

## Mudança no uso e cobertura do solo e sua influência na temperatura de superfície: um estudo na Região Metropolitana do Rio de Janeiro

Daniel Firmo Kazay<sup>1</sup>  
Andrews José de Lucena<sup>1</sup>  
Otto Corrêa Rotunno Filho<sup>1</sup>  
Leonardo de Faria Peres<sup>1</sup>  
José Ricardo de Almeida França<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratório de Recursos Hídricos e Meio Ambiente / PEC / COPPE / UFRJ  
Caixa Postal 68540, CEP 21-945-970 – Rio de Janeiro - RJ, Brasil  
dfkazay@poli.ufrj.br  
lucenageo@yahoo.com.br  
jricardo@lma.ufrj.br  
leonardo.peres@igeo.ufrj.br  
ottorotunno@oi.com.br

**Abstract.** The strong rhythm of urbanization that the world is seeing in the last years has interfered in the biogeochemical cycles of the planet. One of the principal reasons for this influence is the change in the Earth's energy balance, that interferes, both the hydrologic cycles and the atmosphere circulation, as the life quality of population with increases or decreases of temperature. The aim of the present work is to measure the variation in temperature caused by the change of the soil use, principally over urban areas. The study area chosen was the Metropolitan Region of Rio de Janeiro (MRRJ) and Landsat 5 images over the region for the years 1988 and 2007 were analyzed. The methodology is based on creating and comparing image of soil use and land-surface temperature for both dates. The "Bhattacharya" method present in the computational code SPRING 4.3 was utilized for the soil use classification in the present study. After the proposed inter-temporal classification, the results were compared and a map of land-cover change was generated. In addition, the land-surface temperature map was estimated based on a mono-window channel algorithm used to correct the atmospheric effects on band 6 of the sensor TM of the satellite Landsat 5. The results indicate a urbanization in the north and west regions of Rio de Janeiro, in the municipalities of the Baixada Fluminense, and also in the axis Niterói – Itaboraí. The mean temperatures in these areas that suffered urbanization presented alterations between 1988 and 2007 indicating the effective interference of the soil use in the land-surface temperature regulation.

**Palavras-chave:** Mudanças no uso do solo, Temperatura de superfície, Ilhas de calor, Change in soil use, Surface temperature, Heat island.

### 1. Introdução

Uma das principais preocupações mundiais é mensurar os possíveis impactos ambientais causados pelo crescimento dos espaços urbanos e como essas alterações afetam a qualidade de vida da população. Para que a mensuração seja completa, é necessário conhecer os ciclos biogeoquímicos, suas interrelações e quais são os mais importantes mecanismos para a manutenção do sistema ambiental (Odum, 1988). Inicialmente, é preciso observar as mudanças nesses regimes com a urbe instalada e, posteriormente, propor metodologias, modelar a situação real e, adicionalmente, simular cenários potenciais e futuros.

Um dos fatores determinantes dos transportes de massa é a energia, o que demanda o estudo de sua variação com vistas a compreender o comportamento de variáveis hidrometeorológicas e ambientais. Sob a ótica da qualidade de vida dos habitantes, o estudo do balanço de energia mostra-se essencial, já que um excesso ou falta de energia significa um aumento ou diminuição na temperatura média da região. Estudos nessa direção foram conduzidos, por exemplo, por meio de emprego do Modelo SEBAL (Bastianssen, 1995; Nicácio, 2008), no entanto, essas pesquisas não tratam de ambientes urbanos, como discutido por Masson (2000) e Oke et al (1999).

Um dos fenômenos que chama cada vez mais a atenção da sociedade diz respeito à ilha de calor, que é “*um oásis inverso, onde o ar e as temperaturas da superfície são mais quentes do que as áreas rurais circundantes*” (Gartland, 2010: 09). Muito se tem avançado acerca dos fatores físicos que determinam ou influenciam a ilha de calor urbana (Voogt e Oke, 2003), dentre os quais são mais evidentes a disposição geométrica da cidade (Lemonsu et al, 2004), o albedo, a quantidade de umidade do ar, as reações de combustão (Taha, 1997) responsáveis pelo o superávit do balanço energético nas cidades.

