

## Verificação da Urbanização na Região Metropolitana do Rio de Janeiro 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>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ/IGEO/CCMN  
CEP – 21941-916 - Rio de Janeiro - RJ, Brasil  
lizbarreto7@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 work aims using remote sensing data, i.e., Landsat-5 and Landsat-7 images, to verify the urbanization processes in the metropolitan area of Rio de Janeiro (RMRJ). The analysis is performed based on our previous works developed for Rio de Janeiro Petrochemical Complex (COMPERJ) pilot area where albedo and urban modified index (UI\*) have best described the urban changes during its construction. Accordingly, we have adopted these parameters and the land-surface temperature (LST) (used for comparison) to extend the initial analysis, restricted to COMPERJ area, to RMRJ. The images were grouped into 3 distinct decades, 80, 90 and 00, in order to represent the environmental conditions during these periods, allowing at the same time the temporal evolution observation of these parameters. The temporal evolution of LST, albedo and UI\* was confirmed by the Students' t statistical test conducted at the 5% level. Results show that albedo and UI\* better identify the urban changes than LST. Albedo shows changes in a large region associated with low differences, which spatially does not seem to match reality. On the other hand, UI\* does not show such a large amount of spurious values, but at the same time it shows the same well-defined nuclei indicated by the albedo. Thus, a combination of TSC and albedo, i.e., UI\*, may be more efficient in characterizing urban areas.

**Palavras-chave:** urban heat island, COMPERJ, RMRJ, land-surface temperature, albedo, UI.

### 1. Introdução

O monitoramento, o entendimento e a criação de uma base de dados com informações a respeito do ambiente urbano do Estado do Rio de Janeiro são de vital importância para o planejamento do seu desenvolvimento e de sua gestão de risco. Trabalhos anteriores da autora (Belém, et al., 2014, 2015), utilizaram dados de sensoriamento remoto, nomeadamente os satélites Landsat-5, 7 e 8 para analisar os impactos ambientais resultantes da construção do Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (COMPERJ) em seu entorno. A análise espacial e temporal dos impactos causados pelo COMPERJ foi verificada com base nos seguintes parâmetros: 1) temperatura da superfície continental (TSC); 2) índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI); 3) índice de área construída (IBI); 4) albedo; e 5) adaptação do *urban index* – índice de urbanização (UI\*modificado). Os dados foram organizados com as imagens da década de 2000 divididos em dois períodos com o mesmo número de anos, antes da construção do COMPERJ (2002-2007) e depois da construção (2008-2013), permitindo observar a evolução temporal destes parâmetros entre esses dois períodos. Adicionalmente,

testes estatísticos foram aplicados permitindo confirmar que a média de IBI, albedo, UI\*modificado e (NDVI) para o período após a construção do COMPERJ (2008-2013) é maior (menor) que a média do período antes da construção (2002-2007). Particularmente em relação à TSC, os trabalhos acima citados não conseguiram provar estatisticamente que a TSC aumentou após a construção.

A adoção de uma área piloto como o COMPERJ, onde comprovadamente houve mudanças na cobertura da superfície, foi importante para verificar quais parâmetros com base em sensoriamento remoto são mais eficazes em indicar o processo de urbanização de forma automática e também contribui como base para a elaboração de novas metodologias nesse monitoramento. Em relação ao primeiro ponto, observou-se que em nossa área piloto, COMPERJ, os parâmetros que indicaram de forma mais adequada a urbanização foram o albedo e o UI\*modificado (combinação de albedo e TSC). Neste contexto, o presente trabalho propõe estender a análise inicialmente restrita ao COMPERJ para toda a Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) utilizando os parâmetros que apresentaram melhor desempenho na descrição da urbanização em nossa área piloto. Adicionalmente, analisou-se também a TSC para efeito de comparação.

## 2. Metodologia de Trabalho

As imagens para a ampliação da área piloto para a RMRJ (Figura 1) foram agrupadas em 3 décadas 80, 90 e 00, com o intuito de representar as condições ambientais nesse período, permitindo analisar a evolução temporal de TSC, albedo e UI\*modificado. Neste contexto, o teste paramétrico t de Student foi aplicado, admitindo-se um nível de significância de 5%, para avaliar se houve aumento das médias de TSC, albedo e UI\*modificado entre as décadas de 80, 90 e 00 na RMRJ por conta da modificação da superfície resultante da urbanização ao longo do tempo.

