

A EVOLUÇÃO DA ILHA DE CALOR NA REGIÃO METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO

Andrews José de Lucena
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ)
lucenageo@yahoo.com.br

Otto Corrêa Rotunno Filho
Universidade Federal Rio de Janeiro (UFRJ)
otto@coc.ufrj.br

Leonardo de Faria Peres
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
leonardo.peres@igeo.ufrj.br

José Ricardo de Almeida França
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ);
jricardo@lma.ufrj.br

O CLIMA DAS CIDADES

RESUMO: A região metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) tem atravessado inúmeras situações que caracterizam desafios ambientais, dentre as quais está a ilha de calor urbana (ICU). O objetivo deste trabalho é analisar a ilha de calor no espaço geográfico da RMRJ nos últimos 30 anos. A análise é realizada a partir de mapas temais da temperatura da superfície continental (TSC) gerados de compósitos de imagens de satélite Landsat que representam as décadas de 1980, 1990 e 2000, conjugados a mapas de uso do solo que também estão associados a essas décadas. Os resultados mostram um aumento da TSC em direção à década de 2000, como também a ampliação de espaços mais quentes, que reforça o papel da ICU na metrópole fluminense.

ABSTRACT: The metropolitan area of Rio de Janeiro (MARJ) has gone through numerous situations that characterize environmental challenges, among which is the urban heat island (UHI). The objective of this study is to analyze the heat island in the geographic space of MARJ in the past 30 years. The analysis is conducted from thermal maps of land surface temperature (TSC) obtained due to the generation of composed Landsat satellite images representing the 1980, 1990 and 2000 decades jointly with land-use maps that also are associated to these decades. The results show an increase in TST toward the 2000s, as well as the expansion of warmer spaces, which strengthens the role of the UHI in the metropolis of Rio de Janeiro.

INTRODUÇÃO

As áreas urbanas são resultado da relação homem-natureza, responsável pela modelação do espaço geográfico. São exemplos peculiares de paisagens transformadas, sujeitas a diversas situações que envolvem problemas ambientais, a saber, movimentos de massa, enchentes e inundações, poluição da água e do ar, extremos térmicos e pluviométricos, entre outros. Esses problemas devem-se, em muitos casos, às profundas transformações ocorridas no espaço natural original, que comprometem, em grande parte, o funcionamento e equilíbrio do sistema ambiental físico.

Para as situações de extremos de temperatura, muitos estudos mostram que suas causas podem estar associadas às mudanças climáticas globais ou a mudanças em escala local (VOOGT, 2002). Na

escala local, muitas alterações devem-se à paisagem heterogênea da cidade, que altera significativamente o balanço térmico e hídrico da superfície urbana.

O clima urbano é um sistema complexo, singular à cidade. Lugar de profundas alterações nos parâmetros atmosféricos, abrangendo circulação, turbulência e dispersão do ar, albedo e estocagem de calor, evapotranspiração e balanço de energia na superfície (TAHA, 1997; ARNFIELD, 2003; KANDA, 2006).

As ilhas urbanas de calor são um produto do clima urbano (OKE, 1987) e uma modalidade de mudanças climáticas, que, causadas por fatores humanos e geradas em escala local, precisam de investigação para sua detecção e compreensão. Essa fenomenologia ambiental urbana, a ilha de calor, está associada à mudança na cobertura da superfície (urbana), que determina padrões bem mais complexos no balanço de energia, e, portanto, seus resultados precisam ser incorporados aos modelos de mudanças climáticas.

A ilha de calor urbana (ICU), como geralmente é denominada na literatura, é a principal manifestação do clima urbano e um dos principais problemas ambientais do século XXI (RIZWAN *et al.*, 2008), embora outros fenômenos associados ou resultantes dela façam parte do sistema clima urbano, como a poluição atmosférica e as inundações.

A produção bibliográfica em clima urbano é significativa nos últimos 20 anos e tem se pautado em contribuições nas metodologias e nas técnicas empregadas (ARNFIELD, 2003; KANDA, 2006; STEWART, 2011), desde as abordagens mais tradicionais, como os estudos de séries temporais climatológicas com análises estatísticas variadas (CHUNG *et al.*, 2004; FUJIBE, 2011) e o emprego dos transectos de redes móveis e fixas espalhadas pela cidade (SUN *et al.*, 2009; MURPHY *et al.*, 2010), até os procedimentos mais recentes, como é o caso do sensoriamento remoto (STREUTKER, 2003; CHEVAL *et al.*, 2009; IMHOFF *et al.*, 2010) e da modelagem atmosférica (YOSHIKADO, 1994; EZBER *et al.*, 2007; KARAM *et al.*, 2010; ZHANG *et al.*, 2010).

A literatura em clima urbano é vasta, em especial dedicada à análise da ICU, sendo conduzida em várias cidades e metrópoles do mundo, dentre as quais, São Paulo (LOMBARDO, 1985), Buenos Aires (BEJARÁN e CAMILLONI, 2003), Beijin (LI *et al.*, 2004), New Jersey (ROSENZWEIG *et al.*, 2005), Hong Kong (GIRIDHARAN *et al.*, 2007), Londres (KOLOKOTRONI e GIRIDHARAN, 2008), Tel-Aviv (SAARONI *et al.*, 2000), Lisboa (ALCOFORADO e ANDRADE, 2006), Bucareste (CHEVAL e DUMITRESCU, 2008), Fez (JOHANSSON, 2005), entre outras.

A região metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) (Figura 1) é, atualmente, o segundo pólo de concentração demográfica e de atividades econômicas do país, contendo um grande volume de atividades e fluxos, oferta de bens e serviços mais especializados e uma alta taxa de urbanização. No estado, a RMRJ concentra, em média, 90% da população estadual e é sobrecarregada regionalmente pela concentração de grande parte dos serviços, reduzindo a força política e econômica do interior fluminense (MARAFON *et al.*, 2011; BRITO, 2006). LESSA (2005) define a RMRJ como “*uma bomba de efeitos retardados, herança da transferência da capital e da fundação da Guanabara*”.

