to revealing the microclimatic conditions of urban areas, are an important tool for analyzing the distribution of ecosystem services in a region. These images reveal the local thermal conditions, representing the service of regulation of surface temperature (TS), which has a strong correlation with land use and is an important indicator of the presence of several ecosystem services. The analysis was applied to the municipality of Guarulhos, Metropolitan Region of São Paulo (RMSP)/Brazil in a multitemporal way, for the years 1985, 2003 and 2014, based on geoprocessing and interpretation of the images from Landsat satellites. It was observed that, in the analyzed region, the average tendency of increase, with differences up to 6ºC between urban areas and vegetated areas. TS hotspots higher than 40ºC were mainly observed in the industrial areas and at Guarulhos International Airport. Principal Component Analysis (PCA) showed three zones with different degrees of thermal conditions, indicating the potential of "loss", "supply with loss" and "supply" of ecosystem services. The spatial variation of these zones showed that from the 47 districts of the municipality, only one maintained 100% of its area with total provision of the ecosystem service of TS maintenance; 10 oscillated between "offered with loss" and "loss" and 36 presented very low indices revealing a strong loss of ecosystem services due to the urbanization process from 1985 to 2014.
Keywords: thermal image, ecosystem services, principal component analysis.

1. INTRODUÇÃO

Dados sobre Temperaturas da Superfície (TS) são de primordial importância para o estudo da climatologia urbana; pois modulam a temperatura do ar nas camadas mais baixas da atmosfera urbana e controlam, entre outros, o intercâmbio de energia que afeta o conforto dos moradores da cidade (Voogt & Oke, 2003).

Pesquisas sobre detecção do campo térmico por meio do sensoriamento remoto orbital em áreas urbanas têm sido desenvolvidas para diversos fins, entre eles, o da variação do padrão espacial da TS e sua relação com o uso da terra, vegetação e ilha de calor urbana (Kim, 1992; Shoshany et al., 1994; Aniello et al., 1995; Weng et al., 2004; Chen et al., 2006; Li et al., 2014; Lin et al., 2015; Mohan & Kandya 2015).

As diferentes TS dos alvos urbanos, obtidas pelas imagens termais de satélite, devem-se principalmente aos diferentes comportamentos desses alvos quanto à emissão de calor ou radiação infravermelha (Gartland, 2001; Voogt & Oke, 2003; Arnfield, 2003; Weng, 2009). Desta forma, apresentam importante correlação com o uso da terra (Weng et al., 2007; Li et al., 2009; Buyantuyev & Wu, 2010; Zhou et al., 2011), revelando as áreas com maior ou menor cobertura vegetal, por exemplo (Xiao et al., 2007; Yuan & Bauer, 2007; Zhang et al., 2009; Deng & Wu, 2013).

Mais do que isso, as imagens termais podem ser consideradas como indicadoras da presença maior ou menor de condições de conforto térmico proporcionado pela vegetação, através do serviço ecossistêmico de regulação térmica para o bem-estar humano (Alcamo et al., 2003).

Nesse sentido, conhecer a distribuição das temperaturas de superfície, por meio da aplicação e da interpretação de imagens de satélite; constitui uma forma eficiente de analisar a distribuição dessas temperaturas nas cidades; bem como, o mapeamento dos serviços ecossistêmicos (Lombardo, 1985; Oliveira et al., 2010).

Neste contexto, o presente artigo apresenta um estudo do município de Guarulhos, Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), São Paulo, Brasil. Por meio da análise multitemporal das imagens orbitais da TS foram identificadas as áreas nas quais, ao longo de três décadas (1985, 2003 e 2014), houve perda dos serviços ecossistêmicos de regulação da temperatura pela perda de cobertura arbórea, buscando subsidiar a necessidade de ações corretivas e/ou preventivas na minimização dos efeitos do processo de urbanização, direcionando à tomada de decisões sobre diretrizes climáticas para a ocupação da cidade de Guarulhos, bem como de outras cidades Brasileiras.

Os Serviços Ecossistêmicos da Biosfera (SEB) são assim denominados por constituírem fontes e fluxos de matéria, de energia e de inspiração que beneficiam direta ou indiretamente os seres humanos (Alcamo, 2003, Oliveira et al, 2010). Esses benefícios incluem o fornecimento de alimentos, regulação climática, suporte para as diferentes espécies, entre outros.

Assim, pode-se dizer que o meio ambiente, por meio de seus processos naturais, desempenha papéis ou funções que beneficiam os seres humanos e que a alteração do ambiente interfere nesse desempenho e na qualidade de vida das populações rurais e urbanas (Ferreira, 2012). Tais serviços são classificados como de suporte, de provisão, culturais e de regulação.

Apesar de tratar-se de um conceito utilitário e antropocêntrico da natureza, os Serviços Ecossistêmicos da Biosfera buscam evidenciar os benefícios oriundos de processos naturais para integrá-los às escolhas políticas, e decisões de negócios (De Groot, 1992; UNEP, 2010).

O Serviço Ecossistêmico de Regulação é definido como aquele relacionado à capacidade dos ecossistemas naturais regularem e manterem os processos ecológicos de suporte à vida na Terra. Nesta categoria inclui-se a regulação microclimática promovida pela vegetação, tema abordado no presente artigo.

A influência da vegetação no microclima é complexa (Erell et al., 2011) e varia de acordo com a escala de análise (Coutts, 2015). Na escala microclimática local esta influência está ligada a dois mecanismos principais, sombreamento e evapotranspiração. Por meio destes, a vegetação é capaz de reduzir tanto as TS quanto as temperaturas do ar, contribuindo para melhora no conforto térmico em áreas urbanas e com a redução da intensidade da ilha de calor (Chen, 2009; Ferreira, 2015; ADAM; SMITH, 2014).

Vale destacar que além da redução das temperaturas, a vegetação também contribui com a redução do escoamento superficial, erosão, escorregamentos, assoreamentos e, por conseguinte, inundações (Oliveira, et al. 2009).

2. OBJETIVO

O objetivo do artigo foi identificar, por meio de imagens termais, a degradação do Serviços Ecossistêmicos de regulação microclimática promovida pela vegetação na cidade de Guarulhos/SP/Brasil.

3. MÉTODO

A metodologia adotada no presente artigo consistiu nas seguintes etapas: 1) delimitação da área de estudo e seleção das imagens; 2) elaboração e avaliação dos mapas de uso e ocupação do solo; 3) geração dos mapas de TS; e, 4) análises das imagens de TS por Componentes Principais (CP).

3.1. Área de Estudo – cidade de Guarulhos/SP/Brasil

Guarulhos é o segundo maior município paulista em termos populacionais, com mais de 1.221.979 habitantes (IBGE, 2015). Localizado na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), o município possui e 319,15 km2 (Figura 1).

