

## Transformações espaciais no COMPERJ utilizando dados de sensoriamento remoto

Liz Barreto Coelho Belém<sup>1</sup>  
Leonardo de Faria Peres<sup>1</sup>  
Andrews J. Lucena<sup>2</sup>  
José Ricardo A. França<sup>1</sup>  
Otto C. Rotunno Filho<sup>3</sup>  
Leandro Ribeiro Luz de Barros<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ/IGEO/CCMN  
CEP – 21941-916 - Rio de Janeiro - RJ, Brasil  
{lizbarreto7, leandrorlbarros}@gmail.com  
{leonardo.peres,jricardo}@igeo.ufrj.br

<sup>2</sup> Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ/IA  
CEP – 23890-000 - Rio de Janeiro - RJ, Brasil  
lucenageo@yahoo.com.br

<sup>3</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ/COPE  
CEP – 21941-914 – Rio de Janeiro - RJ, Brasil  
otto@coc.ufrj.br

**Abstract.** This paper aims to use remote sensing data, namely Landsat-5, Landsat-7 and Landsat-8 images, to investigate the impact of COMPERJ on environment. The images were grouped into two distinct periods with the same number of years, from 2002 to 2007 and from 2008 to 2013, in order to represent environmental conditions prior and after COMPERJ construction, respectively. Accordingly, the evolution of the following parameters was analyzed: 1) land-surface temperature (LST); 2) albedo and 3) urban index (UI). The temporal evolution of LST, albedo and UI was verified by the Student's t statistical test conducted at the 5% level. Results confirm that albedo and UI have increased just inside the construction area of COMPERJ. It was not possible to confirm, based on the Student's test that LST values increased after COMPERJ construction. In order to circumvent this result, the data were divided into winter and summer to reduce LST variance. However, the proposed approach has reduced the data available and results were even worse than those obtained considering the whole period.

**Key words:** urban heat island, COMPERJ, land-surface temperature, albedo, UI.

### 1. Introdução

O Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (COMPERJ), um dos principais empreendimentos da história da Petrobras, está previsto para entrar em operação em 2016 no município de Itaboraí e está sendo construído em uma área de 45 km<sup>2</sup> (Figura 1). Trabalhos anteriores (Barros, et al., 2012, 2013), utilizaram dados de sensoriamento remoto, nomeadamente os satélites Landsat 5 e 7 para analisar o impacto do COMPERJ em seu entorno. Os dados de sensoriamento remoto foram utilizados para estimar a 1) temperatura da superfície continental (TSC), 2) índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), 3) índice de área construída (IBI), permitindo observar a evolução temporal destes parâmetros antes e depois da construção do COMPERJ. Adicionalmente, testes estatísticos foram aplicados permitindo confirmar que a média de IBI (NDVI) para o período após a construção do COMPERJ (2008-2011) é maior (menor) que a média do período antes da construção (2004-2007). Particularmente em relação à TSC, os trabalhos acima citados não conseguiram provar estatisticamente que a TSC aumentou após a construção. Neste sentido, as principais contribuições do presente trabalho, na tentativa de obter resultados em concordância com a hipótese citada, consistem a) na ampliação da base de dados de satélites, pela inclusão do

satélite Landsat 8 (lançado em março de 2013), b) divisão sazonal dos dados de TSC com o intuito de diminuir sua variabilidade, c) utilização de uma adaptação do *urban index* - índice de urbanização (UI) que combina informações de TSC e albedo e d) avaliação individualmente do albedo utilizado para o cálculo do UI.