A EVOLUÇÃO DA ILHA DE CALOR NA REGIÃO METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO

A RMRJ é um sistema altamente complexo em virtude do seu sítio, morfologia e ocupação urbana (Figura 2) e de sua circulação atmosférica com aspectos singulares e que merecem ser mais bem conhecidos. Há a necessidade de mapeamento do seu clima sob a ótica da climatologia urbana e investigação sobre a origem de formação de ilhas de calor no seu domínio.



Figura 1: Municípios da RMRJ

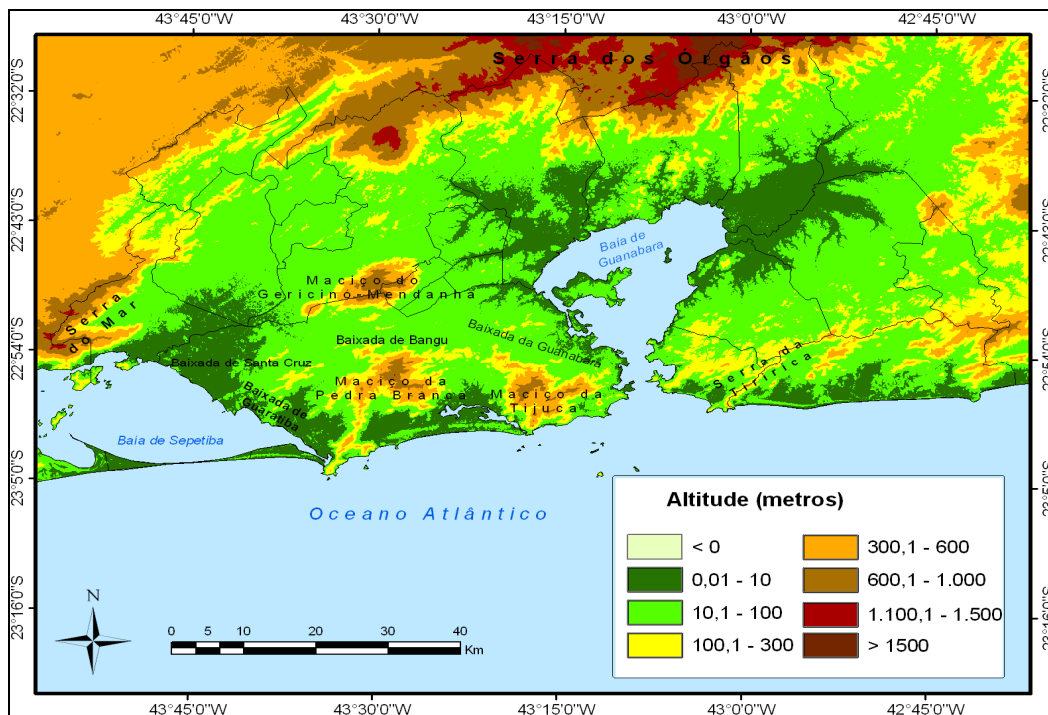


Figura 2: Mapa físico da RMRJ

Este trabalho está inserido no contexto da urbanização da RMRJ e sua interação com o clima da cidade, tendo como objetivo mapear a ilha de calor urbana (ICU) na RMRJ a partir do campo da temperatura da superfície continental (TSC) e sua relação com o uso do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia priorizou a análise de uma base de dados composta por uma série temporal de 99 imagens Landsat-5 e 7 entre os anos de 1984 e 2010, que foram divididas por décadas: década de 1980 (anos entre 1984 e 1990), década de 1990 (anos entre 1991 e 2000) e década de 2000 (anos entre 2001 e 2010). Todas as imagens estão situadas na órbita-ponto 217-76, que abrange a RMRJ, e correspondem ao período matutino. As imagens foram processadas e georeferenciadas no código computacional SPRING 4.3. Em seguida, foi realizada a correção radiométrica com base nas equações e constantes de calibração presentes nos trabalhos de CHANDER *et al.* (2009) como parte do pré-processamento dos dados. Com suporte no trabalho de FRANÇA e CRACKNELL (1995), foram adotadas três técnicas de mascaramento de nuvens: a) técnica com base em limiar do valor da reflectância na banda 3; b) técnica com base em limiar do valor de temperatura de brilho na banda 6; c) técnica da razão entre as bandas 4 e 3.

Três mapas de uso do solo, representando cada uma das décadas, foram elaborados e processados no SPRING 4.3 com base no método classificador Bhattacharya. Quatro classes, consideradas as mais relevantes para análise do uso do solo, foram extraídas: a) urbano; b) rural ou urbano de baixa densidade (RUBD); c) vegetação; d) corpos de água.

A TSC foi estimada utilizando a banda 6 do Landsat com base em diferentes parametrizações (QIN *et al.*, 2001; SOUZA e SILVA, 2005), onde a correção atmosférica é realizada utilizando-se dados medidos de estações meteorológicas na RMRJ. A TSC estimada é resultado da combinação entre a temperatura de brilho na banda 6 e um fator de correção que leva em conta a influência atmosférica e a emissividade da superfície no sinal registrado pelo instrumento a bordo do satélite. A emissividade foi obtida a partir do índice de vegetação de diferença normalizada (NDVI) de acordo com VAN DE GRIEND e OWE (1993).

Das 99 imagens, grupos de imagens foram combinados gerando uma única imagem por década, utilizando o critério da composição de máximo valor (CMV). Desse modo, uma única imagem formada pela composição de 9 imagens representaram a década de 1980, enquanto, para a década de 1990, a composição deu-se por 36 imagens, e, para década de 2000, a composição foi realizada a partir de 54 imagens. O método da CMV seleciona o píxel com maior valor ao longo da série temporal para a composição final, eliminando os píxeis contaminados, com valores menores, ainda que aplicados o mascaramento de nuvens e a correção atmosférica. A utilização da CMV seleciona o píxel com maior temperatura, atendendo, dessa forma, a expectativa de identificar as áreas mais quentes na RMRJ.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A EVOLUÇÃO DA ILHA DE CALOR NA REGIÃO METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO

O uso do solo na RMRJ apresenta uma concentração da classe “urbano” no entorno do setor leste e oeste da baía de Guanabara e em direção a oeste e sul (Figuras 3, 4 e 5). A oeste, a área abrangida é a baixada da Guanabara, que corresponde a toda a zona norte carioca e estende-se como uma grande mancha por toda orla da zona sul ao redor do maciço da Tijuca, incluindo desde a sua orla inicial, a leste, até a sua orla final, a oeste.

