



**Estudo da Ilha de Calor na Região  
Metropolitana do Rio de Janeiro Usando Dados do MODIS**  
Study of Heat Islands in The Metropolitan Area of Rio de Janeiro Using Data from MODIS

Caio Atila Pereira Sena; José Ricardo de Almeida França & Leonardo Faria Peres

*Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Meteorologia.  
Rua Athos da Silveira Ramos, 274, Bloco H, Cidade Universitária - Ilha do Fundão, 21941-916 Rio de Janeiro - RJ - Brasil  
E-mails: caio.atilaps@hotmail.com; jricardo@igeo.ufrj.br; leonardo.peres@igeo.ufrj.br  
Recebido em: 07/08/2014    Aprovado em: 01/12/2014  
DOI: [http://dx.doi.org/10.11137/2014\\_2\\_111\\_122](http://dx.doi.org/10.11137/2014_2_111_122)*

## Resumo

A Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) apresenta uma série de problemas ambientais, dentre eles, a ocorrência de Ilhas de Calor Urbanas (ICU) e este trabalho tem como objetivo examinar as características da ICU na RMRJ. Para tal, foram usadas composições de 8 dias de dados de Temperatura Superficial Continental (TSC) geradas pelo sensor MODIS (*Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer*) a bordo dos satélites Aqua e Terra no período de janeiro de 2003 a dezembro de 2010. A análise foi feita agrupando-se os dados para as diferentes estações do ano e posteriormente calculando-se a média de TSC para cada estação com o intuito de verificar a variação sazonal da ICU. Observou-se que, algumas zonas apresentaram temperaturas próximas dos 50°C durante a primavera e o verão. Ao longo do outono e do inverno as médias atingiram 40°C sobre a maior parte da região de estudo. Foram registradas amplitudes térmicas de até 25°C entre áreas com diferentes níveis de urbanização, durante a primavera. No verão a amplitude foi de 20°C entre as mesmas áreas. No outono a diferença foi de 15°C e no inverno, de 10°C.

**Palavras-chave:** Ilha de Calor Urbana; MODIS; Temperatura Superficial Continental

## Abstract

The Metropolitan Area of Rio de Janeiro (MARJ) presents a number of environmental problems, among them, the occurrence of Urban Heat Islands (UHI). This paper examines the characteristics of the UHI in the MARJ. For such, 8-days compositions data of Land Surface Temperature (LST), during the period from January 2003 to December 2010, generated by the MODIS (*Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer*) sensor, aboard the Terra and Aqua satellites were used. The data analysis was done by calculating the average LST gathering data for the satellites pass over the seasons, so it could be analyzed more clearly, without cloud contamination. It was observed, some zones presented temperatures close to 50°C during the spring and summer. Throughout the autumn and winter the average reached 40 °C over most of the study area. During the spring, a 25°C temperature range was registered between areas with different urbanization levels. In the summer the amplitude was 20°C between the same areas. In autumn the difference was 15°C and in winter, 10°C.

**Keywords:** Urban Heat Island; MODIS; Land Surface Temperature

## 1 Introdução

Nos últimos anos vários estudos têm mostrado que os espaços urbanos constituem verdadeiros polos de concentração de calor no meio de um ambiente não urbano bem mais confortável, caracterizando-se como aquilo que a comunidade científica chama de “Ilha de Calor”. As cidades contribuem para a alteração do balanço de energia modificando os padrões térmicos e de qualidade do ar entre outros. As primeiras observações deste fenômeno datam do início do século XIX, quando Luke Howard, químico e meteorologista fez suas primeiras observações em Londres. Bem mais recente, a comunidade científica internacional, tem dado grande importância sobre o impacto que as mega cidades produzem na atmosfera global, além dos efeitos no clima urbano em escala local e regional (Meireles, 2011).

Devido à complexidade da RMRJ, as estações meteorológicas de superfície estão distribuídas de forma esparsa e irregular. Métodos de interpolação neste tipo de estudo apresentam grande chance de erro e são difíceis de otimizar. Para a coleta de dados de temperatura de superfície e do ar próximo a superfície, assim como para outros parâmetros urbanos, várias plataformas como carro, bonde, helicóptero, avião e satélite são de uso recorrente (Oke & Fuggle, 1972; Johnson, 1985; Park, 1986; Moreno-Garcia, 1994; Eliasson, 1996; Yamashita, 1996; Voogt & Oke, 1997; Comrie, 2000; Grimmond *et al.*, 2001; Bias *et al.*, 2003; Bottyán *et al.*, 2004 Amorin, 2005; Hu & Jia, 2009; Neteler, 2010; Mendonça *et al.*, 2010; Meireles, 2011; Lucena, 2012). O sensoriamento remoto é, então, uma alternativa para aplicações em micrometeorologia, já que a organização espacial dos dados é uniforme. Além disso, a evolução tecnológica tem melhorado significativamente as resoluções espacial e radiométrica dos sensores orbitais, gerando mais qualidade para os indicadores ecológicos derivados. Em especial para a avaliação da ICU, o desenvolvimento de novos algoritmos de processamento permite uma estimativa da TSC com acurácia de até 1K (Petitcolin & Vermote, 2002).

Pela eficiência do método, alguns estudos semelhantes já foram realizados utilizando outros sensores. Meireles (2011), identificou as áreas da RMRJ com atuação do fenômeno de ICU utilizando dados do sensor AVHRR, a bordo dos satélites NOAA-14 e 18. Para isso, ele calculou o índice de vegetação NDVI e estimou a TSC a partir das emissividades nos canais 4 e 5, no infravermelho termal. Além disso, confeccionou *transectors* a partir de composições com valores máximos de TSC,

de modo a traçar perfis térmicos e poder avaliar a distribuição espacial da temperatura da superfície. Com isso, foi possível observar os comportamentos dos valores da TSC versus do NDVI na RMRJ. Lucena (2012) utilizou dados dos sensores TM e ETM+ a bordo, respectivamente, dos satélites Landsat-5 e 7, para cálculo da TSC, do NDVI e do índice de área construída IBI para 30 anos de imagens entre a década de 1980 e 2000. Para avaliar a evolução temporal destes índices, foram usados testes estatísticos paramétricos e não-paramétricos.

O objetivo geral deste trabalho é contribuir para o estudo do comportamento do fenômeno de ilha de calor via informações especializadas de TSC obtidas através de dados do sensor orbital MODIS, considerando a cobertura e o uso do solo na RMRJ.

## 2 Área de Estudo, Dados e Métodos

### 2.1 Área de Estudo

A RMRJ apresenta a maior taxa de urbanização do país em 2009, com 99,3% da população residindo em áreas urbanas (Síntese de Indicadores Sociais 2010 - IBGE). Em 2013, 19 municípios (indicados na Figura 1) formam a RMRJ, - também conhecida como Grande Rio - totalizando uma área de 5.384 km<sup>2</sup> (Prefeitura do Rio de Janeiro), concentrando 12.056.681 habitantes (estimativa do IBGE para o ano de 2013), aproximadamente 73,7% da população do estado do Rio de Janeiro.

Sob o aspecto econômico, há o predomínio do setor de serviços, seguido do industrial, de acordo com dados do IBGE e CEPEA (2009).