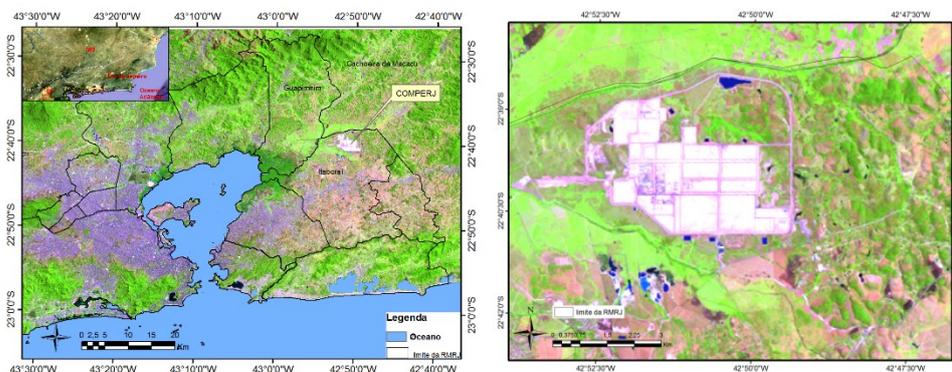


Figura 1. Localização do COMPERJ na RMRJ.

## 2. Metodologia de Trabalho

As imagens foram agrupadas em dois períodos com o mesmo número de anos, 2002 a 2007 e 2008 a 2013, com o intuito de representar as condições ambientais antes à construção e após a construção do COMPERJ, respectivamente, permitindo analisar a evolução temporal de TSC, albedo e UI. Posteriormente, no caso específico da TSC, os dados foram divididos sazonalmente em inverno e verão com o intuito de diminuir a variabilidade da TSC. Esta divisão, resultando numa menor variabilidade de TSC, e ainda o aumento de nossa série temporal de dados, teve como finalidade comprovar estatisticamente que a média de TSC para o período após a construção do COMPERJ é maior que para o período anterior à construção.

Neste contexto, o teste paramétrico t de Student foi aplicado, admitindo-se um nível de significância de 5%, para avaliar as seguintes suspeitas a priori: 1) a média de TSC, albedo e UI para o período após a construção do COMPERJ (2008-2013) é maior que a média do período antes da construção (2002-2007) por conta da modificação da superfície resultante da construção do COMPERJ. É importante notar que a evolução temporal do IBI e NDVI também foi observada e os resultados são similares àqueles que foram obtidos anteriormente (Barros, et al., 2012, 2013) e por esta razão não são mostrados no presente trabalho.

Os sensores TM e ETM+ utilizados no presente estudo apresentam somente um canal cobrindo a faixa espectral do infravermelho termal, i.e., canal 6, e, portanto a única forma possível de estimar a TSC é com base em métodos mono-canal. Entretanto, o sensor TIRS a bordo do Landsat 8 apresenta duas bandas, 10 e 11, o que possibilita a utilização de diferentes métodos (e.g., split-window). Com o intuito de produzir resultados consistentes, a TSC neste estudo foi estimada utilizando a banda 6 do Landsat 5 e 7, e 10 do Landsat 8 com base num método mono-canal que assume diferentes hipóteses e parametrizações (Qin et al., 2001; Souza e Silva, 2005), onde a correção atmosférica é realizada utilizando-se dados medidos na rede convencional de estações meteorológicas presentes na RMRJ de acordo com a seguinte equação:

$$T_s = T_b + \Delta T \quad (1)$$

onde  $T_s$  é a TSC em Kelvin (K),  $T_b$  é a temperatura de brilho na banda 6 ou 10 e  $\Delta T$  é o fator de correção que possibilita a estimativa de TSC. É importante notar que o fator de correção  $\Delta T$  leva em conta tanto a influência atmosférica como da emissividade no sinal registrado pelo

instrumento a bordo do satélite. A emissividade da superfície foi obtida através de uma relação com o NDVI (Van de Griend e Owe, 1993).