O “urbano” segue em direção a zona oeste e às primeiras cidades da baixada fluminense, continuidade da baixada da Guanabara. Nas baixadas a oeste, o “urbano” encontra-se limitado entre os maciços da Tijuca e da Pedra Branca, consolidando grande parte da baixada de Jacarepaguá, e entre os maciços da Pedra Branca e do Mendanha, solidificando boa extensão da baixada de Bangu.

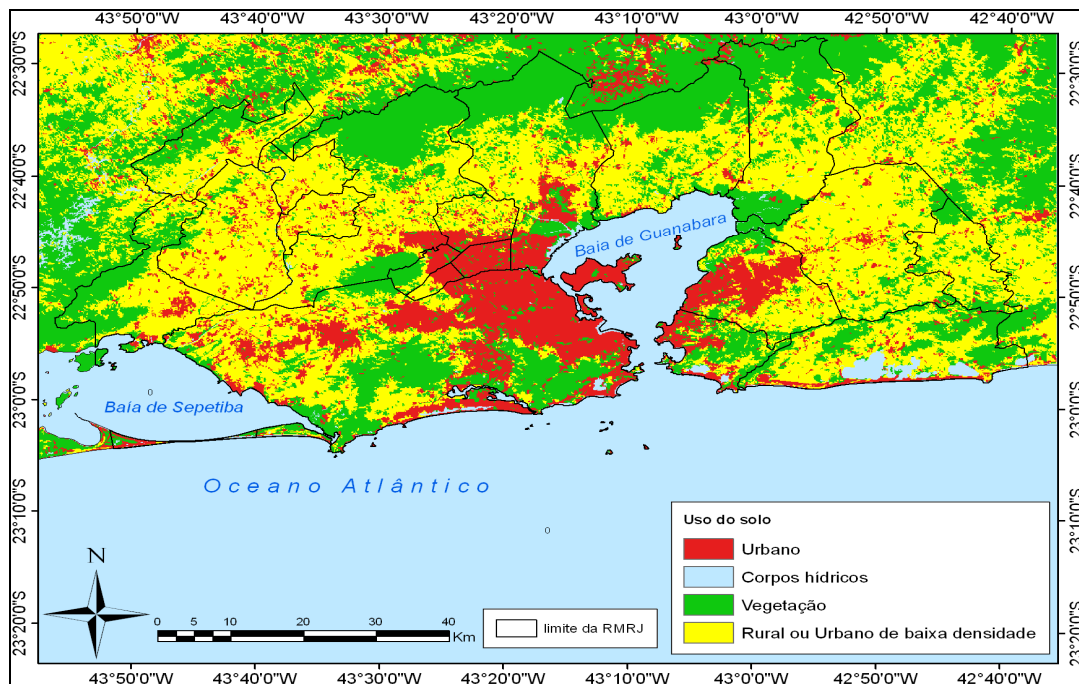


Figura 3: Uso do solo na RMRJ na década de 1980

A EVOLUÇÃO DA ILHA DE CALOR NA REGIÃO METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO

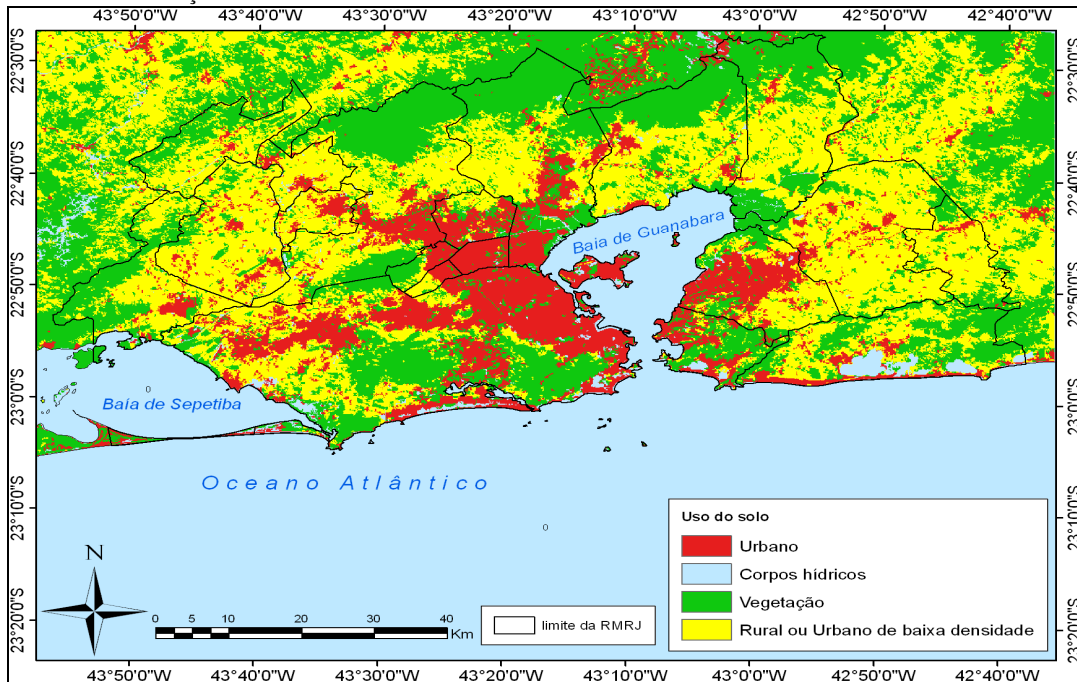


Figura 4: Uso do solo na RMRJ na década de 1990

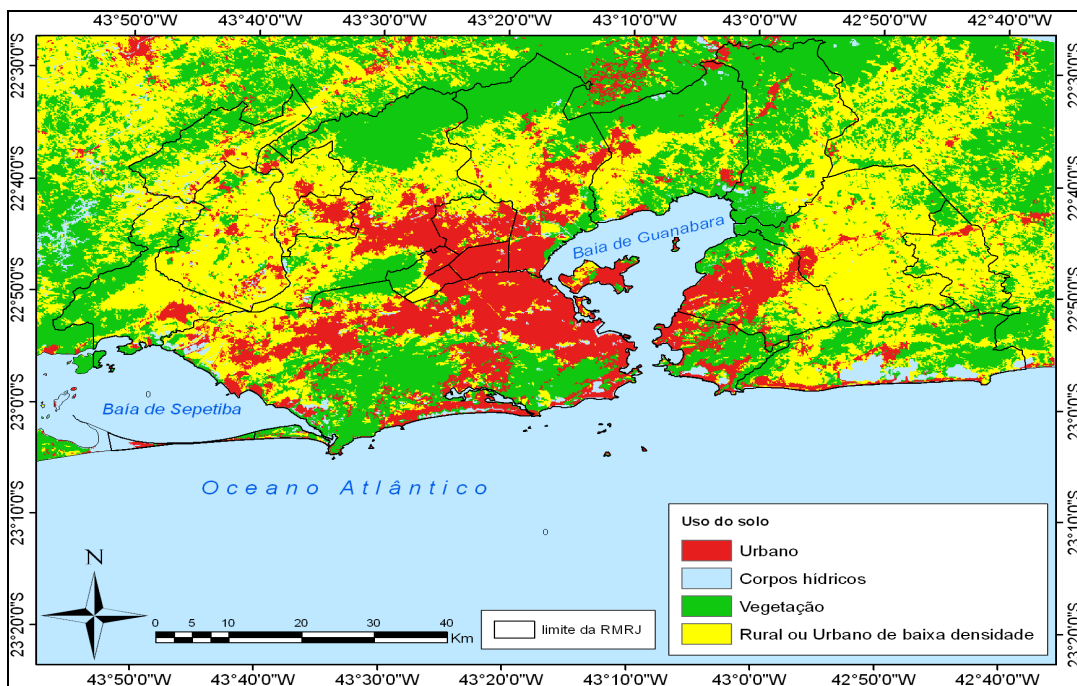


Figura 5: Uso do solo na RMRJ na década de 2000

Outra grande mancha do “urbano” circunda o setor leste da baía de Guanabara, precisamente as cidades de Niterói e São Gonçalo. Aglomerados ou enclaves “urbanos” são identificados no extremo oeste e também notados no setor leste da baía, nas cidades de Itaboraí e Maricá, e na região serrana fluminense, fora dos limites da RMRJ. As décadas seguintes à década de 1980 consolidam a classe “urbano” no espaço metropolitano a partir do seu espraiamento e justaposição nas direções leste, oeste e norte da baía de Guanabara e em torno dos maciços da Pedra Branca e Mendanha.

A classe “rural ou urbano de baixa densidade”, na década de 1980, predomina na periferia da classe “urbano”, isto é, nas áreas ao norte e nos extremos a leste e a oeste da baía (Figura 3). A partir dos anos 90, a classe reduz-se, tornando-se mais rarefeita, porém ainda homogênea no extremo leste da baía (Figuras 4 e 5).

A classe “vegetação” está concentrada, principalmente, nos maciços residuais da cidade do Rio de Janeiro (Tijuca, Pedra Branca e Mendanha), no sopé da serra do Mar, até as suas partes mais elevadas, que se inicia desde a baía de Sepetiba, no extremo oeste, e -estende-se para o interior da região serrana, conhecida também como Serra dos Órgãos. Outro espaço de domínio é a área de mangue ao fundo e ao norte da baía de Guanabara, onde se localiza a unidade de conservação de Guapimirim (APA de Guapimirim), e no entorno das lagoas costeiras. As pequenas serras de Niterói e Maricá também resguardam grande parte da classe “vegetação”.

Nas áreas planas, constituídas pelas baixadas, há enclaves verdes em um espaço muito heterogêneo, contudo observa-se um aumento visual de uma mancha verde na porção norte da baía de Guanabara no mapa da década de 2000 (Figura 5), que pode estar associado à APA de Guapimirim ou mesmo a campos agrícolas extintos, confundidos e definidos pelo classificador como “vegetação”.

O mapa da TSC na década de 1980 é mostrado na Figura 6. Uma principal mancha é notada como uma grande colcha de retalho em cor amarela (com valores entre 36^oC e 44^oC) passando a tons de laranja mais escuros (entre 44,1^oC e 48^oC). Pontos quentes ultrapassam 48^oC e são verdadeiros enclaves contribuintes da ilha de calor urbana. A extensa mancha cobre a baixada da Guanabara e Fluminense, que inclui os bairros da zona norte da capital e municípios da baixada Fluminense. A mancha é expansiva na zona sul carioca, além dos bairros da baixada de Jacarepaguá e Bangu. A baixada de Santa Cruz e Guaratiba, no extremo oeste, também estão inseridas nesse espaço da mancha, porém mais rarefeita. A mancha é encerrada com os terrenos baixos da margem leste da baía de Guanabara, que inclui os municípios de Niterói, São Gonçalo e Maricá.