O clima é o subtropical úmido (Cwa) segundo a classificação de Köppen (Miner, 1989) com temperatura média anual de 19ºC, umidade relativa do ar média anual de 81%, precipitação anual média de 1.470 mm e ventos dominantes ESE. No verão a temperatura máxima média do ar alcança cerca de 33ºC (INMET, 2015). Na Figura 1c observa-se que as áreas em verde representam a cobertura vegetal, sendo que, as áreas em magenta/rosa indicam regiões urbanizadas na imagem Landsat 8 - OLI de 08/02/2014.

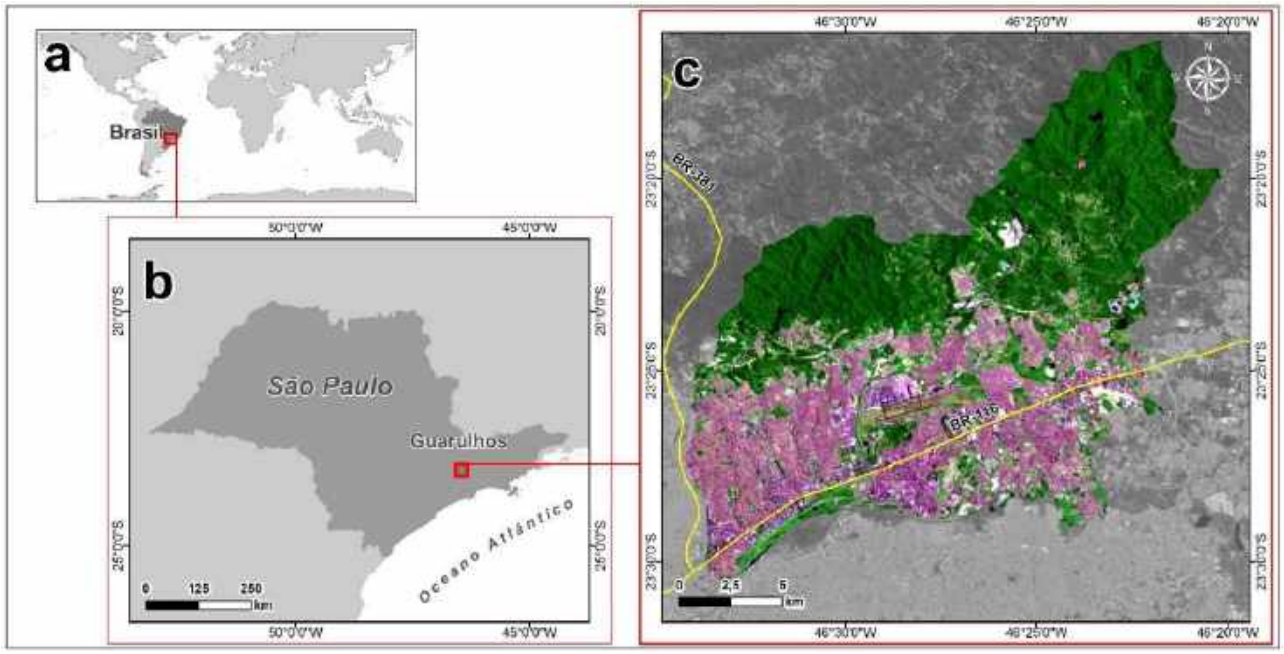


Figura 01 - Área de estudo(A) Brasil, (B) Estado de São Paulo e (C) Município de Guarulhos no Estado de São Paulo, Brasil.

3.2. Elaboração e avaliação dos mapas de uso e ocupação do solo

As imagens orbitais adquiridas para a construção dos mapas termais foram aquelas sem nuvens para as datas de 12/03/1985, 02/02/2003 e 08/02/2014, respectivamente para os satélites da série Landsat 5-TM, 7-ETM+ e 8-OLI, cena 219/76 (USGS, 2015). O horário de passagem do Landsat sobre a área de estudo é por volta das 10h00 e a resolução espacial, neste caso, é 30m. As imagens foram selecionadas na estação quente (verão), quando a Temperatura de Superfície (TS) é mais elevada e a vegetação mais vigorosa, tornando mais fácil a distinção dos padrões de distribuição na cidade (GUO et al., 2015).

Todo o processamento digital para as correções radiométricas e geométricas foi realizado com o software ArcGIS 10.2 da ESRI®. O sistema de projeção utilizado foi a Universal Transversa de Mercator, Fuso 23, Datum horizontal SIRGAS2000. É importante ressaltar que a data da imagem Landsat 7 ETM+, de 02/02/2003, é anterior à data do problema reportado no Scan Line Corrector (SLC), ocorrido em 31 de maio de 2003 (USGS, 2016). Esta falha resultou numa perda de aproximadamente 22% dos dados, causando listras negras (gaps) nas imagens de cada cena.

O mapeamento do uso e ocupação do solo foi realizado por meio da classificação supervisionada pelo classificador de Máxima Verossimilhança (Crósta, 1993). Como resultado obteve-se para as três datas analisadas 5 classes de uso e ocupação do solo: 1. “Zona urbana”, 2. “Solo exposto”, 3. “Corpo d’água”, 4. “Vegetação arbustiva/herbácea” e 5. “Vegetação arbórea” (Figura 2a).

A avaliação da exatidão da classificação do mapa de uso e ocupação do solo foi realizada através da técnica analítica do índice kappa (k) (Congalton et al. 1983; Congalton, 1991; Lillesand et al., 2004; Richards & Jia, 2006). A classificação teve como base as imagens orbitais com composição colorida

correspondente às faixas do infravermelho, infravermelho próximo e do visível, respectivamente, para os canais vermelho, verde e azul dos sensores da série Landsat (i.e. R7, G4, B1 para os sensores TM e ETM+; e, R7, G5, B2 para o sensor OLI).

A vantagem de se mapear utilizando essas combinações de bandas é que, além de se trabalhar com todo o espectro eletromagnético do sensor, esses comprimentos de onda ou bandas espectrais são menos correlacionáveis entre si quando comparadas a outras combinações simples, possibilitando maior discriminação dos alvos (Ferreira et al., 2013).

De acordo com Congalton (1991), para a análise de acurácia, deve-se utilizar no mínimo 50 amostras por classe mapeada. No presente artigo foram usados 371 pontos de controle amostrados, aleatoriamente, e divididos proporcionalmente entre as cinco classes. Esta observação foi corroborada, in situ, através de fotografias aéreas oblíquas a partir de um sobrevoo de helicóptero orientado pelas coordenadas geográficas dos pontos, realizado em 06/10/2015 (Figura 2b, 2c e 2d).