O desenvolvimento de áreas urbanas resulta geralmente em profundas modificações das superfícies continentais. Construções urbanas modificam diferentes propriedades da superfície, como albedo e emissividade. Desta forma, no presente trabalho, quantifica-se também o impacto da construção do COMPERJ no albedo da região. O albedo da superfície,  $\alpha$ , é calculado como uma média ponderada das reflectâncias espectrais  $\rho_\lambda$  nas bandas 1 (2), 2 (3), 3 (4), 4 (5), 5(6) e 7 (7) do Landsat 5 e 7 (Landsat 8)

$$\alpha = 0,293\rho_{1(2)} + 0,274\rho_{2(3)} + 0,233\rho_{3(4)} + 0,157\rho_{4(5)} + 0,033\rho_{5(6)} + 0,011\rho_{7(7)} \quad (2)$$

Jin et al. (2005) mostraram com base no produto de albedo MOD43B3 derivado do sensor MODIS a bordo do satélite Terra que construções urbanas reduzem o valor do albedo. Entre 30 e 65°N, onde grande parte das cidades estão concentradas, o valor de albedo para cidades foi de 2 a 5% mais baixo que o valor para culturas agrícolas. Os valores mais altos foram encontrados sobre regiões desérticas em torno de 30°N. Como por outro lado, espera-se que a TSC seja mais alta em regiões urbanas do que em rurais, os mesmos autores propuseram um índice, chamado de urban index (UI), que combina a TSC e o albedo com o intuito de caracterizar áreas urbanas

$$UI = (1 - \alpha) \times TSC \quad (3)$$

Entretanto, nossos resultados (ver seção 3) mostram que para nossa região de estudo, os valores de albedo são maiores para regiões urbanas do que para áreas vegetadas, e que estas se assemelham espectralmente às regiões desérticas. Desta forma, propõem-se no presente trabalho um UI modificado que leva em conta o comportamento físico encontrado na área de construção do COMPERJ, onde tanto a TSC e o albedo apresentam valores elevados

$$UI_{modificado} = (1 + \alpha) \times TSC \quad (4)$$

No cálculo de todas as variáveis, utilizou-se diferentes algoritmos de mascaramento de nuvens para identificar pixels cobertos com nuvens (Chen et al., 2002).

### 3. Resultados e Discussão

A Figura 2 exibe a média de TSC para o período 2002-2007 e 2008-2013, e a diferença entre elas, onde são mostrados somente aqueles pixels onde a TSC do período pós-construção (2008-2013) é maior que o período anterior (2002-2007) segundo o teste t de Student e nível de significância de 5%. A média de TSC para o período 2008-2013 mostra um gradiente térmico, com características especiais típicas de uma ilha de calor. Contudo, com base no teste t de Student, não foi possível novamente afirmar que os valores de TSC nesta região são realmente mais elevados para o período 2008-2013. Praticamente toda a área apresenta valores sem significância. Os valores com significância representam diferenças por volta de 5,0 a 6,0 °C. Como uma das possíveis causas do resultado encontrado deva-se a grande variância da TSC dentro dos períodos analisados e que mesmo aumentando nossa série temporal, esta ainda representa um conjunto com um número de imagens insuficientes, realizou-se uma divisão sazonal dos dados em inverno e verão (Figuras 3 e 4). A estratégia adotada, de fato diminuiu a variabilidade da TSC, entretanto, por outro lado fez com que a quantidade de dados também diminuísse. Isto ocorre principalmente no período do verão, por conta da maior presença de nuvens. Por exemplo, temos apenas 7 e 4 imagens para os anos de 2002-2007 e 2008-2013, respectivamente.