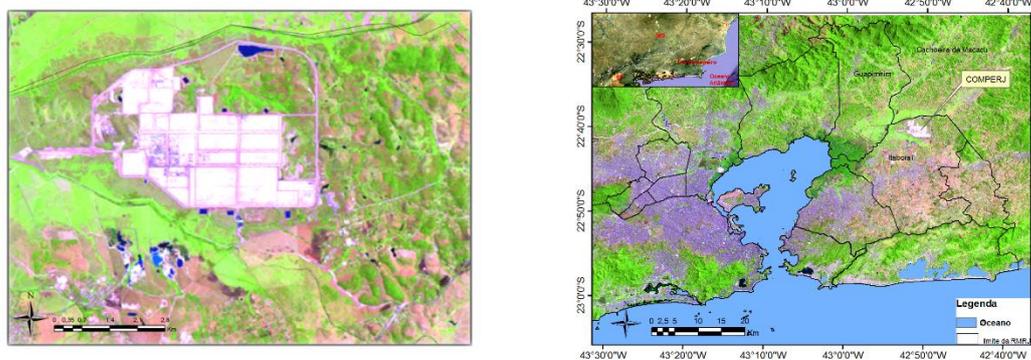


Figura 1. Representação da área piloto (COMPERJ) e a RMRJ.

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. Com o intuito de produzir resultados consistentes, a TSC neste estudo foi estimada utilizando a banda 6 do Landsat 5 e 7, 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 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 albedo na RMRJ. O albedo da superfície,  $\alpha$ , é calculado como uma média ponderada das reflectâncias espectrais  $\rho_\lambda$  nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 do Landsat 5 e 7.

$$\alpha = 0,293\rho_1 + 0,274\rho_2 + 0,233\rho_3 + 0,157\rho_4 + 0,033\rho_5 + 0,011\rho_7 \quad (2)$$

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 mostrados em trabalhos anteriores mencionados acima, 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, obtemos a seguinte equação para a nossa área de estudo:

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

No cálculo de todas as variáveis, utilizou-se diferentes algoritmos de mascaramento de nuvens para identificar pixels cobertos com nuvens (Belém, et al., 2014; 2015; Chen et al., 2002).

### 3. Resultados e Discussão

A Figura 2 e 3 exibe a média de TSC para a década de 80, 90 e 00, e a diferença entre elas para as décadas de 00-80 e 00-90, onde são mostrados somente aqueles pixels onde a TSC na década de 00 é maior que nas demais décadas segundo o teste t de Student e nível de significância de 5%. A média de TSC mostrou-se com valores elevados nas áreas onde se tem áreas urbanizáveis do que em áreas vegetadas. Contudo, com base no teste t de Student, não foi possível novamente afirmar que os valores de TSC são realmente mais elevados para a década mais recente (00). Os resultados referentes ao albedo e UI\*modificado mostrados nas Figuras 4-7 indicam que com base nesses parâmetros é possível identificar de forma mais adequada as mudanças quando comparamos com a TSC. Percebe-se que o albedo mostra mudanças numa vasta região associadas à valores baixos de diferença, em torno de 0,01 de aumento, o que espacialmente não parece condizer com a realidade. Limitando-se a diferenças maiores que 0,02 identifica-se núcleos de mudanças bem definidos, inclusive o COMPERJ que serviu como área piloto. Por outro lado as diferenças do UI\*modificado não mostram uma quantidade tão grande de valores espúrios associados à valores baixos de diferença, como o

albedo, mas ao mesmo tempo mostram os mesmos núcleos bem definidos também indicados pelo albedo. Desta forma, os resultados do UI\*modificado mostram que a combinação da TSC com o albedo pode ser um indicador mais eficiente na caracterização de áreas urbanas.