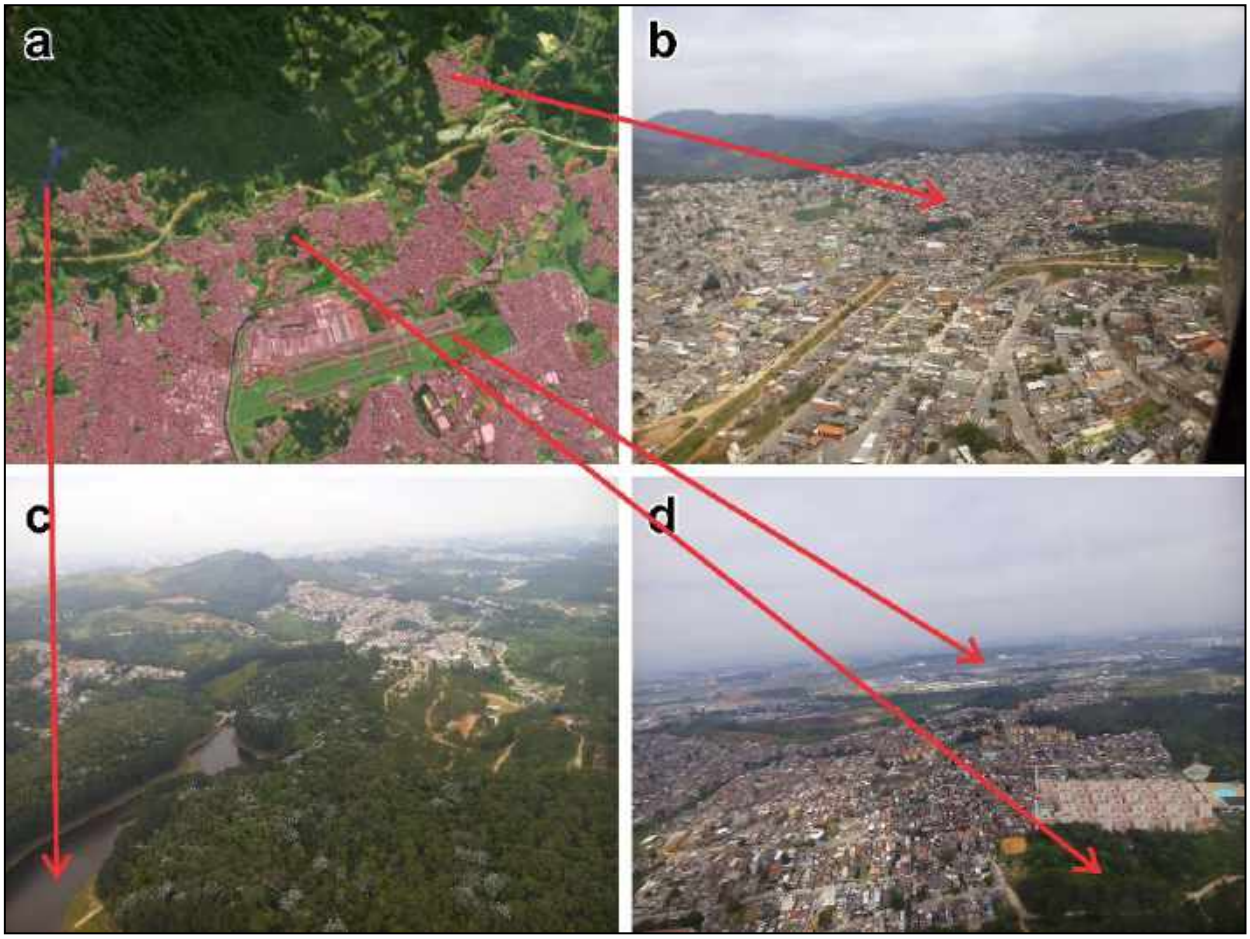


Figura 2 – (A) Resultado da classificação sobreposto às imagens de alta resolução espacial (satélite IKONOS II-PSM) do Google Earth Pro, de 29/08/2015 (GOOGLE, 2015); (B), (C) e (D) Fotografias aéreas oblíquas obtidas a partir de um sobrevoo de helicóptero em 06/10/2015, corroborando o resultado da classificação.

3.3. Geração das imagens de Temperatura da Superfície (TS) em ºC

As imagens termais foram geradas a partir dos dados de radiância das bandas termais dos satélites Landsat 5-TM, 7-ETM+ e 8-OLI. A conversão de radiância para Temperatura de Superfície foi realizada de acordo com os protocolos de cada sensor, estabelecidos pelo Serviço Geológico Americano (USGS) (USGS, 2015; 2016). Devido às diferentes resoluções espaciais dos sensores (TM, 120m; ETM+, 60m, e; TIRS, 100m), neste caso, todas as bandas termais foram reamostradas para uma resolução espacial média de aproximadamente 90 m.

3.4. Análise das imagens de TS por Componentes Principais (CP)

A Análise por Componentes Principais (ACP) tem como principal característica a redução do número de variáveis correlacionadas para determinado conjunto de dados, preservando a variância total dos mesmos (Ferreira et al., 2013). A ACP foi usada para converter as três imagens termais (1985, 2003 e 2014) em um

novo conjunto de dados, com a finalidade de identificar as áreas com maior ou menor variância de temperatura superficial (Lu & Weng, 2006). A primeira Componente Principal (ACP - 1) é responsável pela maioria da variância na imagem, enquanto os valores de variância não compreendidos na ACP – 1 são representados nas demais principais componentes (ACP – 2, ACP - 3... ACP - n).

4. RESULTADOS

A avaliação do resultado da exatidão da classificação do mapa de uso e ocupação do solo para 2014 apontou uma probabilidade de 88% das categorias mapeadas terem sido classificadas corretamente, representando uma avaliação excelente, de acordo com a tabela de referência de Landis & Koch (1977).

A Figura 3a apresenta os valores da TS média para o município de Guarulhos. Os anos de 1985, 2003 e 2014 apresentaram, respectivamente, TS médias de 27ºC, 28ºC e 31ºC, indicando um incremento da temperatura média para todo o município nos anos analisados.

Já a Figura 3b demonstra que o incremento da TS, entre os anos de 1985 e 2014, ocorreu concomitante com o aumento das áreas urbanizadas (de 20% para 39%) e diminuição das áreas de vegetação arbórea (de 48% para 42%); bem como, com o decréscimo das áreas referentes às classes da vegetação arbustiva/herbácea, solo exposto e corpos d'água (de 32% para 19%, juntas). Tais resultados evidenciam a forte correlação entre a TS e as condições de vegetação, corroborando trabalhos anteriores (NICHOL, 1996a, 1998b; Li et al., 2011; Maimaitityiming et al., 2014; Guo et al., 2015).

Correlações lineares da TS com o tipo de uso e ocupação do solo e a vegetação já foram observadas em diversos estudos anteriores (Weng et al., 2004; Chen et al., 2006; Yue et al., 2007; Li et al., 2013; Odindi et al., 2015); corroborando o observado neste artigo, que apontou que cerca de 74% (R^2 0,74) dos valores de temperatura superficial são explicados pelas diferentes classes de uso do solo encontrados no município de Guarulhos. De forma semelhante, Camargo et al. (2007), através de imagens da TS, apontaram a evolução urbana como fator influenciador da modificação e aumento do campo térmico na Região Metropolitana de São Paulo entre os anos de 1985, 1993 e 2003.