Climatologicamente, a RMRJ está sob influência da maritimidade, que condiciona o comportamento da temperatura e de disponibilidade de umidade. Durante o verão, é comum a ocorrência de uma faixa de nebulosidade orientada de noroeste para sudeste, associada ao escoamento convergente na baixa troposfera do sul da Amazônia ao Atlântico Sul-Central, chamada Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que traz instabilidade para a região. A RMRJ também é influenciada por fenômenos de grande escala, como o El Niño que provoca o aumento moderado da temperatura durante o inverno. Este evento não provoca padrões significativos de alteração no regime de chuvas. Em geral, a temperatura média, ao longo do ano, não passa dos 23°C

Do ponto de vista geológico, a região do Grande Rio possui uma cobertura de solo

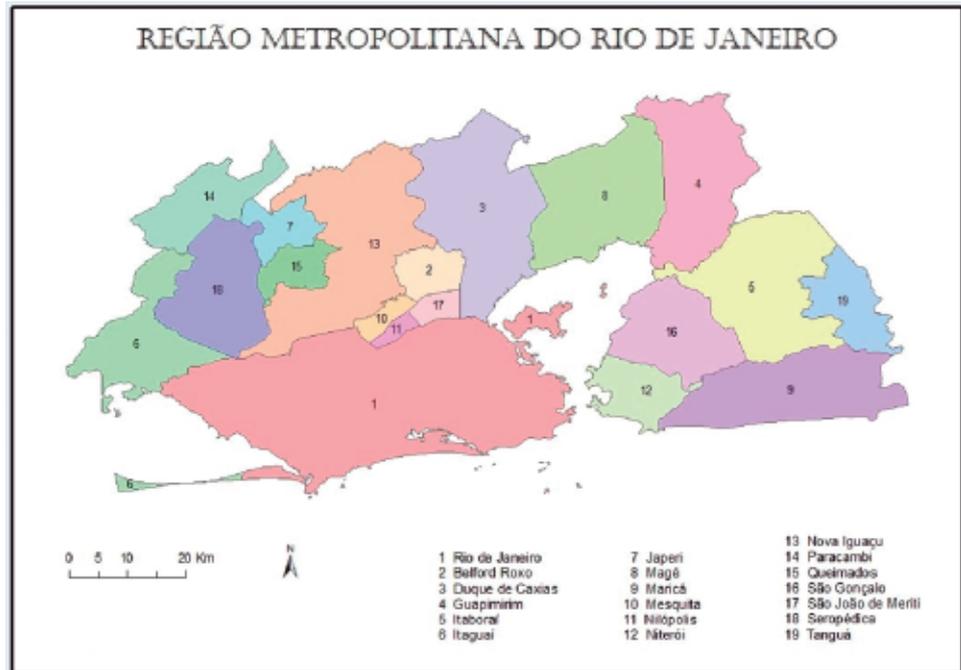


Figura 1  
 Municípios da RMRJ  
 adaptado de  
[www.baixarmaps.via12.com](http://www.baixarmaps.via12.com).

extremamente heterogênea. A Figura 2 mostra o perfil de cobertura da região de estudo para o ano de 2005. É possível notar a grande área construída (na cor vermelha {13}), acompanhando a linha da costa e se espalhando para o interior do estado tomando os municípios do Rio de Janeiro, Nilópolis, Mesquita, Duque de Caxias e Nova Iguaçu. De forma

semelhante, do lado leste da Baía de Guanabara, a mancha vermelha avança por Maricá, Niterói, São Gonçalo e partes de Itaboraí e Guapimirim. As regiões representadas como floresta ombrófila (em verde claro {2}), rodeadas por zonas urbanas (na cor vermelha {13}), marcam a presença de montanhas.

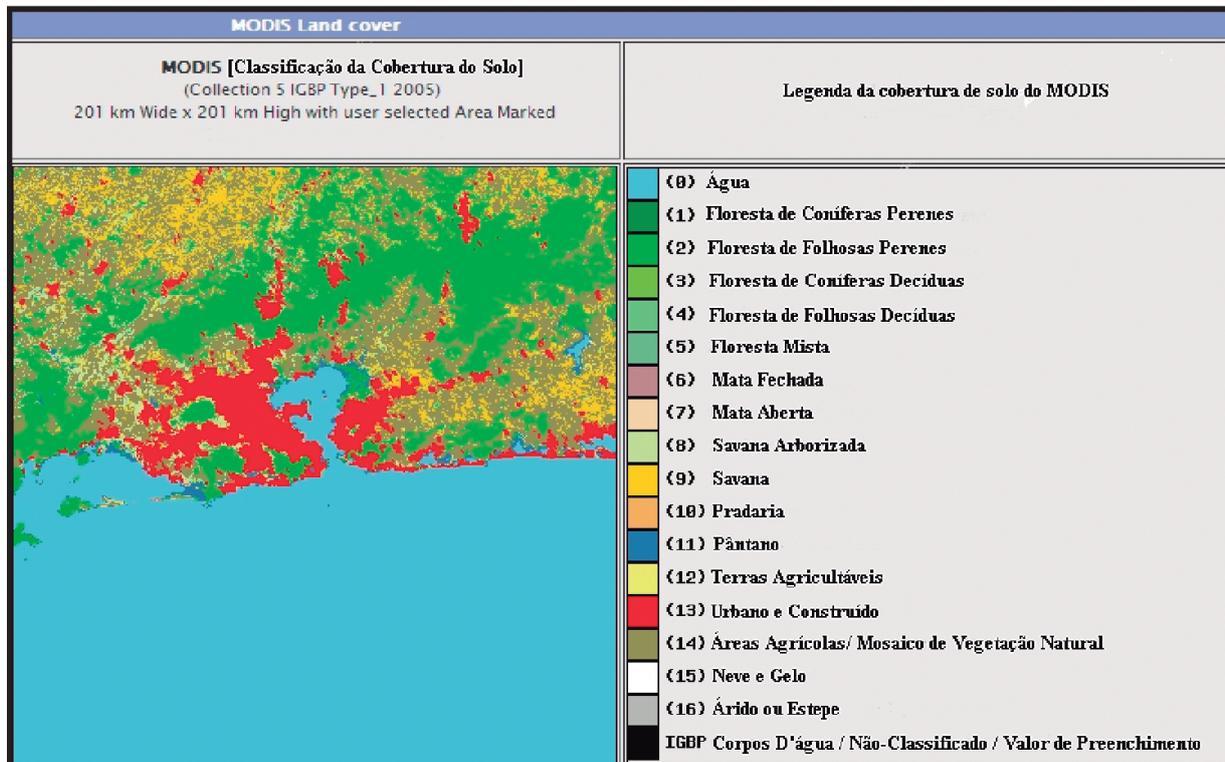


Figura 2 Diagrama de cobertura de solo da RMRJ. Modificado de <http://daac.ornl.gov/MODIS/modis.shtml>.

## 2.2 Dados

O sensor MODIS (*Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer*) é, atualmente, o ideal para pesquisas em escala local e global, devido à boa relação de resoluções espacial e temporal (Lindsay & Herring, 2001). O instrumento MODIS foi lançado a bordo do satélite Terra em 2000 (Herring, 1999), e a bordo do satélite Aqua em 2002 (Parkinson, 2002). O MODIS superou a performance do sensor AVHRR por ter maior resolução espacial e melhor resolução espectral. Além disso, sua órbita quase polar, assim como a do AVHRR, gera diariamente mapas de TSC de cobertura global.

A Tabela 1 mostra os horários aproximados da passagem do sensor MODIS, a bordo dos satélites Terra e Aqua, sobre a RMRJ. A cada um ou dois dias, são obtidas imagens de cobertura global com dados atmosféricos e de superfície nas resoluções espaciais de 250 m, 500m e 1.000 m. Para isso, são utilizadas 36 bandas espectrais no intervalo de 0,4  $\mu\text{m}$  a 14,4  $\mu\text{m}$  do espectro eletromagnético, captando a radiação incidente na faixa do visível (VIS), Infravermelho Próximo (IVP), Infravermelho Médio (IVM) e Infravermelho Termal (IVT). A informação é captada com alta sensibilidade radiométrica (12 bits) de um ângulo de varredura de 55° a, aproximadamente, 705 km de altura, resultando em uma faixa imageada de 2330 km (Lindsey & Herring, 2001).