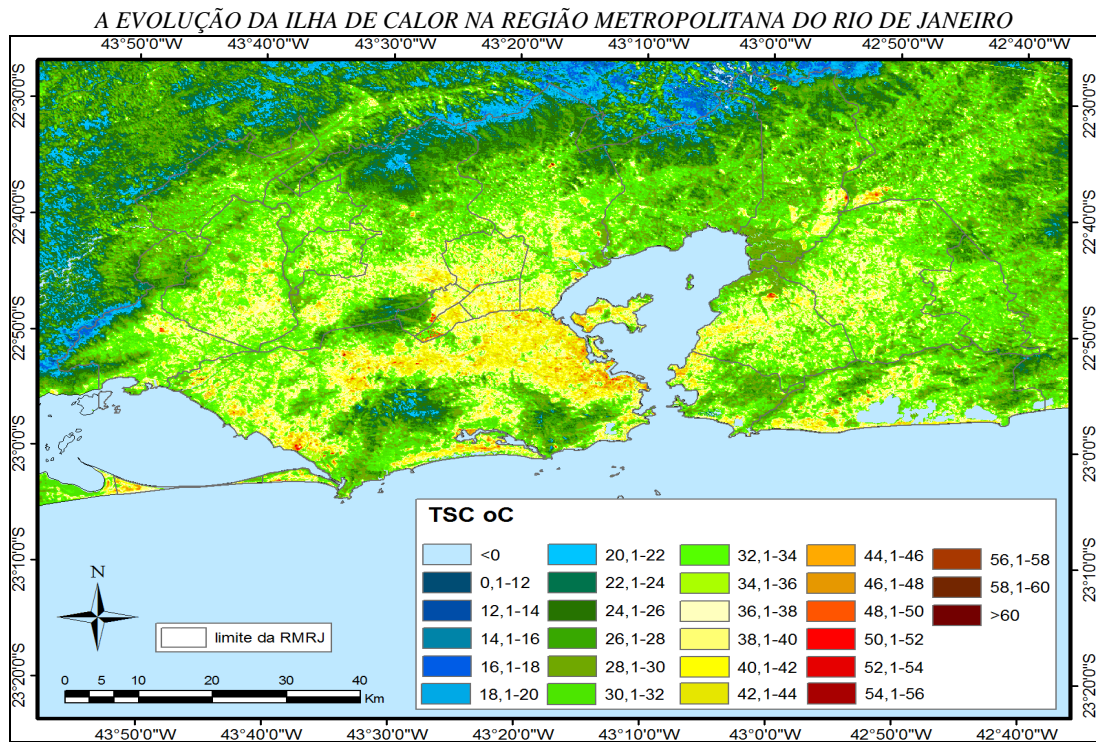


Figura 6: Mapa da CMV da TSC na RMRJ na década de 1980

Muitas dessas áreas mais aquecidas são resguardadas por bolsões mais frios que reduzem a TSC a 35°C ou até mesmo abaixo de 30°C. Esse fato ocorre nas cidades ou bairros cercados pelos grandes maciços ou pequenas serras. Na zona sul da cidade do Rio de Janeiro, a vertente sul do maciço da Tijuca, a serra da Carioca, é responsável pelo abrandamento da temperatura, sendo a região mais amena da cidade. Entre Niterói e Maricá, a serra da Tiririca efetua o mesmo papel. Por outro lado, entre os maciços da Pedra Branca e do Mendanha, onde se encontra a baixada de Bangu, na zona oeste, é evidente a pouca ação atenuadora desses dois conjuntos orográficos. Esses dois conjuntos confinam o ar em uma circulação atmosférica local e elevam a temperatura do ar. Parques urbanos, espalhados em vários pontos da metrópole, também são importantes na amenização da TSC.

Na década de 1990, a mancha amarela, com TSC entre 36°C e 44°C, retrai-se, enquanto a mancha em tons laranja, com TSC entre 44,1°C e 50°C, expande-se. Surge uma mancha vermelha, com TSC acima de 50°C, que muito se confunde com a mancha laranja, e domina uma grande área da RMRJ. Pontos quentes, desta vez, são definidos acima de 56°C na cor vermelha bem escura (Figura 6).

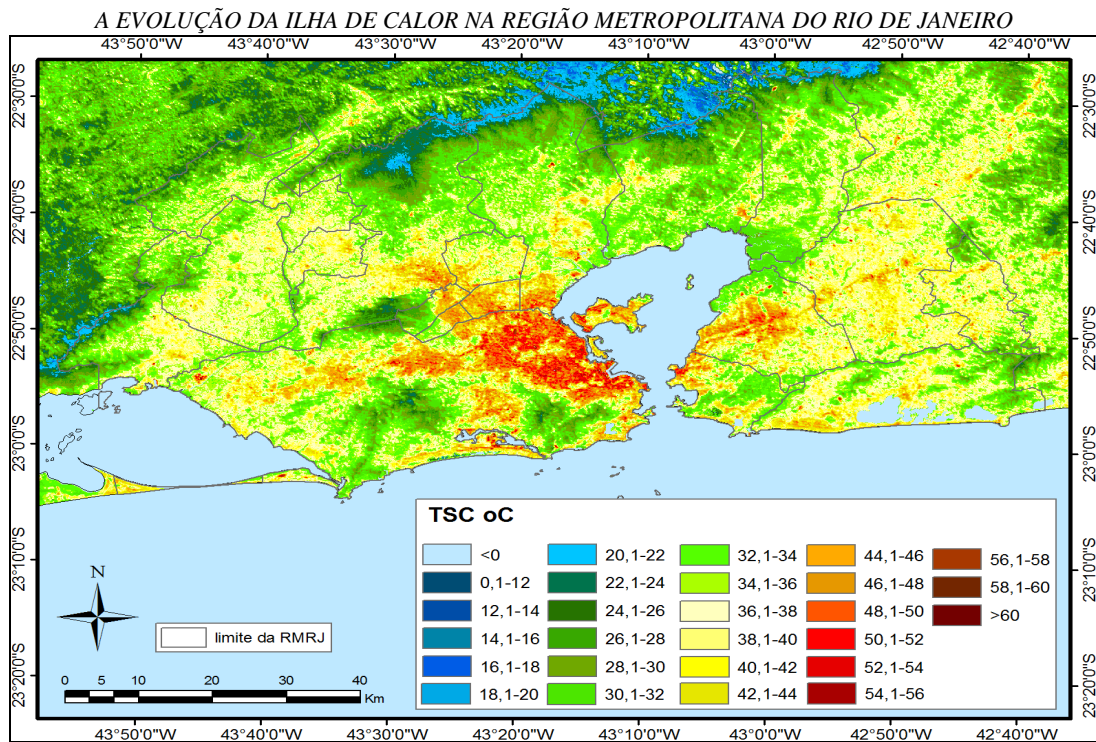


Figura 7: Mapa da CMV da TSC na RMRJ na década de 1990

A mancha laranja e vermelha toma conta de áreas que já concentravam os maiores valores de TSC na década passada. Na atual década, não apenas manteve o padrão espacial, como também expandiu sua área de atuação. Trata-se da zona norte, na baixada da Guanabara e da zona oeste, na baixada de Jacarepaguá e de Bangu, na capital e a baixada Fluminense. A região leste da baía de Guanabara, o centro e zona norte de Niterói, com extensão gradual a oeste e ao centro de São Gonçalo, são responsáveis pelas altas TSC.