Uma das áreas do conhecimento utilizadas para estudar esse fenômeno é o sensoriamento remoto, que permite uma abordagem espaço-temporal dos fenômenos físicos na área de estudo. Trabalhos anteriores dedicaram-se a explorar a análise de ilhas de calor via tecnologia de imagens de satélite (Rao, 1972; Gallo et al, 1995). Lucena et al (2010) e Kazay et al (2010 a) têm desenvolvido estudos nesta vertente para a RMRJ, considerando a aplicação do sensoriamento remoto no mapeamento da ilha de calor urbana.

O presente trabalho, por sua vez, prioriza a análise da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ), que carece de estudos nessa temática, embora a importância da metrópole fluminense, que concentra a maioria da população estadual onde se registram altos índices de urbanização e intensas alterações no quadro natural. Mais especificamente, este trabalho busca-se analisar a influência das modificações do uso do solo da RMRJ na temperatura de superfície, mediante novos algoritmo e parametrização aplicados a imagens do sensor TM do satélite Landsat-5 que visam identificar as regiões mais quentes e mais amenas conjuntamente ao uso do solo metropolitano.

## **2. Metodologia**

Na Figura 1, esboça-se o fluxograma com as etapas do trabalho proposto para análise multitemporal de imagens Landsat adquiridas em dois anos distintos, 1988 e 2007, com vistas à avaliação conjunta da variação espaço-temporal do uso do solo e da temperatura de superfície.

### **2.1. Aquisição da imagem**

O trabalho baseou-se na análise de duas imagens do sensor TM do satélite Landsat 5, órbita ponto 217-76, referente à RMRJ, disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), relativas aos dias 22/03/1988 e 23/02/2007. A escolha das datas deu-se basicamente pelo baixo grau de cobertura por nuvens, além de que ambas correspondem à mesma estação do ano, nomeadamente o verão quando se acredita que o efeito da ilha de calor urbana seja mais intenso. Após a aquisição, as imagens foram georeferenciadas segundo o elipsóide de referência WGS84 a partir das imagens-base Geocover\_2003, compostas de dados da série Landsat (MSS, TM e ETM+) disponibilizado pelo grupo de sensoriamento remoto ESPAÇO do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro (IGEO/UFRJ).

### **2.2. Classificação do uso do solo**

O método classificador escolhido foi o Bhattacharya presente do código computacional SPRING, versão 4.3. Tal método trabalha com uma segmentação prévia da imagem consoante uma comparação com píxeis próximos. A escolha das classes também é anterior à classificação, que se dá no procedimento de treinamento do método, onde são fornecidas amostras dos usos com os quais se pretende classificar a imagem. Após esses procedimentos, o método compara os segmentos da imagem pela distância Mahalanobis, que permite, então, a produção do mapa classificado.