Plataformas	Horários aproximado das passagens sobre a RMRJ
Terra	2 UTC*
	13 UTC
Aqua	5 UTC
	16 UTC

\*Universal Time Coordinated

Tabela 1 Horários de passagens dos satélites.

A base de dados foi construída com o produto de temperatura superficial continental do sensor MODIS a bordo do satélite Terra (sigla MOD11) e do satélite Aqua (MYD11) que consiste numa composição de 8 dias. Ao todo, foram usadas 583 composições com resolução espacial de 1.000 m no período de janeiro de 2003 a dezembro de 2010 em formato HDF (Hierarchical Data Format).

## 2.3 Métodos

Este estudo integra apenas informações de TSC fornecidas pelo sensor para a região entre as

latitudes 22.2°S e 23.2°S e as longitudes 42.5°W e 43.8°W. Estes dados são fornecidos pré-processados e armazenados em formato HDF.

Na estimativa da TSC são utilizadas as bandas 20, 22, 23, 29, 31, 32 e 33. Sendo as bandas 32 e 33 localizadas na mesma faixa espectral dos canais 4 e 5 do AVHRR.

Tendo em vista os objetivos do estudo, optou-se por utilizar o produto 8-day (MOD11A2 e MYD11A2) fornecido pelo próprio provedor de dados (NASA).

Os arquivos MOD11A2 e MYD11A2 são médias simples das passagens diárias. O período de 8 dias foi escolhido pelo provedor baseado no fato de que neste período, as plataformas percorrem exatamente a mesma trilha duas vezes.

A estimativa da TSC é feita usando o método Split-window generalizado. Uma das vantagens desse método, é não exigir perfis de temperatura e conteúdo de vapor atmosférico. As condições atmosféricas, especialmente perfil de vapor d'água, variam muito com o tempo, tanto na direção vertical quanto na horizontal, e não é fácil medir a umidade por satélite com precisão maior que 10% (Wan, 1999). Além disso, a correção dos efeitos atmosféricos é feita, baseada na absorção diferencial em bandas do infravermelho termal adjacentes. Isso o faz menos sensível a incertezas de propriedades óticas da atmosfera (Wan & Dozier, 1996). Sendo assim, a sua acurácia passa a depender principalmente do conhecimento da emissividade da superfície.

Na equação 1, é indicada a forma do Split-window generalizado como descrito por Wan & Dozier (1989).

(1)

$$T_s = C + \left( A_1 + A_2 \frac{1 - \epsilon}{\epsilon} + A_3 \frac{\Delta\epsilon}{\epsilon^2} \right) \frac{T_{31} + T_{32}}{2} + \left( B_1 + B_2 \frac{1 - \epsilon}{\epsilon} + B_3 \frac{\Delta\epsilon}{\epsilon^2} \right) \frac{T_{31} - T_{32}}{2}$$

onde:  $\epsilon = 0.5(\epsilon_{31} + \epsilon_{32})$  e  $\Delta\epsilon = \epsilon_{31} - \epsilon_{32}$

Os coeficientes  $A_i$ ,  $B_i$  e  $C$  foram obtidos através de regressões com base em dados simulados com modelos de transferência radiativa, sendo dependentes do ângulo zenital de visada,  $\epsilon_{31}$  e  $\epsilon_{32}$  são as emissividades nas bandas 31 e 32, enquanto que  $\epsilon$  e  $\Delta\epsilon$  são a média e a diferença das emissividades nestas duas bandas, respectivamente,  $T_{31}$  e  $T_{32}$  representam as

temperaturas de brilho nas bandas 31 e 32. É importante ressaltar que as emissividades nas bandas 31 e 32 são estimadas usando um método de emissividade baseado em classificação (Snyder & Wan, 1998) de acordo com os tipos de cobertura do solo no pixel, os quais são determinados pelos dados trimestrais do produto de cobertura do solo (MOD12Q1) e diários do produto de cobertura de neve (MOD10\_L2).

O produto utilizado pode conter valores de TSC pouco representativos, visto que representa a média de somente 8 dias. Caso uma determinada região apresente pixels contaminados por nuvens na maior parte dos dias, esses pixels serão eliminados e somente será representada a TSC dos dias sem nebulosidade.

Desta forma optou-se por fazer uma média para todo o período das imagens, separando os dados por passagem do satélite e por estações do ano. Assim, foi mapeada a TSC em toda a RMRJ para quatro horários diferentes e em todas as estações do ano. Com isso, foram obtidos perfis de regiões com variados tipos de cobertura do solo e níveis de ocupação.

Após a formatação das imagens, foi montado um *transector* para as passagens das 16 UTC, seguindo o traçado mostrado na Figura 3, passando pela área comercial, habitacional urbana, suburbana e rural, para uma descrição melhor do

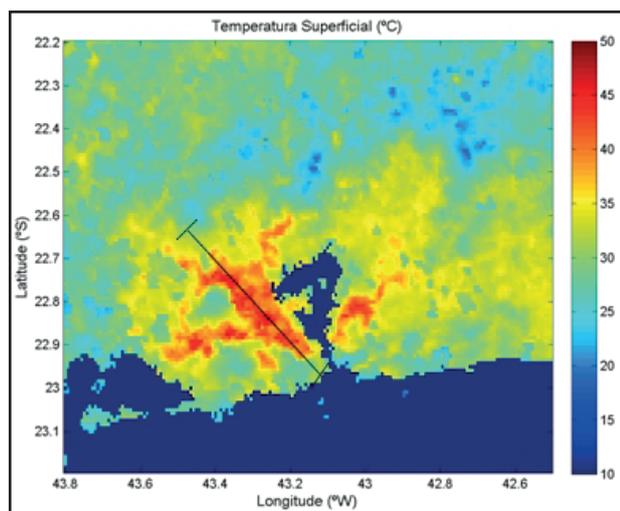


Figura 3 Representação do transector.

padrão da TSC.

Para o processamento de todo o volume de dados e correções remanescentes, foi usado um

ambiente de programação matricial. Este ambiente também foi usado para atribuir coordenadas a cada pixel. Isto foi feito interpolando as coordenadas das arestas do retângulo de corte por todas as linhas e colunas da matriz de dados. Em seguida, feitas as matrizes de latitude e longitude, as mesmas foram sobrepostas, obtendo um gráfico de 3 dimensões (Latitude, Longitude e TSC).

Por esta base de dados, analisou-se a morfologia da ICU ao longo do dia e a dinâmica deste fenômeno de acordo com as estações do ano. Em seguida, traçou-se uma curva de médias em toda RMRJ ao longo dos anos de estudo para verificar alguma tendência e tentar prognosticar quais serão os prováveis resultados para os próximos anos de estudo.

### 3 Resultados

Nesta seção, é analisada a distribuição espacial da TSC na RMRJ apoiada na configuração de cobertura de solo. A seguir, são mostrados os resultados obtidos durante os quatro horários de passagem do sensor MODIS sobre a região de estudo, separados por estação do ano a saber:

#### 3.1.1 Verão

Este é caracterizado por dias mais longos que as noites. Durante a estação, é comum no sudeste, a ocorrência de pancadas de chuva de curta duração no fim do dia, acompanhadas de trovoadas e rajadas de vento. Neste período, pelo fato de a inclinação dos raios solares incidentes sobre a região estar mais

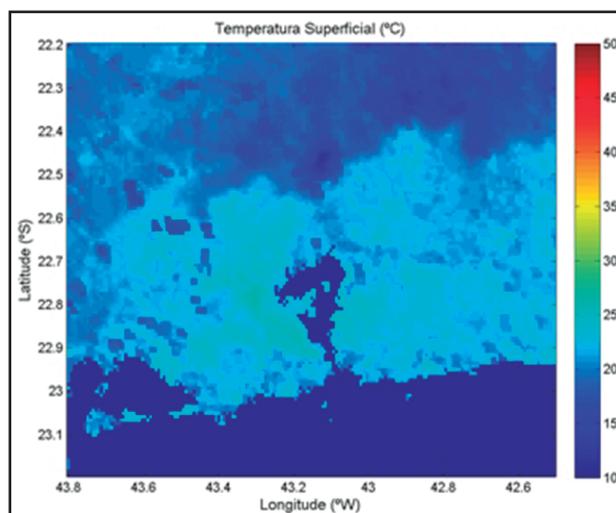


Figura 4 Média de TSC do verão às 5UTC.

próxima da vertical que em outras estações do ano, há uma maior taxa de aquecimento da superfície.