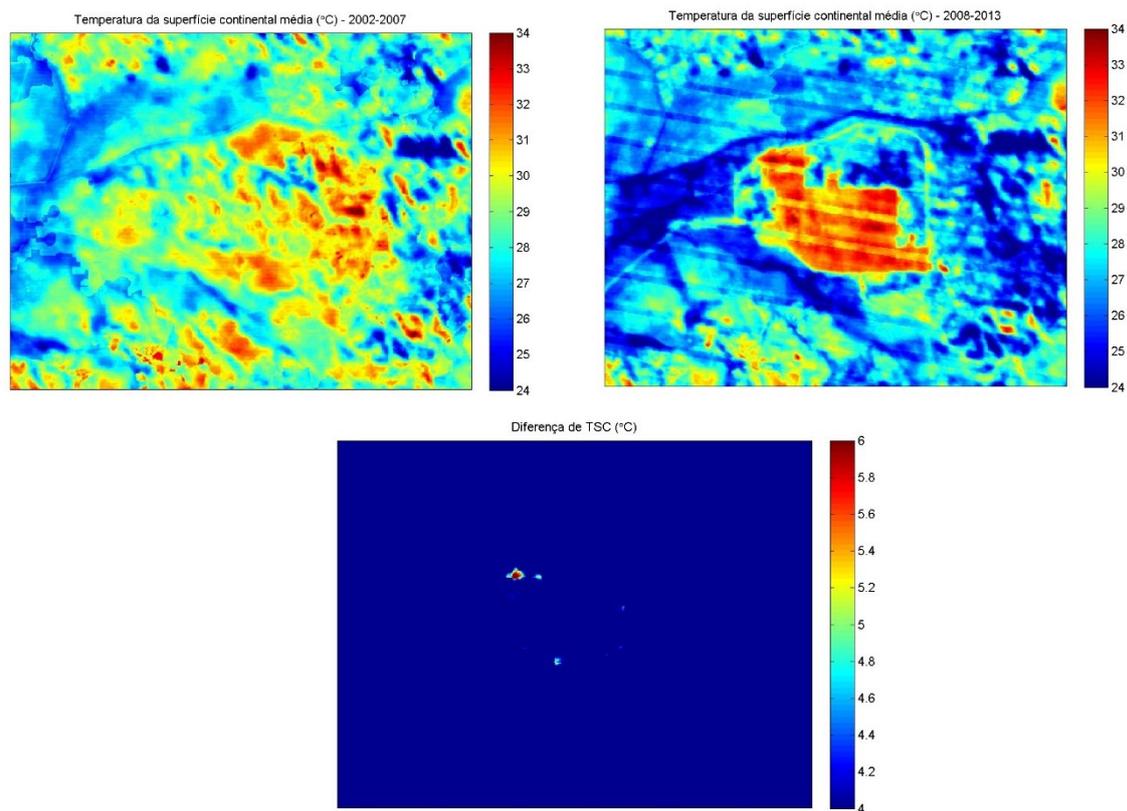


Figura 2. Média da TSC para o período de 2002-2007 (painel superior esquerdo) e 2008-2013 (painel superior direito), respectivamente. Valores de diferença entre a média de TSC antes (2002-2007) e depois (2008-2013) à construção do COMPERJ (painel inferior) com nível de significância de 5% segundo o teste t de Student.