Em direção às extremidades do setor oeste, a TSC é amplamente abrandada, com temperatura abaixo de 44°C, restringindo-se, aos centros dos bairros, como em Campo Grande, Paciência, Santa Cruz e Sepetiba, os valores mais elevados. Salta aos olhos o distrito industrial de Santa Cruz, mais exatamente a Cosíguia, que assinala TSC em torno de 64°C, tornando-se um dos pontos mais quentes de toda RMRJ. Ressaltam-se algumas outras áreas industriais ou de outro uso que ocupem uma grande área retalhada do seu uso do solo, como os distritos industriais de Campo Grande e Queimados, os cemitérios de Irajá, Botafogo, Catumbi e do Caju, o Ceasa de Irajá, o hipermercado Extra em Vicente de Carvalho, os aeroportos do Galeão, Santos Dumont e Jacarepaguá e as bases aéreas de Campo dos Afonsos e Santa Cruz, entre outros empreendimentos, que elevaram substancialmente suas TSC.

Na porção leste da baía, passam a se destacar, isoladamente, as cidades de Itaboraí e Tanguá, antes não identificadas, com valores de até 56,7°C em alguns trechos. Niterói e São Gonçalo formam uma mancha conurbada com TSC muito elevada, estabelecida principalmente ao longo da BR-101.

Na década de 2000, a mancha vermelha é reforçada nas áreas aquecidas já pré-definidas em 1990 e expande-se por uma área maior. As áreas pré-definidas são alentadas por uma coloração mais escura do vermelho, atingindo o marrom e, ultrapassando, em muitos locais, 60°C (Figura 8).

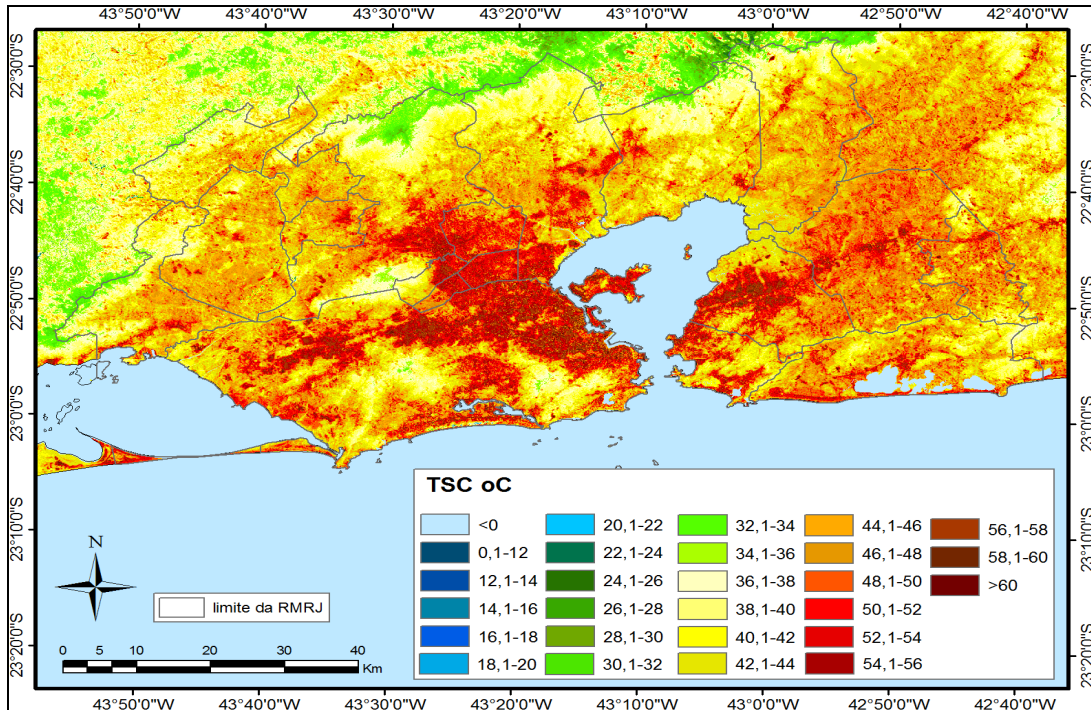


Figura 8: Mapa da CMV da TSC na RMRJ na década de 2000

A área central da cidade do Rio de Janeiro, além de ser o núcleo financeiro e de serviços sofisticados, abriga uma periferia residencial e proletária, confirmando um uso urbano altamente diversificado. Nesse núcleo e periferia, são notificadas TSC de 61,7°C no Estácio e imediações do Catumbi, 63,6°C no aeroporto Santos Dumont, 61,7°C na zona portuária, junto a Gamboa, atrás da Central do Brasil e a Saúde na Praça Mauá, 63°C na Rodoviária e Leopoldina, entre o Santo Cristo e São Cristóvão, e 64,5°C no Caju.

Ao longo das ferrovias e avenidas, multiplicam-se as localidades com TSC acima de 60°C na zona norte e zona oeste carioca e pelos municípios da baixada Fluminense. Em Bonsucesso, é identificado TSC de 70°C no Norte Shopping, em Pilares, 62,5°C no cemitério de Inhaúma, em Inhaúma, 67,2°C em Vicente de Carvalho, 65,4°C na Pavuna, 64,5°C em Nova Iguaçu.

Bairros das extremidades da zona oeste, como Campo Grande, Santa Cruz, Sepetiba e Pedra de Guaratiba são anexados à mancha vermelha e amarronzada, assim como grande parte de Jacarepaguá e toda a extensão da avenida das Américas, desde o Jardim Oceânico até o Recreio dos Bandeirantes, com TSC ao longo da via na casa dos 62°C.

A zona sul, na orla, também não escapa dessa expansão da mancha vermelha e marrom, tendo sua nódoa mais quente restrita a Botafogo, Copacabana e ao trecho entre a Lagoa e o Leblon.