No primeiro horário de passagem, por volta de 5 UTC, a temperatura média de toda a região já estava próxima dos 25°C como observado na Figura 4. Mais ao norte do estado, é possível notar o contorno dos pontos mais altos da Serra dos Órgãos com temperaturas próximas dos 15°C.

Pela Figura 5, já é possível notar uma mudança na morfologia da distribuição da TSC. Às 13 UTC, são registrados pontos com valores entre 35°C e 40°C surgindo na parte da capital do entorno da Baía de Guanabara com ramificações indo em

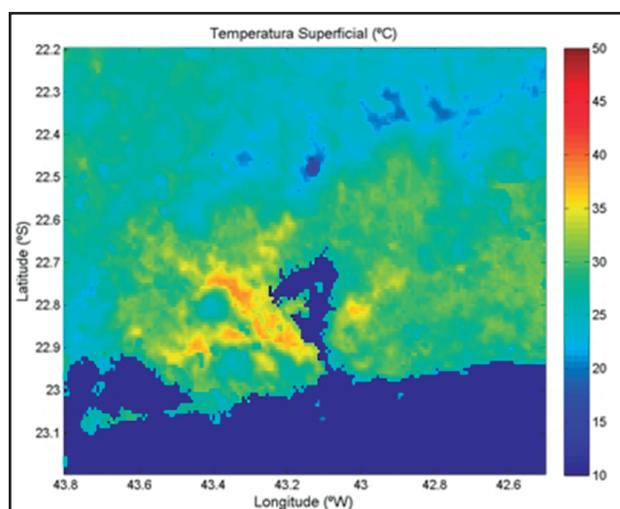


Figura 5 Média de TSC no verão às 13UTC.

direção à Itaguaí e à Baixada Fluminense. Do outro lado da baía, identifica-se uma zona de aquecimento superior sobre o centro de São Gonçalo.

A terceira passagem, próxima das 16 UTC (Figura 6), revela uma grande ilha de calor com TSC beirando os 50°C cobrindo por completo Nilópolis, Mesquita, Belford Roxo e São João de Meriti. Atinge também, grande parte da capital do estado, Nova Iguaçu, Seropédica e Queimados. Analogamente, o aquecimento maior que tinha começado em São Gonçalo, já se estendeu por Niterói e Itaboraí seguindo o traçado do trecho da BR-101 que corta essas cidades. São pouco notáveis na imagem, pequenas ilhas de frescor sobre o Recreio dos Bandeirantes e nos limites a oeste de Itaguaí.

As médias por volta das 2 UTC, representadas na Figura 7, se mostram bem próximas do cenário das 5 UTC. Toda a RMRJ se conserva com TSC em torno dos 25°C, exibindo uma grande bolha aquecida.

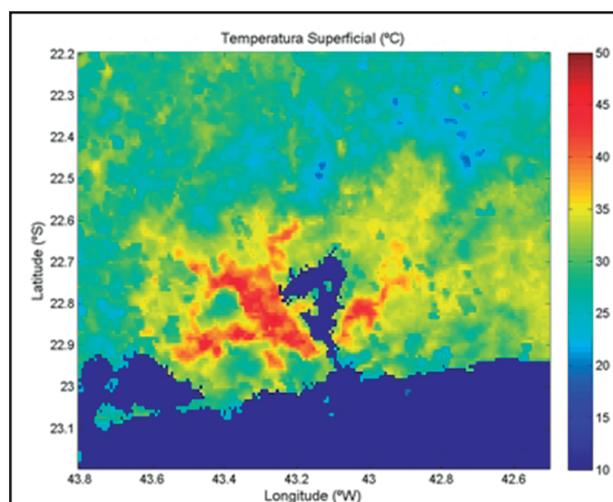


Figura 6 Média de TSC do verão às 16UTC.

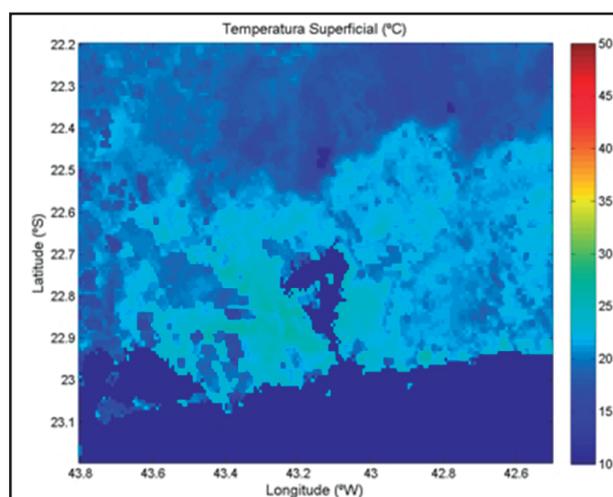


Figura 7 Média de TSC do verão às 2UTC.

### 3.1.2 Outono

Os meses de outono são marcados pela queda de temperatura característica da transição do verão para o inverno. Nos registros, fica bem claro que a superfície da RMRJ já exhibe temperaturas menores do que no Verão.

A Figura 8 mostra a média de TSC captada perto das 2:00 horas. A maior parte da RMRJ se conserva com TSC muito inferior à registrada no verão. A maior parte dos municípios de Niterói, São Gonçalo, Itaboraí, Maricá, Tanguá, Guapimirim e Magé apresentam temperaturas abaixo dos 20°C. Com exceção, dos trechos de manguezal que rodeiam a Baía de Guanabara e a base da Serra do Mar.

As passagens de 10 horas (Figura 9) da manhã mostram um cenário de uma enorme ilha de calor sobre a capital e os municípios da baixada, já

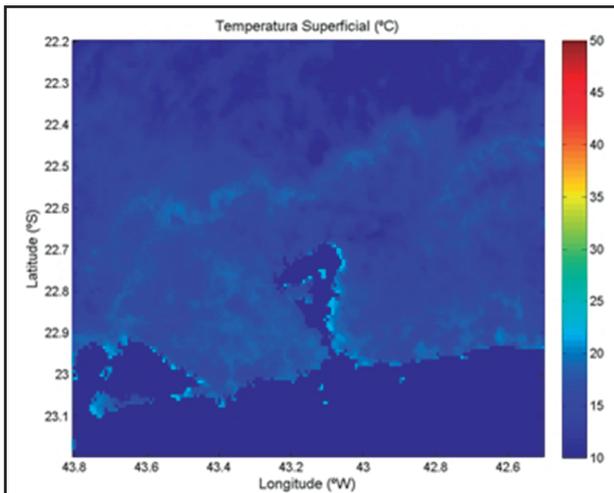


Figura 8 Média de TSC do outono às 5UTC.