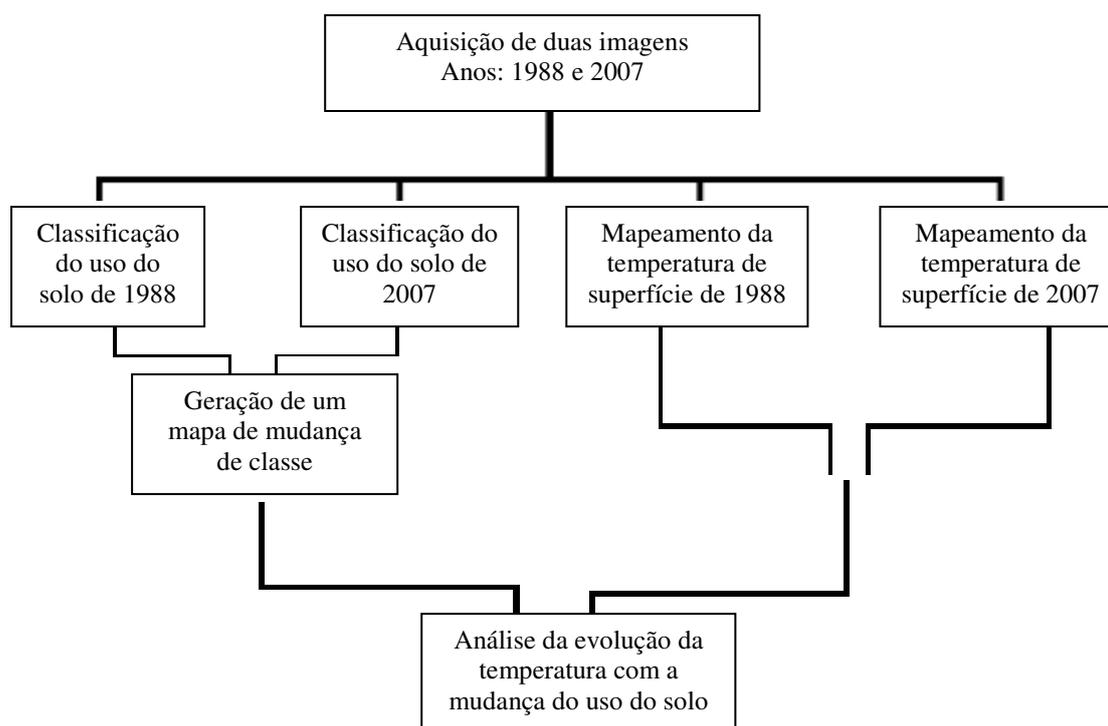


Figura 1: Fluxograma com o método adotado na execução do trabalho

A escolha do método ocorreu por uma comparação do desempenho de diversos métodos classificadores, sendo de caráter não supervisionado (K – Médias e Histograma) e supervisionado (Distância Euclidiana, Máxima Verossimilhança e Bhattacharya). A partir de uma amostra representativa da imagem denominada como imagem verdade, foram identificadas, visualmente, as classes: urbano, urbano de baixa densidade, água, vegetação e solo exposto. Após o processo de classificação, as imagens foram comparadas à imagem verdade segundo os índices de Exatidão Global e Kappa (Oliveira, 2009). O método que obteve os melhores resultados foi o Bhattacharya com o índice Kappa de 0,73 (Kazay et al, 2010b).

### 2.3. Geração de um mapa de mudança de classe

A partir da superposição dos dois mapas classificados, foi possível criar uma imagem que representasse a transição no uso do solo no período entre 1988 a 2007, em cada píxel da imagem.

### 2.3. Mapeamento da temperatura de superfície

Para a extração da temperatura de superfície foi realizado a calibração radiométrica da banda 6, onde os valores de números digitais foram convertidos em radiância e em temperatura de brilho com base nos coeficientes de calibração fornecidos por Chander e Markham (2003). Posteriormente, os valores de temperatura de brilho foram corrigidos atmosféricamente utilizando-se um algoritmo mono-canal e a emissividade da superfície foi levada em conta com base no índice de vegetação por diferença normalizada conforme a metodologia adotada por Lucena *et al.* (2010). O emprego da correção atmosférica é de fundamental importância nos estudos da ilha de calor urbana, tendo em vista que diferentes trabalhos nesta vertente apenas consideram a temperatura de brilho, a qual não considera os

parâmetros atmosféricos envolvidos e a emissividade da superfície que podem interferir significativamente na estimativa da temperatura da superfície.

#### 2.4. Análise da evolução da temperatura com a mudança do uso do solo

Na seqüência do trabalho, buscou-se mensurar qual foi a interferência da mudança no uso do solo na temperatura. Para tanto, foi elaborada uma tabela de médias com base na temperatura em 1988 e na temperatura em 2007 nas regiões onde foram detectadas mudanças de classe e nas regiões onde não houve mudanças de classe.

Em especial, um enfoque foi dado na alteração da temperatura onde houve mudança da classe “urbano de baixa densidade” para “urbano”, já que essa transição vem ocorrendo de forma abrupta nas regiões metropolitanas brasileiras, como é o caso da RMRJ. Outra transição também privilegiada foi da classe “vegetação” para classe “urbano de baixa densidade” ou “urbano”. Essas alterações na temperatura em áreas que sofreram transições de classe foram comparadas àquelas que ocorreram em regiões que permaneceram estacionárias no mapa, discriminadas, por exemplo, como transição “urbano” – “urbano”.

### 3. Resultados

#### 3.1. Classificação e modificação do uso do solo

A classificação das imagens de 22/03/1988 e 23/02/2007 gerou, respectivamente, a figura 2 e 3. Na figura 2, detalha-se o mapa de cobertura e uso do solo de 1988, enquanto, na figura 3, o de 2007.