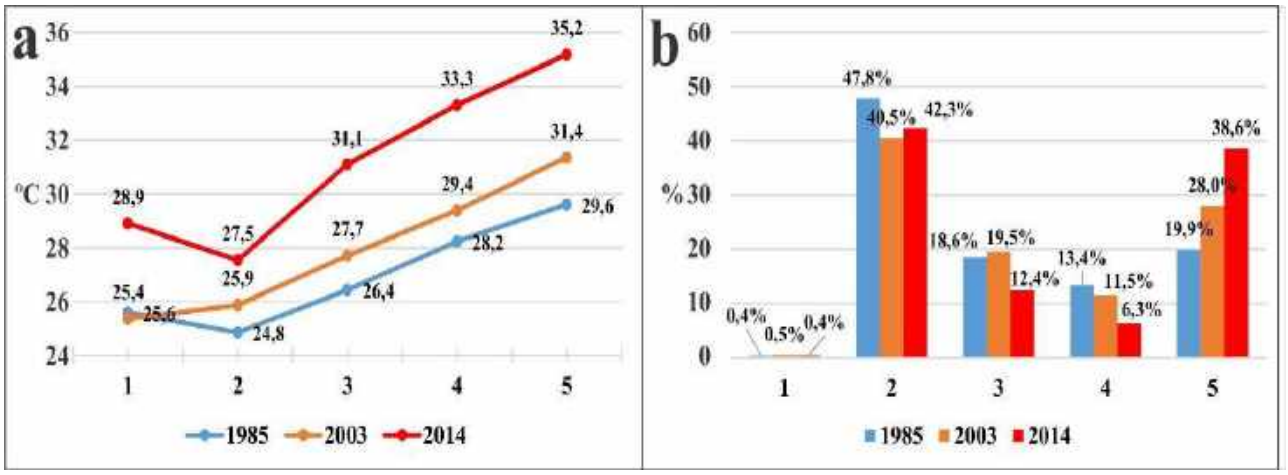


Figura 3 – (A) Temperatura aparente média da superfície estimada por satélite em função das classes de uso e ocupação do solo para os anos de 1985, 2003 e 2014; (B) Porcentagem de área para as classes de uso e ocupação do solo para os anos de 1985, 2003 e 2014. Sendo: (1) copo d'água; (2) vegetação arbórea; (3) vegetação arbustiva/herbácea; (4) solo exposto; (5) zona urbana

A Figura 4 (4a, 4c e 4e) apresenta a distribuição geográfica das classes de uso e ocupação do solo para os anos analisados. Observou-se que para o ano de 1985 a área urbanizada concentrava-se principalmente no setor sudoeste do município de Guarulhos (Zona Urbana). Ao longo dos anos seguintes (2003 e 2014) verifica-se crescimento da área urbana principalmente na porção leste e sudeste (Zona Urbana, Figuras 4c e 4e), pressionando as regiões de vegetação arbórea na porção norte e nordeste (Figuras 4a, 4c e 4e).

Para todo o período estudado, as áreas urbanizadas apresentaram TS superiores àquelas não urbanizadas. Áreas com TS superiores a 40ºC foram identificados nas regiões industriais, bem como, no Aeroporto Internacional de Guarulhos (Figura 4d e 4f); enquanto as Figuras 4b, 4d e 4f mostram valores da TS inferiores a 20ºC na porção florestada a nordeste do município, no Pico do Gil e Parque Estadual da Cantareira.

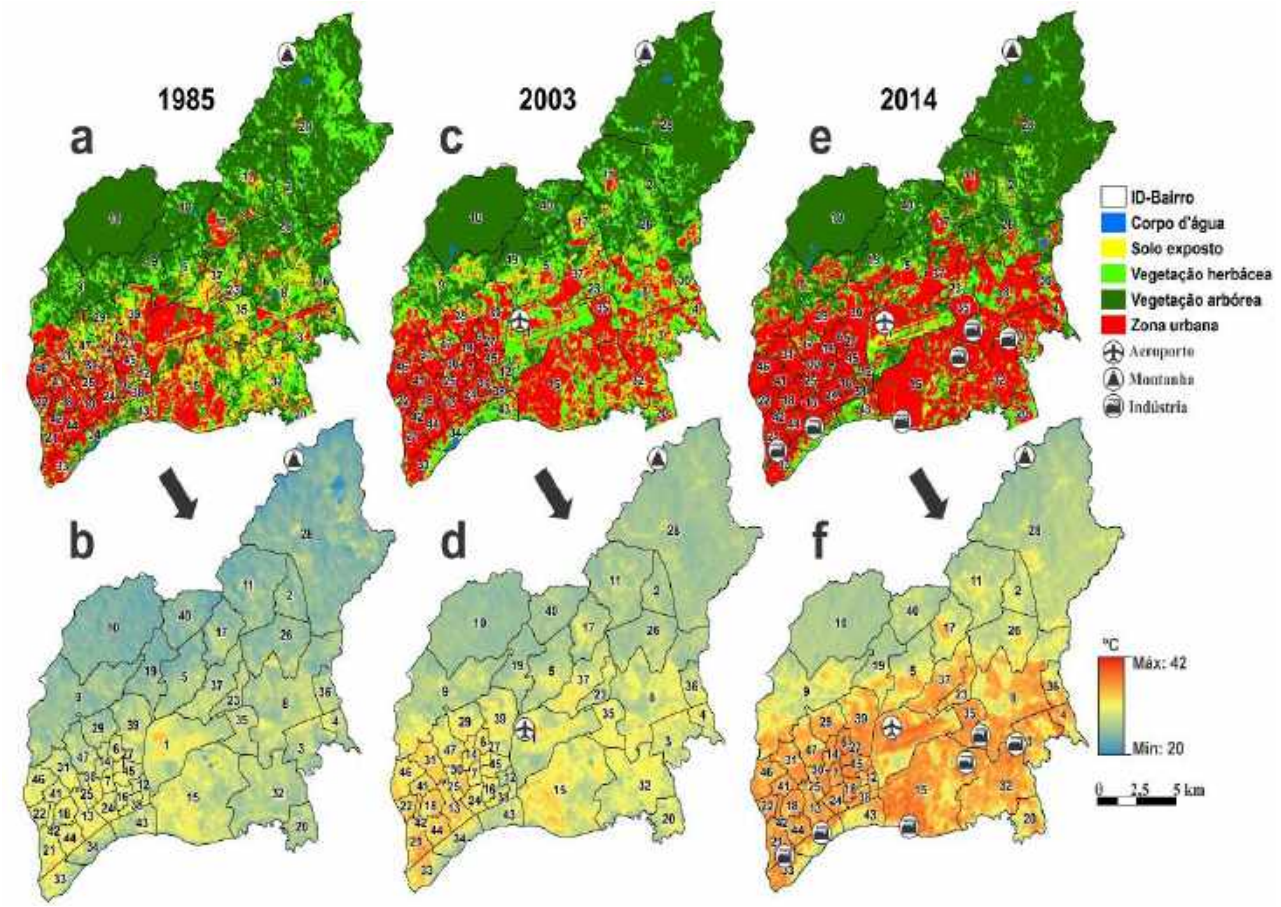


Figura 4 – (A), (C) e (E) Mapa das classes de uso e ocupação do solo; (B), (D) e (F) Temperatura da Superfície ºC para os nos anos de 1985, 2003 e 2014, no município de Guarulhos, SP.