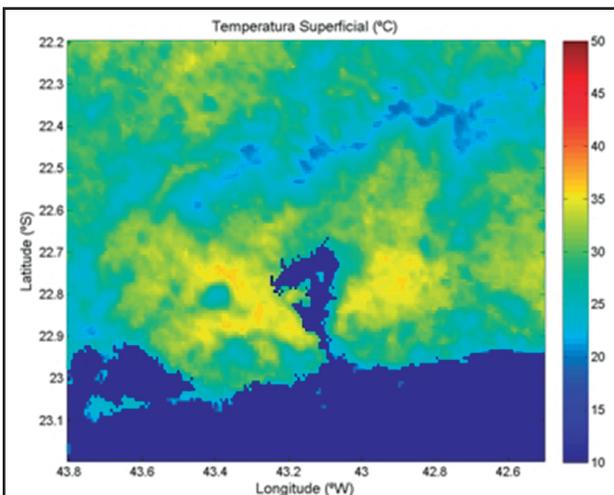


Figura 9 Média de TSC do outono às 13UTC.

que toda essa zona apresenta o mesmo padrão de aquecimento. Este quadro se repete sobre as cidades de Niterói, São Gonçalo, Itaboraí e Tanguá.

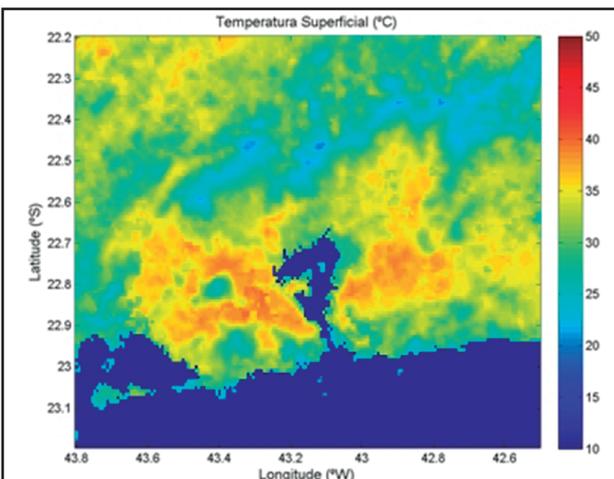


Figura 10 Média de TSC do outono às 16 UTC.

Os dados captados às 13 horas, representados pela Figura 10, revelam um agravamento no campo captado no horário de registro do anterior, apresentando o mesmo padrão de aquecimento mas com a TSC rente aos 40°C.

Às 23:00 horas a superfície de maior parte da RMRJ se manteve abaixo dos 20°C, como pode ser percebido ao analisar a Figura 11. Porém, a base da

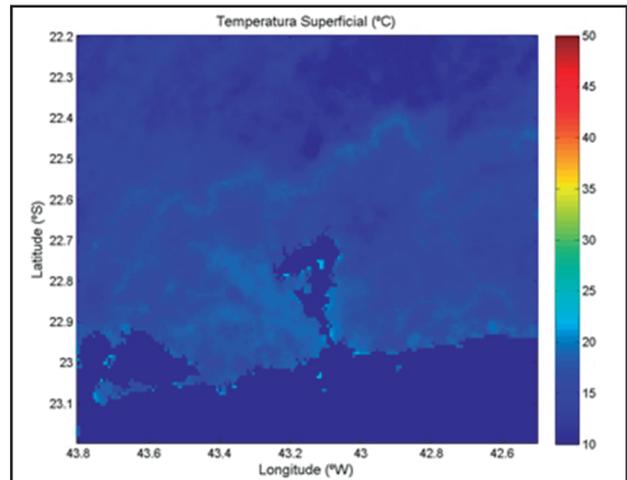


Figura 11 Média de TSC do outono às 23UTC.

Serra do Mar, desde Paracambi até Guapimirim, se manteve em uma temperatura levemente superior ao centro da capital.

### 3.1.3 Inverno

Durante os meses de Inverno, as temperaturas tendem a ser climatologicamente amenas. Este período é menos chuvoso para a região sudeste se comparado ao resto do ano. Ao longo da estação, é comum a atuação de frentes frias de fraca intensidade na região. E logo após a passagem do sistema, há a entrada de massas de ar frio que provocam queda na temperatura. Nesta época do ano, é frequente a formação de nevoeiros nas primeiras horas da manhã, por conta da inversão térmica.

O quadro de fraca ilha de calor na base da Serra do Mar que tinha sido observado nas médias por volta de 23:00 horas durante o outono, agora pode ser visto com muito mais intensidade na captação de 2:00 horas, no inverno (Figura 12). A TSC próxima de 25°C também é encontrada na área de Manguezal que se alonga de Magé a Itapemirim. Temperaturas parecidas são encontradas na Ilha do Governador e no litoral de São Gonçalo.

Os dados captados às 10:00 horas (Figura 13)

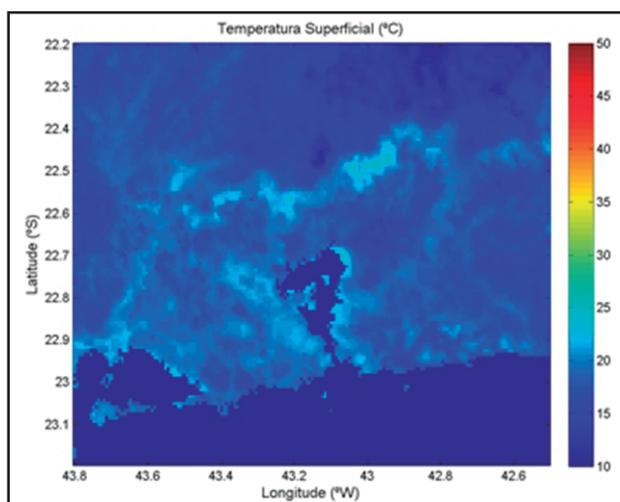


Figura 12 Média de TSC de inverno às 5UTC.

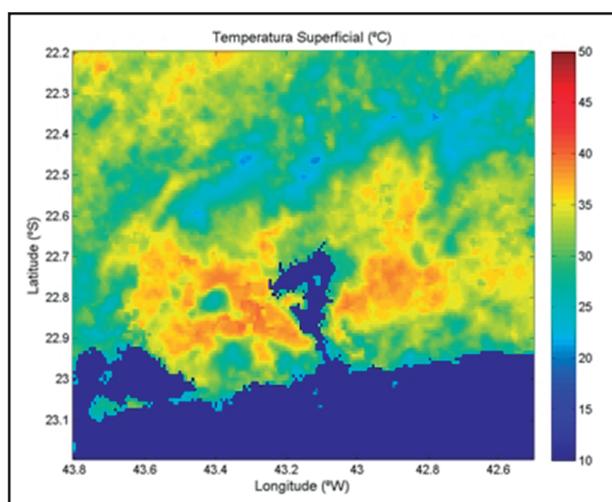


Figura 14 Média de TSC de inverno às 16UTC.

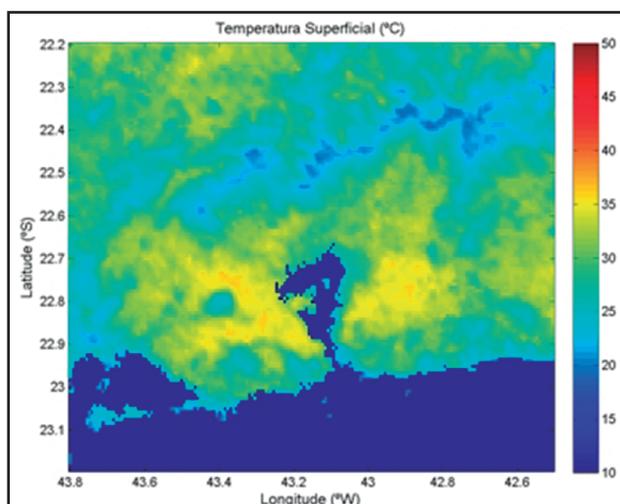


Figura 13 Média de TSC de inverno às 13UTC.