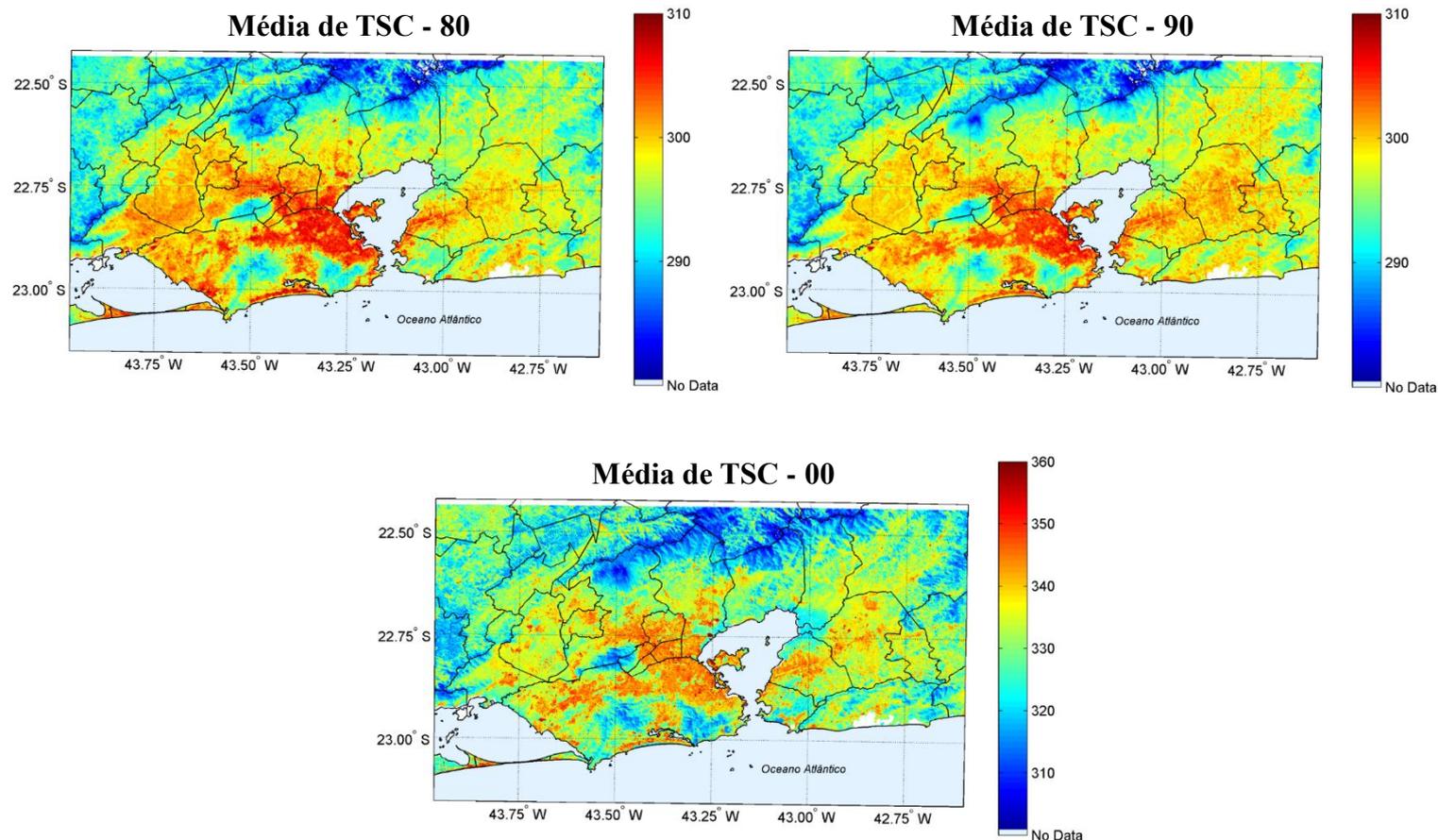


Figura 2. Médias de TSC para as décadas de 80, 90 e 00.