Observação: Os números de 1 a 47 representam os bairros de Guarulhos: 1 - Aeroporto; 2 - Água Azul; 3 - Água Chata; 4 - Aracilia; 5 - Bananal; 6 - Bela Vista; 7 - Bom Clima; 8 - Bonsucesso; 9 - Cabuçú; 10 - Cabuçú Cima; 11 - Capelinha; 12 - Cecap; 13 - Centro; 14 - Cocaia; 15 - Cumbica; 16 - Fátima; 17 - Fortaleza; 18 - Gopoúva; 19 - Invernada; 20 - Itaim; 21 - Itapegica; 22 - Jd. Vila Galvão; 23 - São João; 24 - Macedo; 25 - Maia; 26 - Mato das Cobras; 27 - Monte Carmelo; 28 - Morro Grande; 29 - Morros; 30 - Paraventi; 31 - Picanço; 32 - PimenTS; 33 - Ponte Grande; 34 - Porto da Igreja; 35 - Presidente Dutra; 36 - Sadokim; 37 - Lavras; 38 - São Roque; 39 – Taboão; 40 - Tanque Grade; 41 - Torres Tibagy; 42 – Tranquilidade; 43 - Várzea do Palácio; 44 - Vila Augusta; 45 - Vila Barros; 46 - Vila Galvão; 47 - Vila Rio.

A Figura 5 apresenta o mapa gerado pela Análise por Componentes Principais (ACP) das imagens de TS e o mapa das Zonas de Prestação dos Serviços Ecossistêmicos. A Análise por Componentes Principais (ACP) indicou que a CP - 1 apresentou 91,58% da variância dos dados, enquanto CP - 2 e CP - 3 representaram, respectivamente, 4,8% e 3,62% dessa variância. Na composição dos auto-vetores, as imagens com maior participação foram respectivamente 2014 (0,76), 2003 (0,49) e 1984 (0,43). Isso indica que a imagem que representou a maior variância de Temperatura de Superfície dentro da CP - 1 foi a de 2014. Sendo assim, através desses parâmetros, foi possível identificar padrões na distribuição dos processos físicos associados à variabilidade espacial e temporal da Temperatura da Superfície.

A imagem da CP aplicada às séries temporais das imagens da TS de 1985, 2003 e 2014 (Figura 5a) indicou que as regiões com maior variância da TS são aquelas marcadas pela CP – 1 (Figura 5a) e pela Zona – 1 (Figura 5b), que corresponde a 44% do município de Guarulhos. Essa zona é caracterizada pela alta variância e incremento da TS ao longo do período estudado, representando os locais onde ocorreram as maiores transformações das áreas vegetadas para zona urbana e onde, potencialmente, não há mais oferta dos serviços ecossistêmicos.

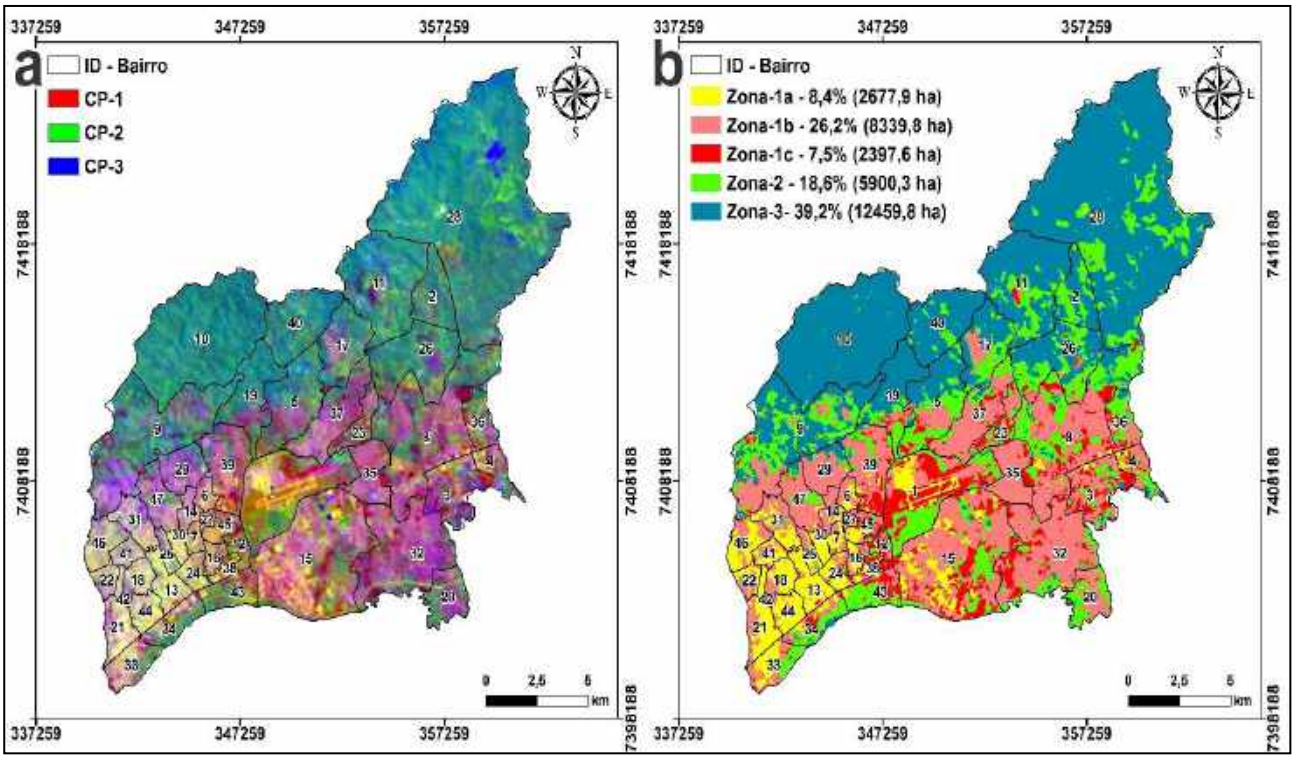


Figura 5 – (A) Mapa de Componentes Principais CP – 1, CP - 2 e CP - 3 gerados na Análise de Componentes Principais das imagens de Topografia da Superfície; (B) Mapa das Zonas de Prestação dos Serviços Ecossistêmicos.