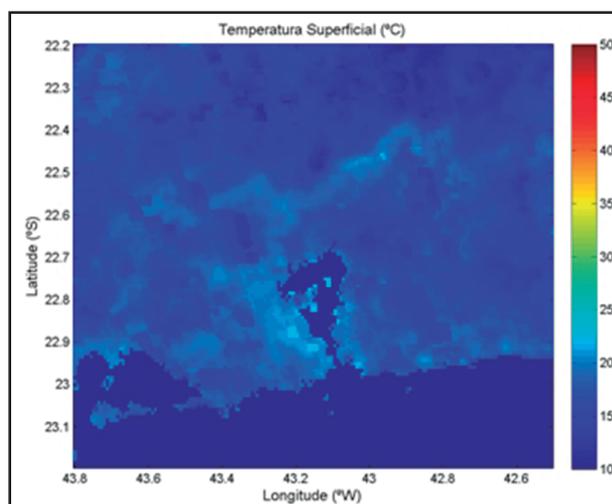


Figura 15 Média de TSC de inverno às 2UTC.

são similares aos encontrados durante o outono no mesmo horário. Nota-se um aquecimento maior ao redor do maciço da Tijuca. E os contornos da Serra do Mar estão bem evidentes por apresentar TSC menor.

Na Figura 14, representando os resultados da passagem das 13:00 horas, é possível observar a manutenção da enorme ICU, já perceptível na passagem anterior, cobrindo a maior parte da RMRJ. As pequenas ilhas de frescor identificáveis na imagem são referentes aos pontos de maior altitude.

O resultado das passagens perto de 23:00 horas, mostrado na Figura 15, salienta a temperatura maior ainda na base da Serra do Mar, que se manteve, em todas as passagens, entre 20°C e 25°C.

### 3.1.4 Primavera

A primavera representa a mudança no regime de chuvas e temperaturas no sudeste do Brasil,

marcando o período de transição da estação seca para a chuvosa. Ao longo da estação, a temperatura e a umidade aumentam, levando a pancadas de chuva que começam a surgir no fim da tarde e a noite. Mesmo assim, massas de ar frio ainda podem penetrar no sudeste, provocando uma queda brusca na temperatura.

O aumento de temperatura característico desta estação pode ser visto claramente na Figura 16. Mesmo se tratando de uma média de TSC próximo das 2:00 horas, é perceptível uma enorme ICU sobre a RMRJ delimitada apenas pelo relevo da Serra dos Órgãos e pelos limites da cidade de Itaguaí.

A Figura 17, com resultados da passagem de 10:00 horas, mostra uma ICU mais intensa começando ao redor do Centro do Rio, cobrindo os bairros do Méier e Tijuca, contornando o maciço da Tijuca, atingindo a Pechincha e a Barra. Este núcleo se estende, seguindo por Bonsucesso e Irajá,

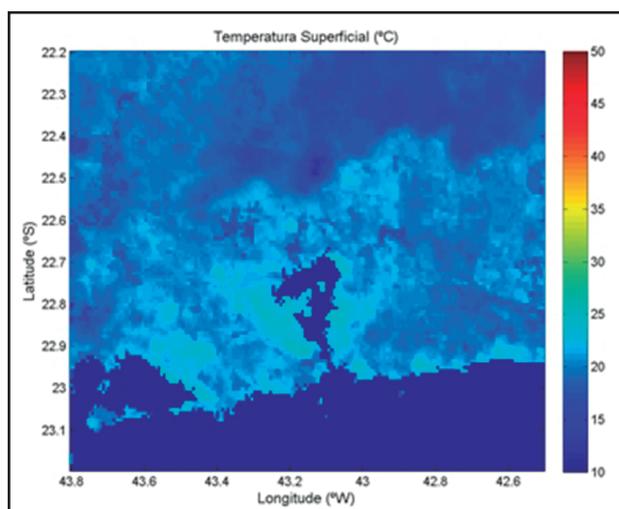


Figura 16 Média de TSC de primavera às 5UTC.

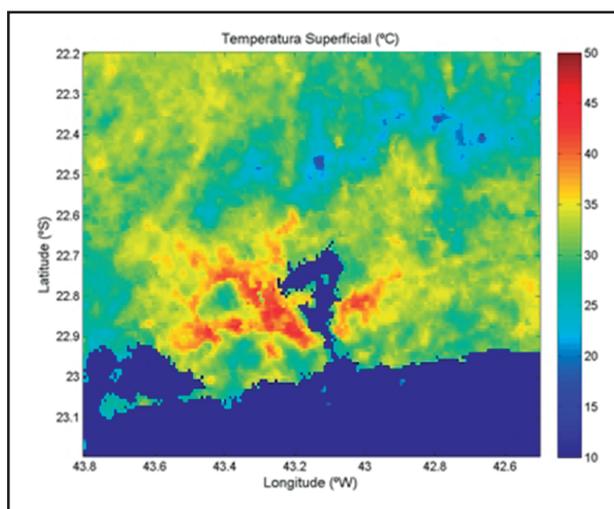


Figura 18 Média de TSC de primavera às 16UTC.

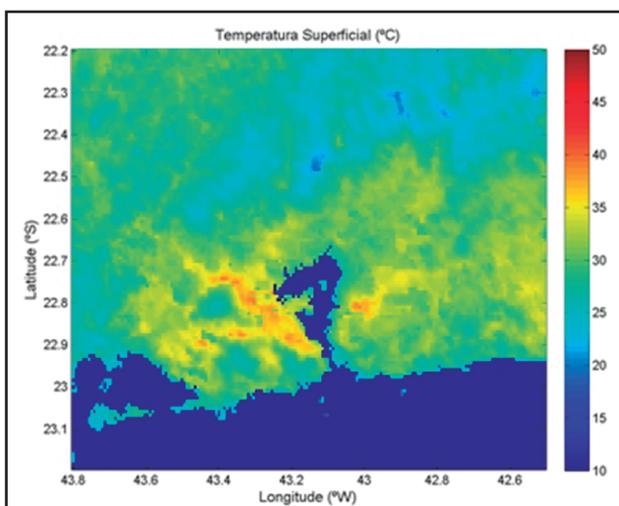


Figura 17 Média de TSC de primavera às 13UTC.

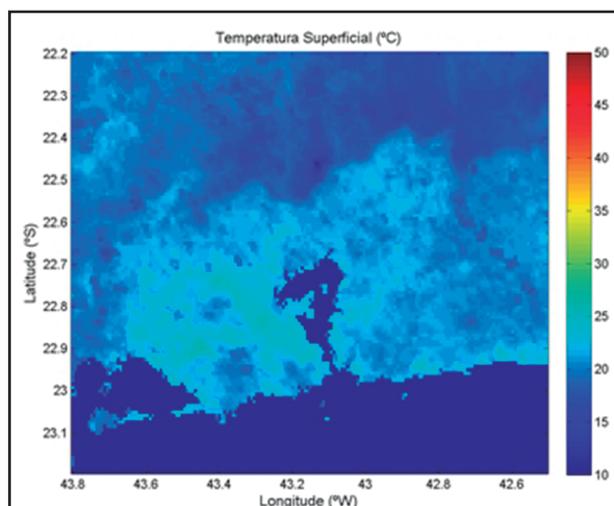


Figura 19 Média de TSC de primavera às 2UTC.

acompanhando o traçado da rodovia BR-116 e se ramificando também pela BR-101, seguindo por Bangu, Campo Grande e Santa Cruz.

O quadro observado na passagem anterior se intensifica. Na Figura 18, às 13:00 horas, são observadas temperaturas beirando os 50°C na ilha de calor que já se destacava desde as 10:00 horas. Analogamente, em Niterói, São Gonçalo e Itaboraí, a ICU se espalha sempre seguindo a BR-101.