Em Niterói, o seu centro e toda a sua zona norte e zona sul, incluindo a orla das praias e das lagoas de Piratininga e Itaipu, são envolvidos pela mancha vermelha e amarronzada, que se estende por toda Maricá, tomando a sua orla imediata de Itaipuaçu até os flancos da lagoa de Maricá e da Barra. Ruas do Centro registram 61,7°C ou mesmo 60,7°C em Maricá.

Definitivamente, cidades da baixada Fluminense, antes isoladas, agora inserem-se na mancha vermelho-marrom com TSC entre 50°C e 60°C. A inserção ocorre por meio das rodovias. As cidades são: Magé, Guapimirim, Queimados, Japeri, Seropédica e Itaguaí. Estas últimas, sequer eram notadas no mapa termal da última década.

Neste espaço metropolitano candente, seis conjuntos ecossistêmicos funcionam como sistemas de amortecimento da TSC da RMRJ. Na cidade do Rio de Janeiro, os maciços costeiros da Tijuca, Pedra Branca e Mendanha são os catalisadores que amenizam o desconforto. A diferença entre a base de uma encosta até a sua cota, um pouco acima de 100 metros, é superior a 10°C. O gradiente da TSC varia segundo a localidade e o maciço. À vertente sul do maciço da Tijuca, à barlavento, a amplitude térmica tende a ser mais elevado que a vertente norte, à sotavento. A situação é bastante similar nos dois outros maciços. Entretanto, a vertente norte do maciço da Tijuca apresenta uma menor amplitude comparada ao maciço do Mendanha. Vale lembrar que a vertente norte do primeiro maciço equivale a baixada da Guanabara, que praticamente contempla uma urbanização consolidada, ao contrário do segundo, na baixada Fluminense, onde sua ocupação segue em andamento.

Outros três sistemas são os manguezais da área de preservação ambiental de Guapimirim, que contorna a baía de Guanabara a nordeste, a serra dos Órgãos ao norte da RMRJ em jurisdições da região serrana, e o conjunto de maciços costeiros de Niterói-Maricá, como a serra da Tiririca e a do Mato Grosso. A serra dos Órgãos funciona como um bloqueio para a baixada Fluminense, resguardando-a de valores mais altos de TSC.

Outras pequenas serras espalhadas pela metrópole, que possuem vegetação seminativa, também atuam na amenização da temperatura, notado em alguns morros da zona sul e zona norte, com altitudes que alcançam cerca de 400 metros. Não pode ser descartado o papel dos parques e praças urbanas, que atuam como verdadeiros enclaves frios no tecido urbano e geram as ilhas de frescor urbanas. O gradiente térmico entre essas áreas e seus entornos chega a aproximadamente 10°C.

CONCLUSÕES

A RMRJ é um espaço favorável à ocorrência da ilha de calor urbana e sujeita a suas reações adversas. Pela sua abrangência e representação espacial, sugere-se uma qualificação mais ampla do fenômeno que figure a sua espacialidade na RMRJ. Neste caso, inova-se com uma terminologia mais adequada, a de ilha de calor metropolitana (ICM), pois cerca todos os componentes do espaço metropolitano (urbano e peri-urbano; central, periférico e suburbano), que geram e consolidam a ilha de calor em uma metrópole do porte da RMRJ. Trata-se de uma nova constatação em que os núcleos mais quentes não são exclusivos da área central metropolitana, mas também de outros subcentros e espaços metropolitanos.

Os núcleos mais quentes, acima de 50°C, ou com temperatura próxima a 70°C, que sustentam a ilha de calor, concentraram-se nos principais espaços urbanos da metrópole. Esses redutos são impulsionados por grandes vias ou por áreas obsoletas ou degradadas, e grandes galpões ou espaços de

indústrias e fábricas. Áreas de classe de uso “RUBD” também apresentaram valores elevados de TSC, e passam a alimentar núcleos secundários da ICU, na baixada Fluminense, na zona oeste carioca e no entorno das cidades de Niterói e São Gonçalo. É uma classe que define a expansão ou retração dos núcleos quentes, pois –trata-se de uma área de transição entre classes. Desse modo, existe a necessidade de manter as áreas vegetadas e ampliar os “enclaves verdes” no “urbano”, como praças e parques.

A RMRJ é uma importante metrópole nacional e atravessa um momento ímpar em sua história recente em função dos grandes eventos e investimentos no setor logístico, industrial e de infraestrutura urbana. Urge-se em remodelar o desenvolvimento urbano da metrópole nos próximos anos através de políticas sustentáveis que assegurem a mitigação da ICM, incluindo a vegetação intersticial nas vias urbanas, telhados verdes em novas e antigas construções e materiais de construção e revestimento com propriedades térmicas adequadas.

AGRADECIMENTOS

Os autores reconhecem o suporte da FAPERJ pelo apoio financeiro através de bolsa de doutorado para o segundo autor, o apoio do CNPq, por meio do projeto PROSUL (Processo 490684/2007-6), intitulado Técnicas de Sensoriamento Remoto Aplicadas ao Monitoramento Hidrológico e de Mudanças Climáticas na Região Amazônica, o suporte da Secretaria de Educação Superior (SESu/MEC) e da CAPES - AUX-PE-PET-1228/2009 (PET CIVIL UFRJ), projeto PEC/COPPE - FAPERJ 014/2010 (2010-2012), projeto FAPERJ – Processo E-26/103.116/2011 (2012-2014) e projeto IME-PEC/COPPE - CAPES - Aux-PE-PRO-Defense 1783/2008 (2008-2012).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCOFORADO, M.J., ANDRADE, H., 2006, “Nocturnal urban heat island in Lisbon (Portugal): main features and modelling attempts”, **Theoretical and Applied Climatology**, vol. 84, pp. 151–159;
- 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 Climatology**, vol. 23, pp.1–26;
- BEJARÁN, R.A., CAMILLONI, I.A., 2003, “Objective method for classifying air masses: an application to the analysis of Buenos Aires (Argentina) urban heat island intensity”, **Theoretical Applied Climatology**, vol. 74, pp. 93–103;
- BRITO, J.P., 2006, “O processo de ocupação do território fluminense: uma abordagem inicial sobre a estruturação político-administrativa e regional do estado do Rio de Janeiro”, **II Simpósio Internacional sobre Cidades Médias**, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil, 6-9 Novembro;
- CHANDER, G., MARKHAN, B., L., HELDER, D. L., 2009. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment**, v.113, p.893–903;
- CHEVAL, S., DUMITRESCU, A., 2008, “The July urban heat island of Bucharest as derived from Modis images”, **Theoretical and Applied Climatology**, vol. 91, n.1-4, pp. 1-9;
- EZBER, Y., SEN, O.L., KINDAP, T., KARACA, M., 2007, “Climatic effects of urbanization in Istanbul: a statistical and modeling analysis”, **International Journal Climatology**, vol. 27, pp. 667–679;
- FRANCA, G. B., CRACKNELL, A. P., 1995. A simple cloud masking approach using NOAA AVHRR daytime data for tropical areas. **International Journal of Remote Sensing**, v.16, p.1697–1705;
- FUJIBE, F., 2009, “Detection of urban warming in recent temperature trends in Japan”, **International Journal Climatology**, vol. 29, pp. 1811–1822;