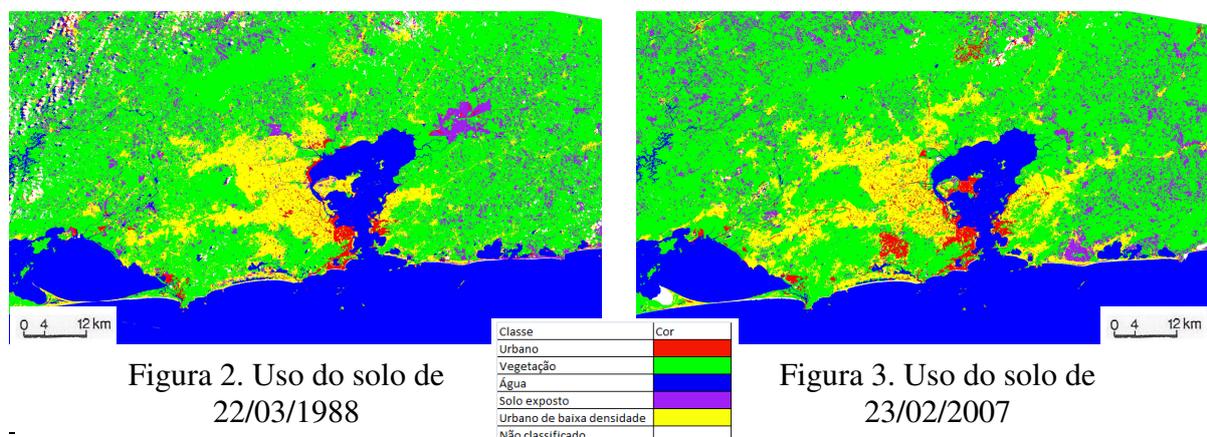


Figura 2. Uso do solo de 22/03/1988

Figura 3. Uso do solo de 23/02/2007

Para a análise da transição de classe, é importante observar a porcentagem de cada classe em cada imagem, vista nas tabelas 1 e 2, enquanto a superposição dos dois mapas gerou a tabela 3 com a transição de classes.

Tabela 1. Porcentagem das classes em 22/03/1988 (sem água)

Classe	Porcentagem
Urbano	1,83
Vegetação	70,18
Solo exposto	9,76
Urbano de baixa densidade	14,25
Não classificado	4,00

Tabela 2. Porcentagem das classes em 23/02/2007 (sem água)

Classe	Porcentagem
Urbano	2,74
Vegetação	70,50
Solo exposto	10,21
Urbano de baixa densidade	14,41
Não classificado	2,13

Tabela 3. Percentagem das transições de classes entre 1988 e 2007 (sem água – água)

<b>Mudança de classe</b>	<b>Percentual (%)</b>	<b>Mudança de classe</b>	<b>Percentual (%)</b>
Urbano - Urbano	0,75	Solo exposto – Vegetação	6,08
Urbano - Vegetação	0,53	Solo exposto – Água	0,03
Urbano - Água	0,10	Solo exposto - Solo exposto	2,53
Urbano - Solo exposto	0,10	Solo exposto - Urbano de baixa densidade	0,75
Urbano - Urbano de baixa densidade	0,30	Solo exposto - Não classificado	0,08
Urbano - Não classificado	0,03	Urbano de baixa densidade - Urbano	1,29
Vegetação - Urbano	0,49	Urbano de baixa densidade - Vegetação	3,33
Vegetação - Vegetação	56,49	Urbano de baixa densidade – Água	0,05
Vegetação - Água	0,27	Urbano de baixa densidade – Solo exposto	0,83
Vegetação - Solo exposto	6,04	Urbano de baixa densidade - Urbano de baixa densidade	8,38
Vegetação - Urbano de baixa densidade	4,69	Urbano de baixa densidade - Não classificado	0,10
Vegetação - Não classificado	0,79	Não classificado – Urbano	0,03
Água - Urbano	0,10	Não classificado – Vegetação	2,70
Água – Vegetação	0,96	Não classificado – Água	0,10
Água - Solo exposto	0,15	Não classificado - Solo exposto	0,53
Água - Urbano de baixa densidade	0,08	Não classificado - Urbano de baixa densidade	0,15
Água - Não classificado	0,71	Não classificado - Não classificado	0,42
Solo exposto – Urbano	0,08		

Pela observação dos dois mapas (figuras 2 e 3) e das tabelas 1, 2 e 3, pode-se perceber, no ano de 1988, uma concentração da classe “urbano” na zona sul e no centro do Rio de Janeiro e no centro de Niterói, além de uma expansão desta para Ilha do Governador e Jacarepaguá em 2007. A principal classe transformada em “urbano” foi a “urbano de baixa densidade”.