A Figura 19 mostra um cenário bem parecido com o de 2:00 horas, revelando que pouco calor é dissipado nesse intervalo de 3 horas entre as captações. Dessa forma, é possível notar que a ICU cobre quase toda a RMRJ com a mesma intensidade.

### 3.2 Médias por Ano

Ao longo do período de estudo, a RMRJ passou

por uma série de mudanças. Proporcionalmente ao crescimento do número de habitantes, ocorreu uma intensificação da substituição de paisagens naturais por construções modernas. Este processo se acentuou após a entrada de investimentos para urbanização nos municípios da Baixada Fluminense, Niterói e São Gonçalo, como parte do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC).

Tendo isso em vista, foi montado o Gráfico 1 com as médias por ano de pesquisa para traçar uma tendência para os próximos anos.

Na Figura 20, estão representadas as médias calculadas com a temperatura de todos os pontos da região de estudo, separadas por ano e horário de passagem da plataforma.

É possível perceber pelas curvas que o horário de registro de maior temperatura é o de 16 UTC.

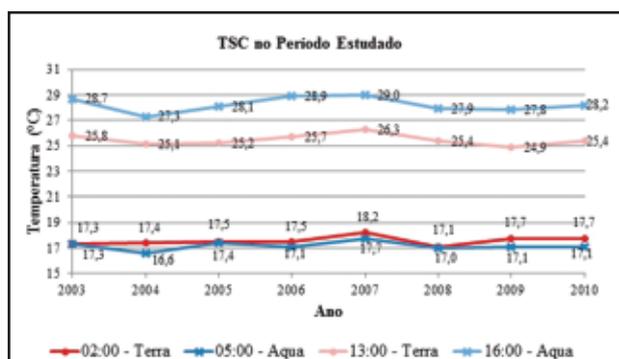


Figura 20 TSC média de toda RMRJ ao longo dos anos do estudo.

Também é notável que as curvas de 2 UTC e 5 UTC ficam sempre bem próximas, sem representar uma perda de calor significativa nas 3 horas de diferença entre as passagens. Além disso, os anos de 2003, 2006 e 2007 foram os que apresentaram maiores temperaturas às 16 UTC, coincidindo com os períodos de ocorrência de El Niño.

### 3.3 Transectors por Estação

Embora a temperatura do ar não seja igual à temperatura da superfície, elas apresentam uma boa correlação no seu ciclo diurno com uma leve defasagem nos seus picos de máxima (Lagourde & Brunet, 1993). Com o propósito de comparar com o modelo conceitual clássico da ilha de calor (Oke, 1987; World Meteorological Organization, 1984), foram feitos *transectors* nas imagens dos campos médios de TSC das 16 UTC cobrindo as seguintes regiões: Comercial, correspondente ao centro do município do Rio de Janeiro, residencial urbano, residencial suburbano e rural. Os resultados são mostrados nas Figuras de 21 a 24. Pode-se observar em todas as figuras que diferentemente do modelo conceitual, as regiões suburbanas da cidade do Rio de Janeiro, são muito mais aquecidas do que a própria região central. Observam-se diferenças no campo da temperatura da superfície da ordem de 10°C no verão (Figura 21). Nesta estação do ano a

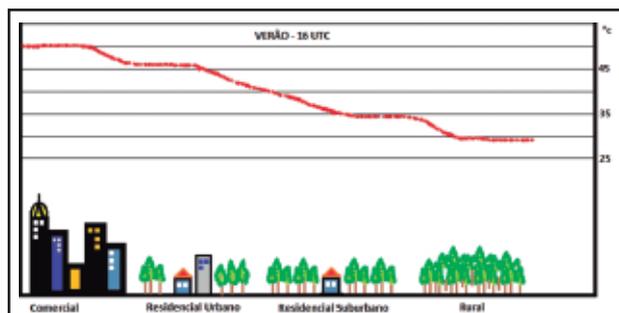


Figura 21 Transector de verão.

cidade encontra-se como um todo mais aquecida. No inverno, primavera e outono, a diferença máxima alcança a ordem de 15°C entre as regiões. Uma

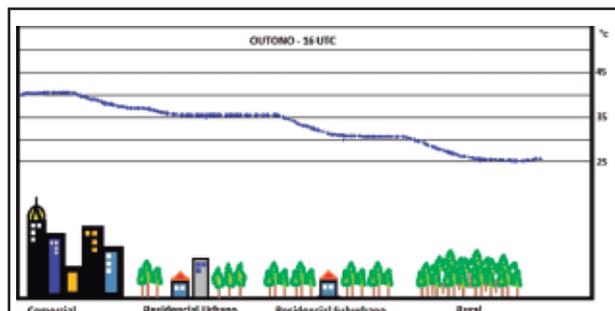


Figura 22 Transector de outono.

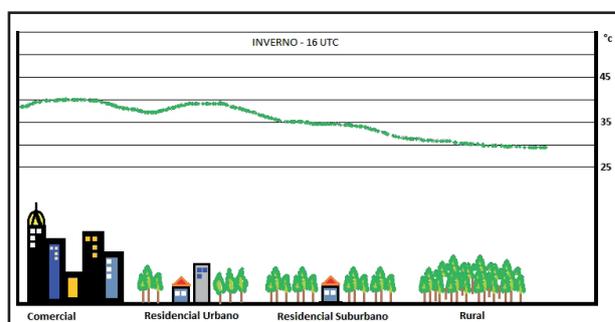


Figura 23: Transector de inverno.

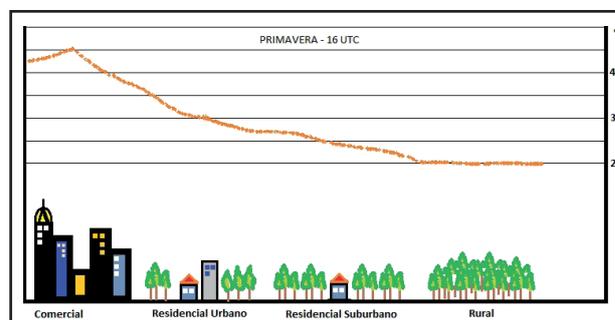


Figura 24: Transector de primavera.

observação interessante, é que a região central tem valores de TSC da mesma ordem de grandeza que a região rural. Completamente oposto ao modelo conceitual clássico.

## 4 Conclusões

Este estudo avalia a distribuição espacial da TSC para analisar a morfologia do fenômeno ICU na RMRJ. Para isto, são usados os produtos MOD11A2 e MYD11A2 de forma a obter dados, com menor contaminação por nuvens.

Levando em conta a performance da combinação entre a resolução espacial e temporal do instrumento, é possível afirmar que o MODIS foi

eficiente para esse estudo. Além disso, os resultados obtidos podem fornecer condições de contorno mais realísticas para modelos de previsão numérica em escalas de tempo pequenas, já que o campo de TSC varia rapidamente com o tempo.

A série de resultados obtidos durante as passagens diurnas de verão evidencia temperaturas de superfície próximas dos 50°C sobre toda a zona comercial e residencial urbana, revelando uma grande ilha de calor sobre a maior parte da região de estudo. Destacaram-se pequenas ilhas de frescor, com TSC próxima dos 25°C, sobre os municípios de Seropédica, Itaguaí, Tanguá e Maricá, caracterizados como área residencial suburbana e rural. Cenário semelhante ao encontrado nas médias de primavera, em que a TSC atingiu também os 50°C.

Durante as passagens diurnas do outono e inverno a média da temperatura da superfície atingiu os 40°C sobre a região comercial até o subúrbio. As mínimas foram captadas durante as passagens das 5 UTC, ficando próximas de 20°C no outono e chegando a 25°C no inverno.