Observação: Zona 1 (a, b, c) representa Perda Total dos Serviços Ecossistêmicos, a Zona 2 a Perda Moderada dos Serviços Ecossistêmicos, e a Zona 3 a Manutenção dos Serviços Ecossistêmicos. Os números de 1 a 47 representam os bairros de Guarulhos destacados na legenda da Figura 4.

A CP – 2 aponta para valores de variância da TS não compreendidos na CP – 1, observados na Figura 5a e pela Zona 2 (Figura 5b). Essas áreas representaram 20% do município, e encontra-se com seu potencial de serviços ecossistêmicos ofertados com prejuízo (interface entre as Zonas 1 e 3), sugerindo que essas áreas tenham passado por eventos recentes de desmatamento e sucessão de vegetação entre 2003 e 2014. De outro modo, a baixa variância da TS descrita na CP – 3 (Figura 5a) é entendida neste artigo, como as áreas onde houve o menor incremento da TS ao longo do período estudado. Estas áreas representam cerca de 36% da área do município de Guarulhos, que potencialmente, ainda mantém os serviços ecossistêmicos de regulação da Temperatura de Superfície ofertados pela vegetação arbórea. Isto se dá, muito em parte, pela cobertura florestal do Parque Estadual da Cantareira.

Vale salientar que na imagem da Figura 5a, aparece uma região em tons de branco/amarelado. Entende-se que tal característica pode estar associada à área do município de Guarulhos onde a TS sempre esteve elevada. Essa porção do município corresponde, historicamente, a região densamente construída e verticalizada do centro de Guarulhos (região no entorno do bairro nº13 - Centro).

A Figura 5b indica a variação espacial do potencial de prestação dos serviços ecossistêmicos para os 47 bairros Guarulhos. Nesta observa-se que: 1. Os 36 bairros perderam mais de 90% de suas áreas prestadoras de serviços ecossistêmicos de regulação da TS (Zona 1 e Zona 2 na Figura 5b); 2. Os 10 bairros oscilam entre 50% a 90%, de perda desses serviços; e, 3. Apenas um bairro, Cabuçú Cima (nº 10), manteve 100% de sua área com total prestação do serviço ecossistêmico de regulação da TS (Zona 3 na Figura 5b). Este último manteve preservado seu potencial de prestação dos serviços ecossistêmicos, muito em função da criação da APA Cabuçú - Tanque Grande, no entorno do Parque Estadual da Cantareira (Oliveira et al., 2009; GUARULHOS, 2010a; 2010b).

A importância dos Serviços Ecossistêmicos da Biosfera (SEB) é crescente desde que a ONU desenvolveu o estudo de Avaliação Ecossistêmica do Milênio (2015), realizado de 2001 a 2005. Este documento revelou, entre outras conclusões, que nos últimos 50 anos houve perdas irreversíveis da biodiversidade e que a degradação dos serviços ecossistêmicos constitui importante barreira para o desenvolvimento sustentável e para a eliminação da pobreza, havendo necessidade de mudanças significativas nas políticas e práticas de desenvolvimento.

Nesse sentido, tendo em vista que o serviço de regulação da temperatura superficial proporcionado pela vegetação tem relevante papel para o bem-estar humano e estreita relação com o uso e a ocupação do solo, este se torna de grande importância para o planejamento ambiental urbano e/ou territorial. Para o

município de Guarulhos, a metodologia apresentada nesse artigo tem grande aplicabilidade no subsídio de informações para o cumprimento da Lei nº 6.551/2009 (GUARULHOS, 2009).

Esta lei, intitulada de Programa Ilhas Verdes (PIV), foi reconhecida pela UNESCO como exemplo de política pública (UNESCO, 2017), por ter como principal objetivo o combate à ilha de calor urbana por meio de ações de conservação dos remanescentes florestais existentes ou do estabelecimento de novas áreas verdes, com base em informações de mapeamento termal por imagem de satélite.

5. CONCLUSÕES

Este estudo evidenciou que a Temperatura de Superfície na cidade de Guarulhos, SP, depende do tipo de uso do solo e, principalmente, das condições de vegetação. Os resultados indicam que 74% dos dados de temperatura superficial são explicados pelo tipo de classe cobertura do solo. Observou-se que, na região analisada, a TS média apresentou uma tendência de aumento, com diferenças de até 6ºC entre as áreas urbanas e de vegetação arbórea. Esta tendência poderá ser melhor observada, utilizando-se uma série histórica maior de imagens.

Dessa forma, as imagens termais constituem uma importante ferramenta de avaliação dos serviços ecossistêmicos e, consequentemente, de gestão ambiental urbana subsidiando a formulação de políticas públicas que atuem na conservação e/ou implementação de cobertura vegetal em áreas urbanizadas. A finalidade é melhorar a relação de área verde por habitante, contribuindo assim, com ações que visem minimizar os impactos da urbanização sobre as áreas prestadoras de serviços ambientais e a redução dos efeitos das ilhas de calor urbanas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, M. P., SMITH, P. L. (2014). A systematic approach to model the influence of the type and density of vegetation cover on urban heat using remote sensing. **Landscape and Urban Planning**, 132, p.47–54.

ALCAMO, J.; ASH, N. J.; BUTLER, C. D.; CALLICOTT, J. B.; CAPISTRANO, D.; CARPENTER, S. R.; CASTILLA, J. C.; CHAMBERS, R.; CHOPRA, K.; CROPPER, A.; DAILY, G. C.; DASGUPTA, P.; GROOT, R.; DIETZ, T.; DURAIAPPAH, A. K.; GADGIL, M.; HAMILTON, K.; HASSAN, R.; LAMBIN, E. F.; LEBEL, L.; LEEMANS, R.; JIYUAN, L.; MALINGREAU, J. P.; MAY, R. M.; MCCALLA, A. F.; MCMICHAEL, T.; MOLDAN, B.; MOONEY, H.; NAEEM, S.; NELSON, G. C.; YUAN, N. W.; NOBLE, I.; ZHIYUN, O.; PAGIOLA, S.; PAULY, D.; PERCY, S.; PINGALI, P.; ALLEN, R. P.; REID W. V.; RICKETTS, T. H.; SAMPER, C.; SCHOLES, R.; SIMONS, H.; TOTH, F. L.; TURPIE, J. K.; WATSON, R. T.; WILBANKS, T. J.; WILLIAMS, M.; WOOD, S.; SHIDONG, Z. & ZUREK, M. B. (2003). **Ecosystems and Human Well – being**. A report of the conceptual frame working working group of the Millennium Ecosystem Assessment. Island Press, 245 p.