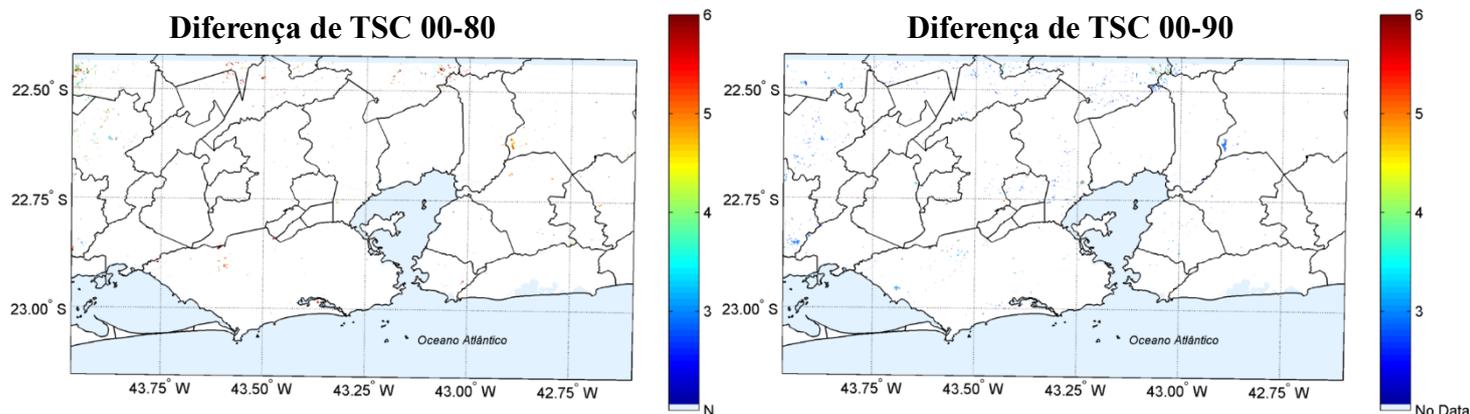


Figura 3. Valores de diferença entre a média de TSC da década de 00-80 e 00-90 da RMRJ, onde são mostrados somente os pixels onde a TSC na década de 00 é maior que nas demais décadas segundo o teste t de Student com nível de significância de 5%.