Em 1988, a classe “urbano de baixa densidade” ocorreu, principalmente, nas regiões da Barra da Tijuca, Bangu, Nova Iguaçu, Jacarepaguá e São Gonçalo. Em 2007, essa classe expandiu-se em Sepetiba na Zona Oeste carioca e em Itaguaí no extremo oeste da RMRJ e no eixo Niterói – Itaboraí e diminuiu em Jacarepaguá e na Ilha do Governador; os territórios onde houve aumento dessa classe pertenciam, majoritariamente, à classe “vegetação”. A classe “vegetação” foi presente em todo o entorno da cidade em ambas as datas.

As mudanças de classe “vegetação” para “solo exposto” e de “solo exposto” para “vegetação” ocorreram em diversas partes do mapa sem uma tendência preferencial. Tal fato dá-se, em grande parte, em função de que muitas áreas do mapa são de uma antiga ocupação agrícola, que alterna tempos de solo exposto com tempos de área vegetada.

A classe “não classificado” interferiu bastante no resultado, porém não possui um significado físico claro, já que está relacionada à percepção estatística da imagem pelo método classificador.

A análise da temperatura foi conduzida nas áreas que sofreram as mudanças de classe “vegetação” para “urbano de baixa densidade”, “vegetação” para “urbano”, “urbano de baixa densidade” para “urbano” e “urbano” para “urbano”, mostradas na Figura 5.

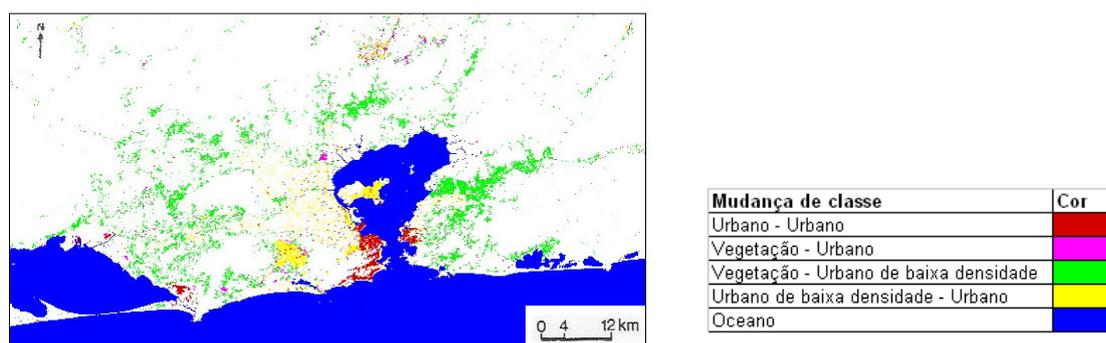


Figura 5. Mapa das transições de uso do solo

### 3.2. Mapeamento da temperatura de superfície

O mapeamento da temperatura de superfície de ambos os dias resultou nas imagens representadas nas Figuras 6 e 7. Pela análise visual da imagem de 1988, observa-se uma predominância de temperaturas mais altas no Centro, na zona norte e partes da zona oeste carioca, como Bangu e Jacarepaguá, em cidades da baixada fluminense como Duque de Caxias, São João de Meriti e Belford Roxo, e em Niterói a leste da Baía de Guanabara. As regiões mais frias localizaram-se nos três maciços da cidade do Rio de Janeiro, na serra do Mar e nas cidades no extremo leste da região metropolitana, Maricá e Tanguá. Em 2007, percebe-se um aumento generalizado das temperaturas de superfície, porém concordando com a disposição de temperaturas da imagem de 1988.