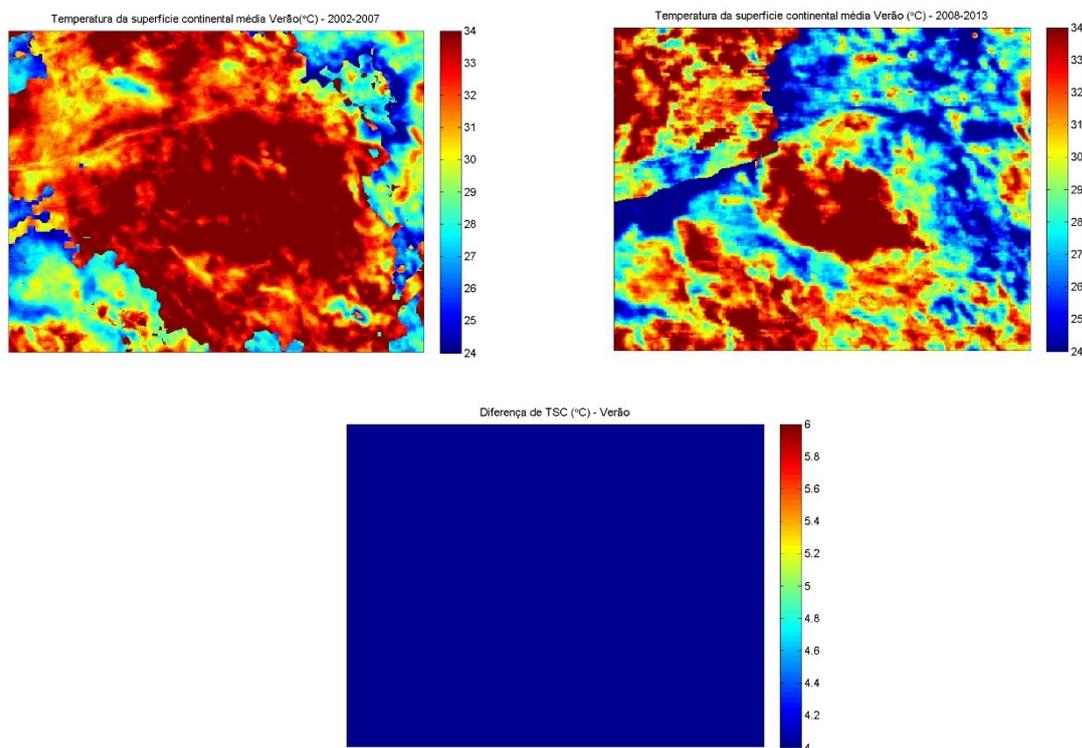


Figura 3. Como na Figura 2, mas para o período de verão.

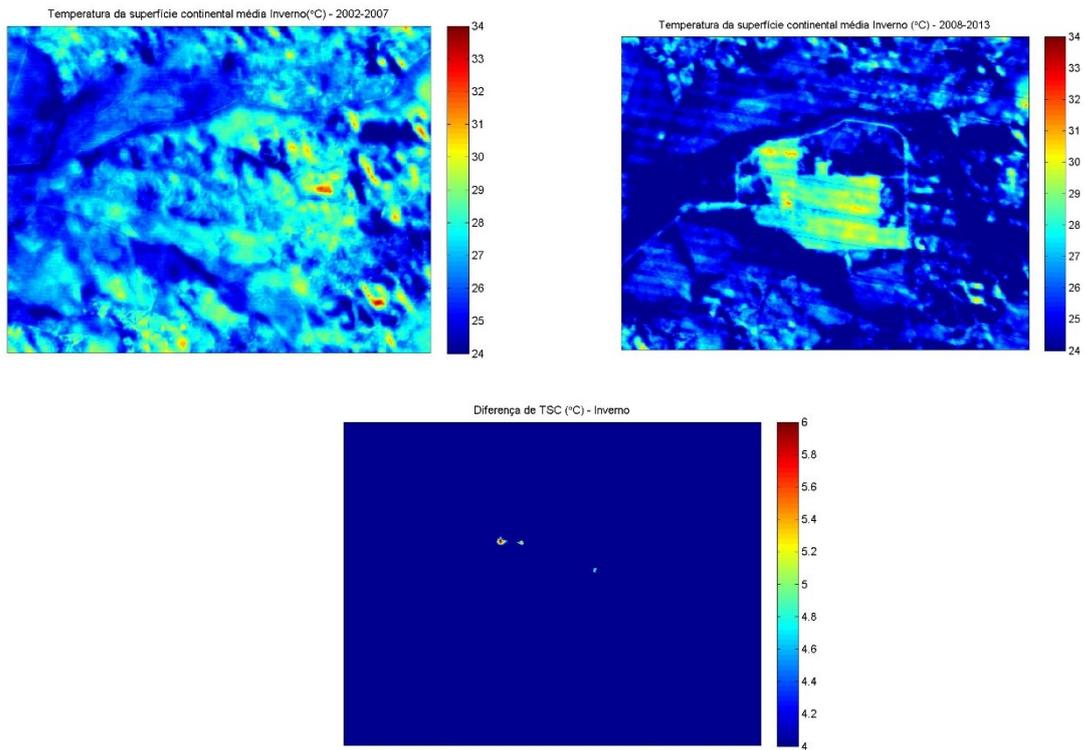


Figura 4. Como na Figura 2, mas para o período de inverno.