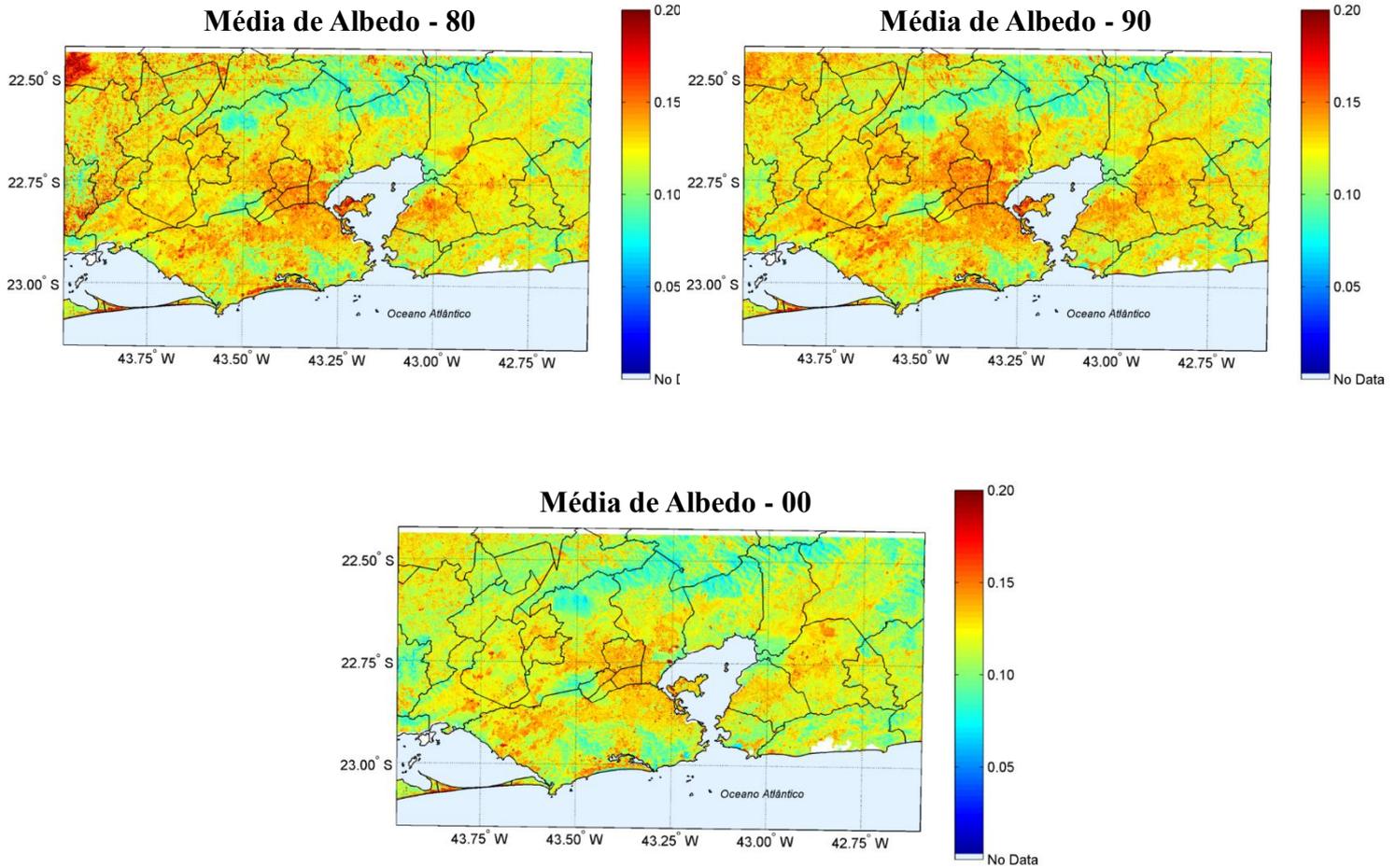


Figura 4. Como na Figura 2, mas para o albedo.

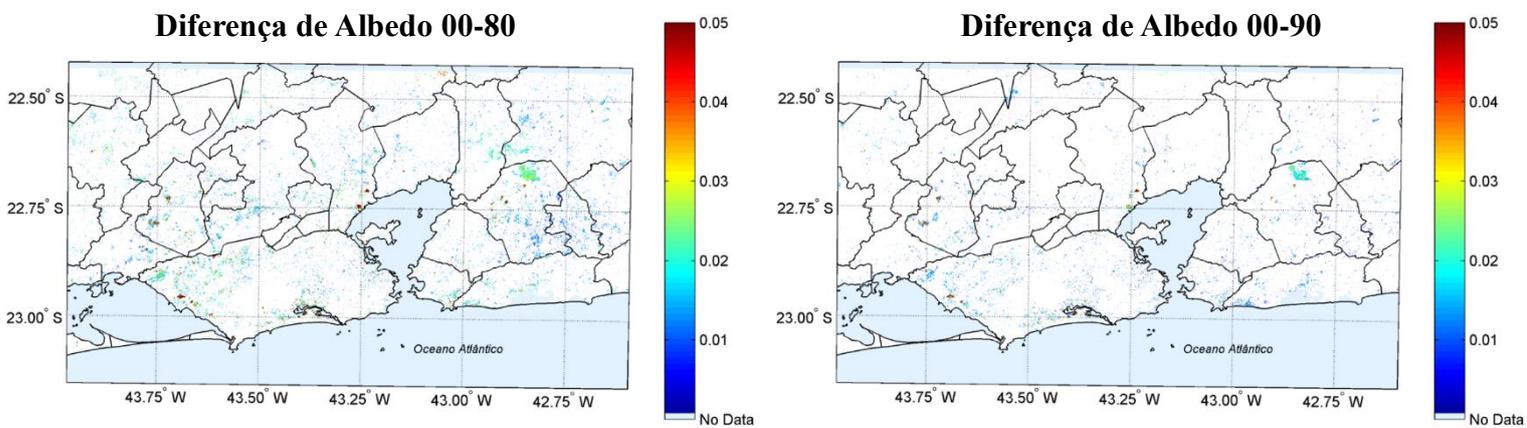


Figura 5. Como na Figura 3, mas para o albedo.