- GIRIDHARAN, R., LAU, S.S.Y., GANESAN, S., GIVONI, B., 2007, “Urban design factors influencing heat island intensity in high-rise high-density environments of Hong Kong”, **Building and Environment**, vol. 42, pp.3669–3684;
- GRIMMOND, C. S. B., 2006, “Progress in measuring and observing the urban atmosphere”, **Theoretical and Applied Climatology**, vol. 84, pp. 3–22;
- IMHOFF, M.L, ZHANG, P., WOLFE, R.E., BOUNOUA, L., 2010, “Remote sensing of the urban heat island effect across biomes in the continental USA”, **Remote Sensing of Environment**, vol. 114, pp. 504–513;
- IQBAL, M., 1983, **An introduction to solar radiation**. Library of Congress Cataloging in Publication data, Academic Press Canadian;
- JOHANSSON, E., 2006, “Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: a study in Fez, Morocco”, **Building and Environment**, vol. 41, pp. 1326–1338;
- KANDA, M., 2006, “Progress in the scale modeling of urban climate: Review”. **Theoretical Applied Climatology**, vol. 84, pp. 23–33.
- KOLOKOTRONI, M., GIRIDHARAN, R., 2008, “Urban heat island intensity in London: an investigation of the impact”, **Solar Energy**, vol. 82, n. 11 (Nov), pp. 986–998;
- LESSA, C. 2005, **O Rio de todos os Brasis: uma reflexão em busca de auto-estima**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Record;
- LI, Q., ZHANG, H., LIU, X. et al., 2004, “Urban heat island effect on annual mean temperature during the last 50 years in China”, **Theoretical and Applied Climatology**, vol. 79, pp. 165-174;
- LOMBARDO, I. C. 1985, **Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: Hucitec.
- MARAFON, G. J., RIBEIRO, M.A., CÔRREA, R.S., VASCONSELOS, V.N., 2011, **Geografia do estado do Rio de Janeiro: da compreensão do passado aos desafios do presente**. Rio de Janeiro, Grama Editora.
- MURPHY, D.J., HALL, M.H., HALL, C.A.S., HEISLER, G.M., STEHMAN, S.V., ANSELMIMOLINA, C., 2011, “The relationship between land cover and the urban heat island in northeastern Puerto Rico”, **International Journal Climatology**, vol. 31, n. 8 (June), pp. 1222–1239;
- OKE, T.R., 1987, **Boundary Layer climate**. 2 ed. Methuen, London;
- QIN, Z., KAMIELI, A., BERLINER, P., 2001. A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region. **International Journal of Remote Sensing**, v.22, p.3719–3746;
- RIZWAN, A. M., DENNIS, Y.C., LEUNG, L. C., et al., 2008, “A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island”, **Journal of Environmental Sciences**, vol. 20 pp. 120–128;
- ROSENZWEIG, C., SOLECKI, W. D., PARSHALL, L., et al., 2005, “Characterizing the urban heat island in current and future climates in New Jersey”, **Environmental Hazards**, vol. 6, pp.51–62;
- SAARONI, H., BEN-DOR, E., BITAN, A., et al., 2000, “Spatial distribution and microscale characteristics of the urban heat island in Tel-Aviv, Israel”, **Landscape and Urban Planning**, vol. 48, pp.1-18;
- SOUZA, J. D., SILVA, B. B., 2005. Correção atmosférica para temperatura da superfície obtida com imagem TM: Landsat 5. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.23, p.349-358;
- STEWART, I.D., 2011, “A systematic review and scientific critique of methodology in modern urban heat island literature”, **International Journal Climatology**, vol. 31, pp. 200–217;
- STREUTKER, D.R., 2003, “Satellite-measured growth of the urban heat island of Houston, Texas”, **Remote Sensing of Environment**, vol. 85, pp.282–289;
- SUN, C.Y., BRAZEL, A.J., CHOW, W.T.L., HEDQUIST, B.C., PRASHAD, L., 2009, “Desert heat island study in winter by mobile transect and remote sensing techniques”. **Theoretical and Applied Climatology**, vol.98, pp.323–335;
- TAHA, H., 1997, “Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat”, **Energy and Buildings**, vol. 25 pp. 99-103;
- VAN DE GRIEND, A. A., OWE, M., 1993. On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces. **International Journal of Remote Sensing**, v.14, p.1119–1131.

- VOOGT, J. A., 2002, “Urban Heat Island, Causes and consequences of global environmental change”, **Encyclopedia of Global Environmental Change**, vol. 3, pp. 660-666;
- YOSHIKADO, H., 1994, “Interaction of the sea breeze with urban heat islands of different sizes and locations”, **Journal Meteorology Societal of Japan**, vol. 72, pp.139-143;
- ZHANG, N., GAO, Z., WANG, X., CHEN, Y., 2010, “Modeling the impact of urbanization on the local and regional climate in Yangtze River Delta, China”, **Theoretical and Applied Climatology**, vol.102, pp.331–342.