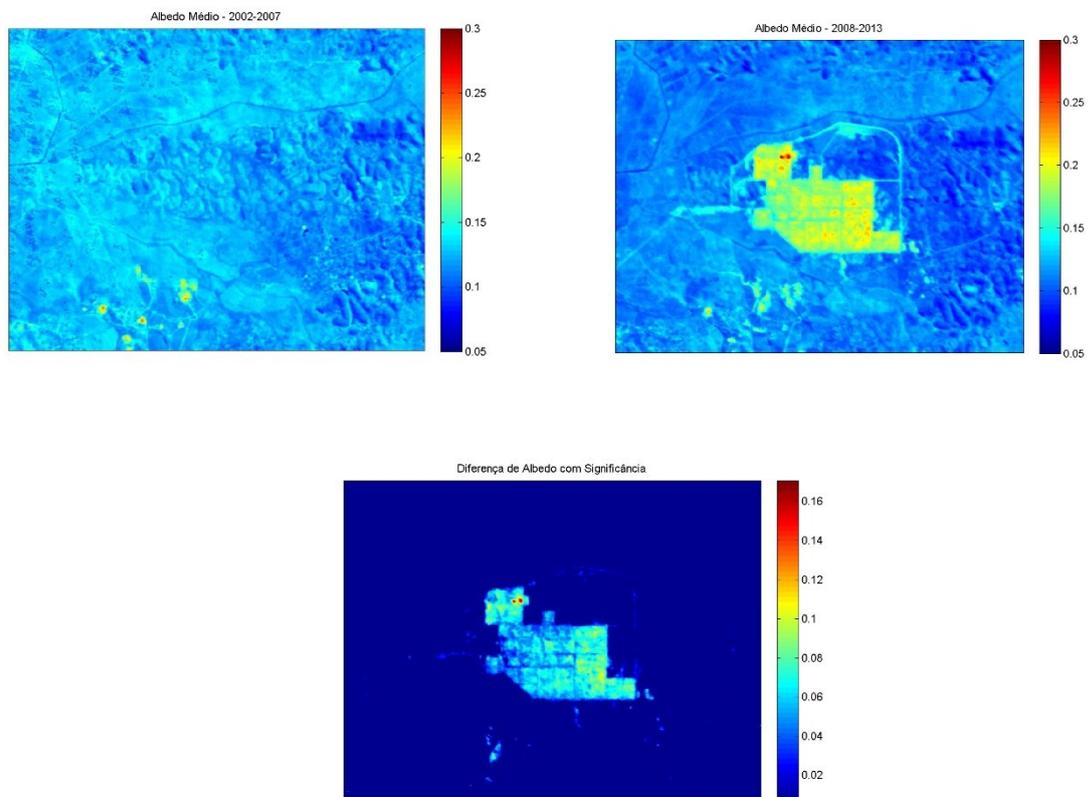


Figura 5. Como na Figura 2, mas para o albedo.