Fazendo uma comparação entre as passagens noturnas por estação, observa-se que, durante a primavera e o outono, o manguezal localizado nos municípios de Magé e Guapimirim apresenta aquecimento superior a qualquer outra zona da RMRJ. Isso evidencia a alta capacidade térmica do solo de manguezal. A presença grande quantidade de matéria orgânica, faz com que este tipo de solo absorva bastante radiação visível durante o dia. E a sua alta umidade retém o calor, demorando mais tempo para arrefecer.

As passagens noturnas durante a primavera e o verão, mostraram temperaturas estáveis. Porém, ao longo do outono e do inverno, os resultados das captações à noite indicaram valores elevados de temperatura na base da Serra do Mar nos municípios de Paracambi, Japeri, Nova Iguaçu, Duque de Caxias, Magé e Guapimirim. Isso pode ser efeito da circulação local e do relevo, entretanto torna-se necessário a realização de novos estudos para o entendimento completo desta dinâmica.

Apesar da intensificação da ocupação na região ao longo dos anos de estudo, o Gráfico 1 aponta para tendências cíclicas de aumento e queda de temperatura a cada dois anos. Para ratificar esse comportamento, objetiva-se aumentar o período de informações com dados do sensor AVHRR. Através deste gráfico, também foi possível notar um aumento

da média de temperaturas nos anos de 2003, 2006, 2007 e 2010. Isso pode estar relacionado ao fato de serem anos de ocorrência de El Niño. Esse fenômeno leva a um aumento moderado de temperatura durante o inverno.

Através da análise dos Transectors, é possível destacar que a menor amplitude entre áreas de diferentes níveis de ocupação foi registrada durante o inverno. Chegando a 10°C entre o centro comercial e a zona rural. Entretanto, os Transectors de todas as estações do ano evidenciam a menor intensidade de ilhas de calor urbanas em zonas com a maior presença de vegetação, revelando as alterações climáticas produzidas pelo ambiente construído. Isso evidencia a diferença entre as características térmicas dos materiais de construção e da vegetação. Dessa forma, o uso da vegetação como dispositivo de sombreamento e gerador de umidade nas regiões de ilha de calor mais intensa pode ser eficiente para a redução da temperatura e consequente aumento do conforto térmico.

## 5 Agradecimentos

À Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro - FAPERJ - pelo financiamento desse projeto. A Leonardo Abreu Jorge Justo e Filipe Pungirum Onofre pelo suporte computacional essencial ao desenvolvimento do trabalho.

## 6 Referências

- Becker, F. & Li, Z.L. 1990. Toward a Local Split Window Method over Land Surface. *International Journal Remote Sensing*, 3: 369-393.
- Bottlyán, Z.; Kircsi, A.; Szegedi, S. & Unger, J. 2005. The Relationship Between Built-Up Areas and the Spatial Development of the Mean Maximum Urban Heat Island in Debrecen, Hungary. *International Journal of Climatology*, 25: 405-418.
- Comrie, A.C. 2000. Learning Mapping a Wind-modified Urban Heat Island in Tucson, Arizona (with comments on Integrating Research with Undergraduate). *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81: 2417-2431.
- De Paula, R.Z.R. 2004. *A Influência da Vegetação no Conforto Térmico do Ambiente Construído*. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP, Universidade Estadual de Campinas, Dissertação de Mestrado, 110p.
- Eliasson, I. 1996. Urban Nocturnal Temperatures, Street, Geometry and Land Use. *Journal of Climatology*, 5: 221-225.
- Grimmond, C.S.B.; Potter, S.K., Zutter, H.N. & Souch, C. 2001. Rapid Methods of Estimate Sky-view Factors Applied to Urban Areas. *International Journal*

- of *Climatology*, 21: 903-913.
- Haeger-Eugensson, M. & Holmer, B. 1999. Advection Caused by the Urban Heat Island Circulation as a Regulating Factor on the Nocturnal Urban Heat Island. *International Journal of Climatology*, 19: 975-988.
- Herring, D. 1999. NASA's Earth Observing System. Terra Spacecraft. Maryland. National Aeronautics and Space Administration. Goddard Space Flight Center Greenbelt, 2p.
- Hu, Y. & Jia, G. 2010. Influence of Land Use Change on Urban Heat Island Derived from Multi-Sensor Data. *International Journal of Climatology*, 30: 1382-1395.
- Johnson D.B. 1985. Urban Modification of Diurnal Temperature Cycles in Birmingham. *Journal of Climatology*, 5: 221-225.
- Lindsay, R. & Herring, D. 2002. NASA's Earth Observing System. Terra Spacecraft. Maryland. National Aeronautics and Space Administration. Goddard Space Flight Center Greenbelt, 29p.
- Lucena, A.J. 2012. *A Ilha de Calor na Região Metropolitana do Rio de Janeiro*. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Tese de Doutorado, 360p.
- Meireles, V.H.P. 2011. *Estudo do Fenômeno da Ilha de Calor Urbana na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) Usando Dados do Sensor AVHRR dos Satélites NOAA - 14 e 18*. Programa de Pós-graduação em Meteorologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado, 142p.
- Montávez, J.P.; Rodríguez, A. & Jiménez, J.I. 2000. A Study of The Urban Heat Island of Granada. *International Journal of Climatology*, 20: 899-911.
- Montávez, J.P.; González-Rouco, J.F. & Valero, F. 2008. A Simple Model for Estimating the Maximum Intensity of Nocturnal Urban Heat Island. *International Journal of Climatology*, 28: 235-242.
- Moreno-Garcia, M.C. 1994. Intensity and Form of the Urban Heat Island in Barcelona. *International Journal of Climatology*, 14: 705-710.
- Morris, C.J.G. & Simmonds, I. 2000. Associations Between Varying Magnitudes of Urban Heat Island and The Synoptic Climatology in Melbourne, Australia. *International Journal of Climatology*, 20: 1931-1954.
- Oke, T.R. 1987. *Boundary Layer Climates*. Second Edition. London, Methuen and Co. 435 p.
- Oke, T.R. & Fuggle R.F. 1972. Comparison of Urban/Rural Counter and Net Radiation at Paganoto, F. & Santos, P.G. 2013. Mercado Imobiliário e Mobilidade Espacial da População na Periferia da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOGRAFIA URBANA, 13, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, p. 1-15.
- Park, H-S. 1986. Features of the Heat Island in Seoul and its Surrounding Cities. *Atmospheric Environment*, 20: 1859-1866.
- Parkinson, C.L. 2002. *Aqua Brochure*. Maryland. Goddard Space Flight Center Greenbelt. p. 1-44.
- Rudorff, B.F.T.; Shimabukuro, Y.E. & Ceballos, J.C. 2007. *O Sensor MODIS e suas aplicações Ambientais no Brasil*. São José dos Campos, Editora Parêntese, 423 p.
- Voogt, J.A. & Oke T.R. 1997. Complete Urban Surface Temperatures. *Journal of Applied Meteorology*, 36: 1117-1132.
- Wan, Z. & Dozier, J. 1996. A Generalized Split-Window Algorithm Retrieving Land-Surface Temperature from Space. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 34 (4): 892-905.
- Wan, Z. & Dozier, J. 1989. Land-Surface Temperature Measurement from Space: Physical Principles and Inverse Modeling. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 27(3): 268-278.
- Wan, Z. 2007. *MODIS Land Surface Temperature Products User's Guide*. California, ICES, University of California, Santa Barbara, p. 1-30. (Collection-5).
- World Meteorological Organization. 1984. Urban Climatology and its Applications with Special Regard to Tropical Areas. In: TECHNICAL CONFERENCE. World Meteorological Organization, 1, Mexico, (WMO-No. 652).
- Yamashita, S. 1996. Detailed Structure of Heat Island Phenomena from Moving Observations from Electric Tram-Cars in Metropolitan Tokyo. *Atmospheric Environment*, 30: 429-435.