ANIELLO, C., MORGAN, K., BUSBEY, A., & NEWLAND, L. (1995). Mapping micro urban heat islands using Landsat TM and a GIS. **Comparative Geoscience**, v. 21, p. 965–969.

ARNFIELD, A. J. (2003). Two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. **International Journal of Climatology**, v. 23, n.1, p. 1–26. 10.1002/joc.859.

BUYANTUYEV, A., & WU, J. (2010). Urban heat islands and landscape heterogeneity: Linking spatiotemporal variations in surface temperatures to land-cover and socioeconomic patterns. **Landscape Ecology**, v. 25, n. 1, p. 17–33. 10.1007/s10980-009-9402-4.

CAMARGO, F. F.; PEREIRA, G.; MORAES, E. C.; OLIVEIRA, L. G. L. & ADAMI, M. (2007). Análise multitemporal da evolução urbana e sua influência na modificação do campo térmico na Região Metropolitana de São Paulo para os anos de 1985, 1993 e 2003. Anais. **XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Florianópolis, p. 5127- 5134, em 15 de fevereiro de 2015, de http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr%4080/2006/11.18.00.05/doc/51275134.pdf. Acesso: 15 fevereiro 2015.

CHEN, X. L., ZHAO, H. M., LI, P. X. & YIN, Z. Y. (2006). Remote sensing image-basedanalysis of the relationship between urban heat island and land use/coverchanges. **Remote Sensing of Environment**, 104 (2), 133–146. 10.1016/j.rse.2005.11.016.

CONGALTON, R. G.; ODERWALD, R. G. & MEAD, R. G. (1983). Assessing Landsat classification accuracy using discrete multivariate statistical techniques. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 49 (12): 1671-1678.

CONGALTON, R. G. (1991). A review of assessing the accuracy classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing Environment**, v. 37, p. 35-46, 10.1016/0034-4257(91)90048-B.

COUTTS, Andrew. (2015). Green infrastructure for cities: It´s all about trees. **Urban Climate News**, n. 57, Sept. 2015, p.7-12. Informações recuperadas da página da International Association for Urban Climate em 3 de novembro de 2016, de http:// www.urban-climate.org.

CRÓSTA, A. P. (1993). **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas, SP, UNICAMP, ed. rev., 170p.

DE GROOT, R. S. (1992). **Functions of Nature. Evaluation of nature in environmental planning, management and decision making**. Amsterdam: Wolters-Noordhoff.

Deng, C., & Wu, C. (2013). Examining the impacts of urban biophysical compositionson surface urban heat island: A spectral unmixing and thermal mixing approach. Remote Sensing of Environment, 131, 262–274. 10.1016/j.rse.2012.12.020.

ERELL, E; PEARLMUTTER, D; WILLIAMSON, T. (2011). **Urban Microclimate: Designing the Spaces Between Buildings**. London: Eathscan.

FERREIRA, A. T. S.; Amaro, V. E. & Santos, M. S. T. (2013). Imagens AQUA-MODIS aplicadas à estimativa e monitoramento dos valores de material particulado em suspensão na plataforma continental do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 3, p. 343-357.

FERREIRA, E. S. (2015). **Análise da interface da floresta urbana do Parque Estadual da Cantareira, Núcleo Cabuçu em Guarulhos, SP**. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Mestrado Acadêmico em Análise Geoambiental, Universidade Guarulhos. Guarulhos, São Paulo, 126 p.

GARTLAND, L. (2001**). Cool Roof Energy Savings Evaluation for City of Tucson**. Thomas O. Price Service Center Administration Building One. Tucson, AZ, City of Tucson, 117p.

GUARULHOS. Lei nº 6.551, de 24 de agosto de 2009. Institui o programa ilhas verdes – PIV no Município de Guarulhos e dá providências correlatas. (2009). **Diário Oficial [do] Município de Guarulhos**, Guarulhos/SP, recuperado em 25 de agosto de 2009, de http://www.guarulhos.sp.gov.br

GUARULHOS. Decreto nº 28.273, de 27 de novembro de 2010. (2010a). Cria a Estação Ecológica Municipal do Tanque Grande, **Diário Oficial [do] Município de Guarulhos**, em 30 de janeiro de 2015, de ,http://www.guarulhos.sp.gov.br

GUARULHOS. Lei nº 6.798, de 28 de dezembro de 2010. (2010b). Dispõe sobre a Criação da Área de Proteção Ambiental Cabuçú - Tanque Grande e dá providências correlatas, **Diário Oficial [do] Município de Guarulhos**, de 30 de janeiro de 2015, de http://www.guarulhos.sp.gov.br

GUO, G.; WU, Z.; XIAO, R.; CHEN, Y.; LIU, X. & ZHAN, X. (2015). Impacts of urban biophysical composition on land surface temperature in urban heat island clusters. **Landscape and Urban Planning**. 135, 1–10. 10.1016/j.landurbplan.2014.11.007.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). (2015). Informações recuperadas da página do **IBGE** na internet em 01 de janeiro de 2015, de www.ibge.gov.br

INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). (2015). Informações recuperadas da página do **INMET** na internet em 01 de junho de 2015, de www.imet.gov.br

Kim H. H. (1992). Urban heat island. International Journal of Remote Sensing, 13, 2319–2336..

LANDIS, J. R. & KOCH, G. G. (1977) The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, p. 159-154.

LI, J. J., WANG, X. R. & WANG, X. J. (2009). Remote sensing evaluation of urban heat island and its spatial pattern of the Shanghai metropolitan area, China. **Ecol. Complex**. 6, 413–420. 10.1016/j.ecocom.2009.02.002.

LI, J., SONG, C., CAO, L., ZHU, F., MENG, X., & WU, J. (2011). Impacts of landscape structure on surface urban heat islands: A case study of Shanghai, China. **Remote Sensing of Environment**, 115(12), 3249–3263. 10.1016/j.rse.2011.07.008

LI, X. M., ZHOU, W.Q. & OUYANG, Z.Y. (2013). Relationship between land surface temperature and spatial pattern of greenspace: what are the effects of spatial resolution? **Landsc. Urban Plan**. 114, 1–8. 10.1016/j.landurbplan.2013.02.005.

LI, W.; BAI, Y.; CHEN, Q.; HE, K.; JI, X.; HAN, C. (2014). Discrepant impacts of land use and land cover on urban heat islands: A case study of Shanghai, China. **Ecological Indicators** 47, 171–178. 10.1016/j.ecolind.2014.08.015.

LILLESAND, T. M., KIEFER, R. W. & CHIPAN, J. W. (2004). **Remote sensing and interpretation**. 5ed. Madison: Wiley, 763p.

LIN, W.; YU, T.; CHANG, X.; WU, W.; ZHANG, Y. (2015). **Calculating cooling extents of green parks using remote sensing: Method and test**. v. 134, p. 66-75. 10.1016/j.landurbplan.2014.10.012.

LOMBARDO, M. A. (1985). **Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo, Hucitec. 244 pp.