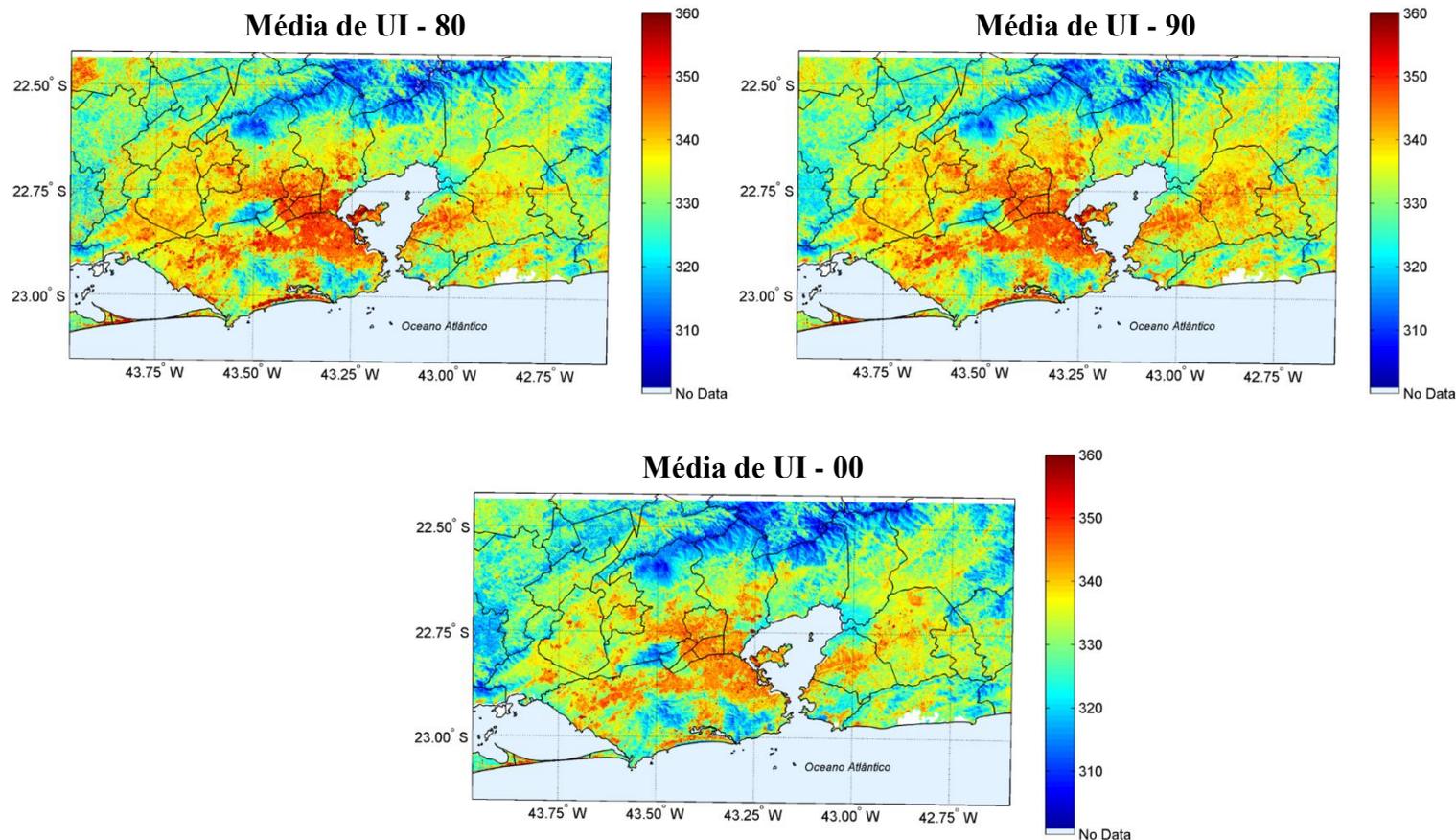


Figura 6. Como na Figura 2, mas para o UI\*modificado.