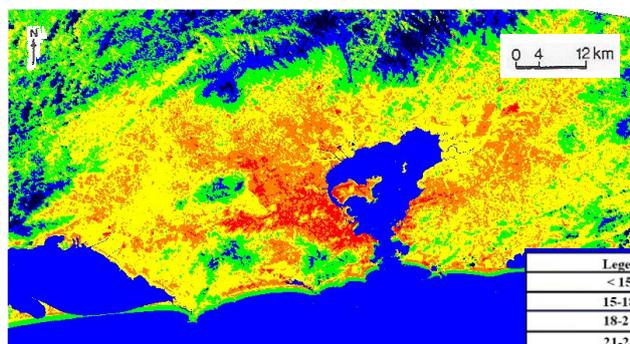


Figura 6. Mapeamento da temperatura de superfície de 22/03/1988

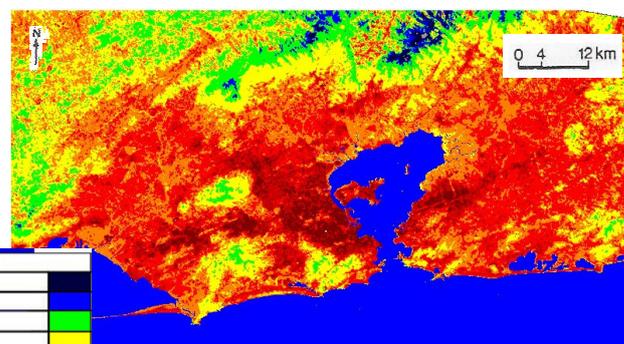


Figura 7. Mapeamento da temperatura de superfície de 23/02/2007

As duas imagens-cenas estiveram sob ação do Anticiclone do atlântico Sul favorecendo a intensa radiação solar em condições de estabilidade atmosférica com céu claro e calmaria. Contudo, em 2007 tais condições eram mais agudas, conforme visualizadas nas cartas sinóticas da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil e pelos dados de radiossondagem do aeroporto do Galeão, o que corrobora para as temperaturas bem mais elevadas no verão de 2007.

### 3.3. Configuração espaço-temporal dos dados de temperatura conforme as mudanças de classe

Nas regiões de interesse, observam-se médias de temperatura discriminadas na tabela 4. A tabela 4 indica uma tendência de aumento na temperatura independente da classe. Adicionalmente, percebe-se uma alteração mais acentuada nas mudanças de classe “urbano

para urbano” e “urbano de baixa densidade para urbano”. Esse aumento privilegiado pode estar associado à heterogeneidade dessas classes, tendo em vista que a diversidade e mistura dos materiais de pavimentação e da cobertura das casas e edifícios apresentam propriedades térmicas extremas, corroborando para um gradiente térmico tão intenso entre um período e outro, assim como a classe “urbano” quando ausente de corpos vegetais o gradiente térmico tende a elevar-se bem mais. Quanto às mudanças “vegetação para urbano” e “vegetação para urbano de baixa densidade”, por se localizarem nas proximidades de áreas vegetadas, este fato atribuiu uma diferença um pouco menor entre 1988 e 2007.

Tabela 4. Média da temperatura nas regiões de interesse

Mudança de classe	Média de temperatura em 1988(°C)	Média de temperatura em 2007 (°C)
Urbano - Urbano	32,5	40,2
Vegetação - Urbano	30,4	36,1
Vegetação - Urbano de baixa densidade	31,7	38,6
Urbano de baixa densidade - Urbano	32,7	41,3

#### 4. Conclusões

Os resultados mostraram que a RMRJ sofreu modificações em seus usos e coberturas do solo no período entre 1988 a 2007, sendo algumas de origem antrópica e outras naturais. Sobre as alterações de natureza antrópica, estas ocorreram tanto em espaços rurais, como em espaços urbanos, modificando bastante a paisagem.

A temperatura mostrou-se influenciada pelo uso e cobertura do solo, além de outros fatores, como intensidade da radiação solar e altitude. As classes “urbano” e “urbano de baixa densidade” concentraram as temperaturas mais elevadas, enquanto a classe “vegetação” e “água”, as mais baixas, justificando o papel da urbanização na elevação das temperaturas.

A observação da temperatura nas áreas onde houve transição de classe mostrou que as áreas recém desflorestadas ainda sofrem bastante influência da vegetação, fazendo sua temperatura não variar muito, ao contrário das áreas urbanizadas já consolidadas.

O algoritmo de estimativa de temperatura de superfície mostrou-se importante por considerar as correções atmosféricas necessárias, ao contrário da utilização apenas da temperatura de brilho, que não pondera os principais efeitos da atmosfera.