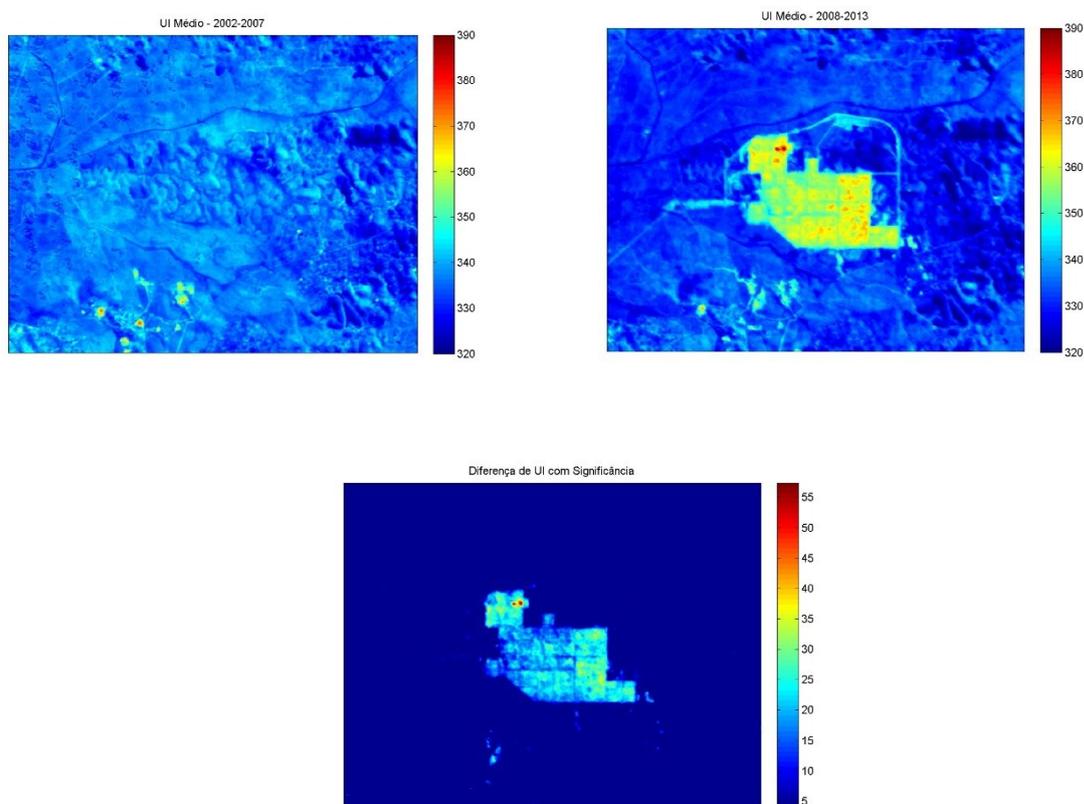


Figura 6. Como na Figura 2, mas para o UI modificado.

A Figura 5 é similar a Figura 2, mas mostra os resultados obtidos para o albedo. A média de albedo para o período 2002-2007 é menor que para 2008-2013, indicando que a construção do COMPERJ resultou neste caso num aumento do albedo. Em termos temporais o albedo passou de 0,15 para 0,20 representando um aumento de 34%. Espacialmente, quando analisamos somente a média para o período 2008-2013, observa-se que os valores da região de construção são por volta de 0,20 enquanto que os valores para a área não construída variam entre 0,05 e 0,15. É importante notar que diferenças de albedo entre os anos 2008-2013 e 2002-2007 mostradas na Figura 5, possuem significância justamente na área destinada à construção do COMPERJ nos permitindo afirmar, dentro do intervalo de confiança estabelecido, que o albedo aumentou após a construção do COMPERJ. É importante salientar, que quando observado individualmente os valores de reflectâncias na área de construção do COMPERJ para cada uma das 6 bandas utilizadas no cálculo do albedo, a única que apresentou maiores valores sobre áreas vegetadas foi a banda 4 (5) do Landsat 5 e 7 (8) localizada na região do infravermelho próximo.

É interessante notar mais uma vez que apesar da TSC estar intimamente relacionada com o tipo de superfície, esta é altamente influenciada pelas condições meteorológicas e climáticas. Com base nos resultados do teste estatístico observamos que ao contrário da TSC, tanto o albedo como o NDVI e IBI (resultados não mostrados no presente trabalho) apresenta uma menor variabilidade temporal, por exemplo, associada às condições meteorológicas fazendo com que estejam mais correlacionadas com mudanças na superfície. Desta forma, a utilização unicamente da TSC e principalmente de imagens individuais pode não ser uma forma adequada de indicar mudanças temporais resultantes de urbanização. Os resultados referentes ao UI modificado, ilustrados na Figura 6, mostram que a combinação da TSC com o albedo

pode ser um indicador mais eficiente na caracterização de áreas urbanas. Nota-se que o valor do UI modificado aumenta cerca de 20 unidades na região de construção do COMPERJ. Similar ao albedo e demais parâmetros como NDVI e IBI, as diferenças do UI modificado entre os anos 2008-2013 e 2002-2007 possuem significância precisamente na área do COMPERJ nos permitindo afirmar que o UI também aumentou após a construção do COMPERJ.