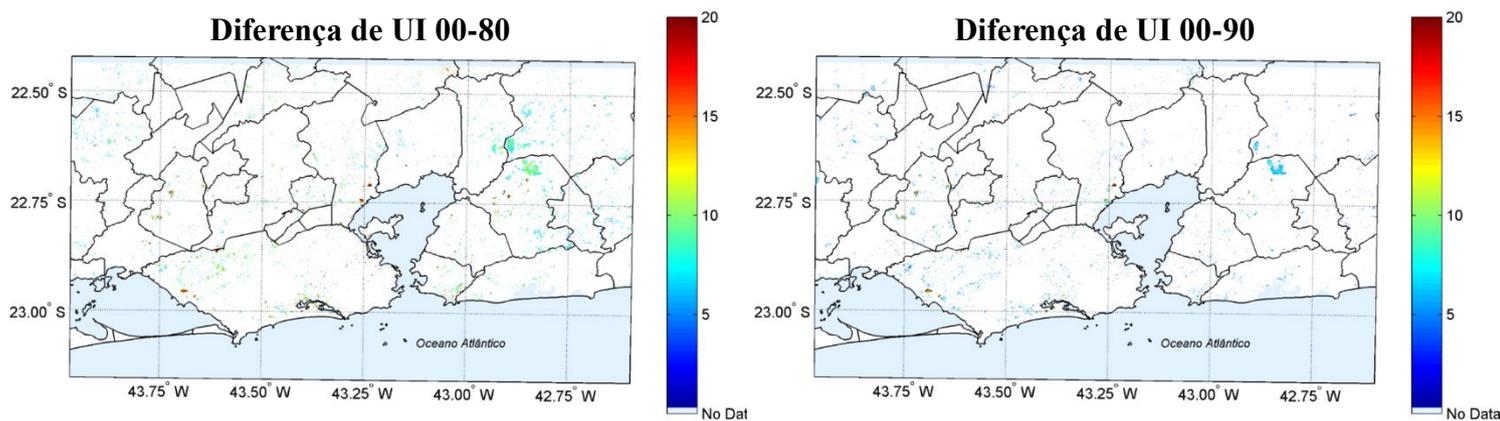


Figura 7. Como na Figura 3, mas para o UI\*modificado.

#### 4. Conclusões

O COMPERJ é uma área piloto importante onde é possível verificar o desempenho dos diferentes parâmetros em indicar o processo de urbanização. Com base nos resultados obtidos para a região é possível propor novas metodologias para melhor descrever essa caracterização de uma forma mais eficaz.

A ampliação do estudo para a RMRJ é um desafio, pelo fato de se ter inicialmente uma área limitada como base e depois expandi-la para uma região maior, onde o processo de urbanização é diferente e os tipos de cobertura do solo também. Entretanto, foi possível observar núcleos bem claros de mudanças com base tanto no albedo quanto no UI\*modificado.

A divisão temporal por sua vez, se mostrou adequada ao menos para a identificação de grandes mudanças (e.g., COMPERJ). Contudo, essa divisão pode ser otimizada de acordo com o processo de interesse, isto é, tendo-se identificado inicialmente grandes mudanças pode-se proceder uma análise mais minuciosa dessas áreas.

O parâmetro UI\*modificado mostrou-se mais eficiente para o monitoramento da urbanização na RMRJ.

### **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 e E-26/201.521/2014).

### **Referências Bibliográficas**

Belém, L. B. C, Peres, L. F., Lucena, A. J., França, J. R. A., Rotunno Filho, O. C. Transformações espaciais no COMPERJ Utilizando Dados de Sensoriamento Remoto In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2015, João Pessoa.

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.

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.

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.

Souza, J.D., Silva, B.B. Correção atmosférica para temperatura da superfície obtida com imagem TM: Landsat 5. *Revista Brasileira de Geofísica*, v.23, p.349-358, 2005.

Van de Griend., Owe. On the Relationship Between Thermal Emissivity and the Normalized Difference Vegetation Index for Natural Surfaces. *International Journal of Remote Sensing*, v14, p. 1119-1131, 1993.