#### 5. Agradecimentos

O primeiro autor agradece a bolsa concedida pelo Programa de Educação Tutorial (PET CIVIL UFRJ – Mec/Sesu), enquanto o segundo autor registra o reconhecimento a FAPERJ mediante bolsa de doutorado concedida para a realização do presente trabalho. Agradecimentos extensivos são dedicados ao Programa de Engenharia Civil da COPPE/UFRJ pelo apoio do Laboratório de Recursos Hídricos e Meio Ambiente, ao Departamento de Meteorologia – IGEO/UFRJ, e ao INPE, mediante dados e infraestrutura disponibilizadas por essas instituições para a realização desta pesquisa. Finalmente, reconhece-se o apoio do CNPq, por meio do projeto PROSUL – Processo 490684/2007-6, que trata de técnicas de sensoriamento remoto aplicadas ao monitoramento hidrológico e de mudanças climáticas.

#### 6. Referências Bibliográficas

Bastiaanssen, W. G. M. Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain. Ph.D. Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, Netherlands.1995;

- Chander, G., Markhan, B. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 41, n. 11, p. 2674 – 2677, 2003.
- Gallo, K. P., Tarpley, J. D., McNab, A. L. et al. “Assessment of urban heat islands: a satellite perspective”, **Atmospheric Research**, vol. 37, pp. 37-43, 1995.
- Gartland, L. **Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 248p;
- Kazay, D. F.; Lucena, A. J.; Rotunno Filho, O. C.; França, J. R. A.; Peres, L. F. A utilização do sensoramento remoto nos estudos do ambiente urbano: a ilha de calor na região metropolitana do Rio de Janeiro. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), 62, 2010, Natal. **Anais...** Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, 2010. Artigos p. 5132. CD-ROM, On-line. Disponível em: <<http://www.sbpcnet.org.br/site/publicacoes/mostra.php?id=530&secao=335>>. Acesso em: 17 nov. 2010.
- Kazay, D. F.; Lucena, A. J.; Rotunno Filho, O. C.; França, J. R. A.; Peres, L. F. Sensoriamento remoto aplicado à classificação da cobertura e uso do solo na região metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ). In: Jornada Giulio Massarani de Iniciação Científica, Artística e Cultural (JIC), 32, 2010, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, UFRJ, 2010. Artigos p. 216-217. CD-ROM, On-line. Disponível em: <<http://www.pr2.ufrj.br/site/index.php/jicac/programacao>>. Acesso em: 17 nov. 2010.
- Lemonsu, A., Grimmond, C. S. B. and Masson, V. Modeling the Surface Energy Balance of the Core of an Old Mediterranean City: Marseille, **Journal of Applied Meteorology**. 43, 312–327, 2004.
- Lucena, A. J.; Rotunno Filho, O. C.; França, J. R. A.; Peres, L. F. The study of the urban heat islands in the metropolitan region of Rio de Janeiro. **The Meeting of the Americas (AGU). Foz do Iguaçu/PR**. 2010.
- Lucena, A. J.; Rotunno Filho, O. C.; França, J. R. A.; Peres, L. F. Aplicação da correção atmosférica para imagens de satélite Landsat-TM. **XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia**. Belém. 2010.
- Masson, V. A Physically-based Scheme for the Urban Energy Budget in Atmospheric models, **Boundary-Layer Meteorology**. vol. 94, pp. 357–397, 2000.
- Nicácio, R. M. Evapotranspiração real e umidade do solo usando dados de sensores orbitais e a metodologia SEBAL na bacia do rio São Francisco. 2008. 320p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2008;
- Odum E D, **Ecologia**. Rio de Janeiro, Guanabara, 1988, 434p.
- Oke, T.R. Spronken-Smith, R.A, Jauregui E.; Grimmond, C.S.B. The energy balance of central Mexico City during the dry season. **Atmospheric Environment**, vol. 33, p. 3919-3930, 1999.
- Oliveira, G. Integração de dados HRG-SPOT5 e SRTM para espacialização de bananais em área do bioma mata atlântica no município de três cachoeiras, RS. 2009. 83p. Monografia (Graduação em Geografia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2009;
- Rao, P.K. Remote sensing of urban heat islands from an environmental satellite. **Bulletin American Meteorology Society** , vol. 53, p. 647–648, 1972.
- Taha, H.. Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat, **Energy and Buildings**, vol. 25 p. 99-103, 1997.
- Voogt, J. A., Oke, T. R. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote Sensing of Environment**, vol. 86, p. 370–384, 2003;