#### **4. Conclusões**

Trabalhos anteriores (Barros, et al., 2012, 2013), utilizaram dados de sensoriamento remoto, nomeadamente os satélites Landsat 5 e 7 para analisar o impacto do COMPERJ em seu entorno. Particularmente em relação à TSC, os trabalhos acima citados não conseguiram provar estatisticamente que a TSC aumentou após a construção. Neste sentido, as principais contribuições do presente trabalho foram a) na ampliação da base de dados de satélites, pela inclusão do satélite Landsat 8 (lançado em março de 2013), b) divisão sazonal dos dados de TSC com o intuito de diminuir sua variabilidade, c) utilização de uma adaptação do UI que combina informações de TSC e albedo e d) avaliação individualmente do albedo utilizado para o cálculo do UI.

Os resultados indicam que não foi possível determinar estatisticamente o aumento da TSC com a construção do COMPERJ, nem pelo aumento do período estudado nem pela divisão sazonal. A utilização unicamente da TSC e principalmente de imagens individuais pode não ser uma forma adequada de indicar mudanças temporais resultantes de urbanização. Nossos resultados mostram que os valores de albedo para a região de construção do COMPERJ são maiores do que para áreas vegetadas. Desta forma, foi proposto no presente trabalho um UI modificado que leva em conta o comportamento físico encontrado na área de construção do COMPERJ, onde tanto a TSC e o albedo apresentam valores elevados. Em termos temporais o albedo passou de 0,15 para 0,20 representando um aumento de 34%. Os resultados referentes ao UI modificado mostram que a combinação da TSC com o albedo pode ser um indicador mais eficiente na caracterização de áreas urbanas. Nota-se que o valor do UI modificado aumenta cerca de 20 unidades na região de construção do COMPERJ. As diferenças do albedo e do UI modificado entre os anos 2008-2013 e 2002-2007 possuem significância justamente na área destinada à construção do COMPERJ nos permitindo afirmar, dentro do intervalo de confiança estabelecido, que o albedo e o UI aumentaram após a construção do COMPERJ.

#### **Agradecimentos**

Os autores agradecem ao CNPq/PIBIC pela bolsa de iniciação científica concedida ao autor Liz B. C. Belém e a FAPERJ pelo amparo ao desenvolvimento do presente estudo (E26/110.822/2013).

#### **Referências Bibliográficas**

Belém, L. B. C, Peres, L. F., Lucena, A. J., França, J. R. A., Rotunno Filho, O. C. Estudos da urbanização no COMPERJ utilizando dados de sensoriamento remoto In: XVIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2014, Recife.

Barros, L. R. L., Peres, L. F., Lucena, A. J., França, J. R. A., Rotunno Filho, O. C. Impactos do COMPERJ no leste da região metropolitana do Rio de Janeiro utilizando dados de sensoriamento remoto In: XVII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2012, Gramado.

Barros, L. R. L., Peres, L. F., Lucena, A. J., Franca, J. R. A., Rottuno Filho, O. C. Monitoramento dos impactos do COMPERJ utilizando dados Landsat In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2013, Foz do Iguaçu, p. 975 – 982.

Qin, Z., Karnieli, A., and Berliner, P. 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, 2002.

Chen, P. Y., Srinivasan, R., Fedosejevs, G., e Narasimhan, B. An automated cloud detection method for daily NOAA-14 AVHRR data for Texas, USA. *International Journal of Remote Sensing*, v.23, p. 2939–2950, 2002.

Jin, M.; Dickinson, R.E.; Zhang, D. L. The Footprint of Urban Areas on Global Climate as Characterized by MODIS. *J. Climate*, v.18, p. 1551 – 1565, 2005.

Silvia, B.B, Lopes, G.M, Azevedo, P.V. Determinação do albedo de áreas irrigadas com base em imagens LANDSAT 5-Tm. *Rev. Bras. Agrometeorologia*, v 13, n 2, p 11-21, 2005.

U.S. Geological Survey (USGS) Disponível em: <<http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>>. Acesso em 19 dez 2013.