LU, D. & WENG, Q. (2006). Spectral mixture analysis of ASTER images for examining the relationship between urban thermal features and biophysical descriptors in Indianapolis, Indiana, USA. **Remote Sensing of Environment**. v. 104, n. 2, p. 157–167.

MAIMAITITYIMING, M., GHULM, A., TIYIP, T., PLA, F., CARMONA, P. L., HALIK, U, SAWUT, M., & CAETANO, M. (2014). Effect of green space spatial pattern on the land surface temperature: Implications for sustainable urban planning and climate change adaptation. **ISPRS Journal of Photogramatry and Remote Sensing**, v. 89, p. 59-66. 10.1016/j.isprsjprs.2013.12.010

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. (2015). **Informações obtidas da página do Millennium Ecosystem Assessment** na internet, de 01 de julho de 2015 de http://www.millenniumassessment.org

MOHAN, M. & KANDYA, A. (2015). Impact of urbanization and land-use/land-cover change on diurnal temperature range: A case study of tropical urban airshed of India using remote sensing data. **Science of The Total Environment**. v. 506–507, p. 453–465. 10.1016/j.scitotenv.2014.11.006.

NICHOL, J. E. (1996). High resolution surface temperature patterns related to urban morphology in a tropical city: A satellite based study. **Journal of Applied Meteorology**, v. 35 (1), p. 135–146. http://dx.doi.org/10.1175/1520-0450(1996)035<0135:HRSTPR>2.0.CO;2

NICHOL, J. E. (1998). Visualisation of urban surface temperatures derived from satellite images. **International Journal of Remote Sensing**, v. 19 (9), p. 1639–1649. 10.1080/014311698215153.

ODINDI, J. O.; BANGAMWABO, V. & MUTANGA, O. (2015). Assessing the Value of Urban Green Spaces in Mitigating Multi-Seasonal Urban Heat using MODIS Land Surface Temperature (LST) and Landsat 8 data. **International Journal of Environmental Research.** v. 9(1), p. 9-18. http://www.ijer.ir/article_868_21ffd5df31f2004543efdd721c132e57.pdf.

OLIVEIRA, A. M. S.; ANDRADE, M. R. M.; SATO, S. E. & QUEIROZ, W. (2009). **Bases Geoambientais para um Sistema de Informações Ambientais do Município de Guarulhos**. Relatório FAPESP - Processo 05/57965-1 - Laboratório de Geoprocessamento da Universidade Guarulhos, 178 p.

OLIVEIRA, A. M. S.; TAKIYA, H.; FATIGATI, F. L.; Andrade, M. R. M.; Sato, S. E. & Queiroz, W. (2010). **A aplicação de mapa termal na elaboração de políticas públicas para a gestão ambiental na Reserva da Biosfera do Cinturão Verde da Cidade de São Paulo**. Anais. 70 Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental. Maringá (PR), ABGE: São Paulo. CD Room. 10p.

RICHARDS, J.A. & JIA, X. (2006). **Remote sensing digital image analysis: an introduction**. 4th ed. New York: Springer-Verlag, 439p.

SHOSHANY, M., AMINOV, R., & GOLDREICH, Y. (1994). The extraction of roof tops from thermal imagery for analyzing the urban heat island structure. **Geocarto International**, v.4, p. 61– 69.

UNESCO (Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura). (2017). **Man and the Biosphere Programme (MAB) and the National Forestry Corporation (CONAF)**. Recuperado em 01 de fevereiro de 2017, de https://unesdoc.unesco.org/.../attach_import_68640263-0f21-4e12-ae6a- eebd56c4ccc4

UNEP. (2010). **The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB) for Local and Regional Policy Makers**. Informações obtidas na página do TEEB na internet, de 20 de abril de 2018, de http://www.teebweb.org

USGS (United States Geological Survey). (2015). **Dados Cartográficos - EarthExplorer**. Informações recuperadas da página do USGS na internet em 01 de janeiro de 2018, de http://earthexplorer.usgs.gov

USGS (United States Geological Survey). (2016). **Imagens de satélite – Landsat Science**. Informações recuperadas da página do USGS na internet em 21 de dezembro de 2018, de http://landsat.gsfc.nasa.gov/

XIAO, R. B., OUYANG, Z. Y., ZHENG, H., LI, W. F., SCHIENKE, E. W., & WANG, X. K. (2007). Spatial pattern of impervious surfaces and their impacts on land sur-face temperature in Beijing, China. **Journal of Environmental Sciences**, v. 19, n. 2, p. 250–256. 10.1016/S1001-0742(07)60041-2.

VOOGT, J. A. & OKE, T.R. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. **Remote Sensing of Environment**. v. 86, p. 370–384. 10.1016/S0034-4257(03)00079-8

WENG, Q., LU, D., & SCHUBRING, J. (2004). Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island. studies. **Remote Sensing of Environment**, v. 89, n. 4, p. 467–483. 10.1016/j.rse.2003.11.005.

WENG, Q., LIU, H., & LU, D. (2007). Assessing the effects of land use and land cover patterns on thermal conditions using landscape metrics in city of Indianapolis, United States. **Urban Ecosystems**, v. 10, n. 2, p. 203–219. 10.1007/s11252-007-0020-0.

WENG, Q. (2009). Thermal infrared remote sensing for urban climate andenvironmental studies: Methods, applications, and trends. **ISPRS Journal of Pho-togrammetry and Remote Sensing**, v. 64, n. 4, p. 335–344. 10.1016/j.isprsjprs.2009.03.007.

YUAN, F., & BAUER, M. E. (2007). Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 106, n. 3, p. 375–386. 10.1016/j.rse.2006.09.003.

YUE, W., XU, J., TAN, W., & XU, L. (2007). The relationship between land surface temperature and NDVI with remote sensing: Application to Shanghai Landsat 7 ETM+data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 28, n. 15, 3205–3226. 10.1080/01431160500306906.

ZHANG, Y., ODEH, I. O., & HAN, C. (2009). Bi-temporal characterization of land surface temperature in relation to impervious surface area, NDVI and NDBI, using asub-pixel image analysis. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 11, n. 4, 256–264. 10.1016/j.jag.2009.03.001.

ZHOU, W., HUANG, G., & CADENASSO, M. L. (2011). Does spatial configuration matter? Understanding the effects of land cover pattern on land surface temperature inurban landscapes. **Landscape and Urban Planning**, v. 102, n. 1, 54–63. 10.1016/j.landurbplan.2011.03.009.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Grupo SER Educacional pela infraestrutura proporcionada, ao Programa de Mestrado em Análise Geoambiental da Universidade Guarulhos (UNG), ao Laboratório de Geoprocessamento da Universidade Guarulhos (Lab. GEOPRO-UNG), ao Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética - LABAUT do Departamento de Tecnologia da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU-USP) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio ao Processo 2015/17360-5.