

Análise Multitemporal do Uso e Cobertura do Solo da Bacia Hidrográfica do Rio Iguaçu Através do Processamento de Imagens LANDSAT-5 TM

Adriano de Oliveira Vasconcelos¹

Andrews Lucena²

Otto Corrêa Rotunno Filho²

José Ricardo de Almeida França³

Leonardo de Faria Peres³

¹ Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE
Caixa Postal 68.552 - CEP 21941-972 – Rio de Janeiro - RJ, Brasil
adrianoufrj@hotmail.com

² Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE
Laboratório de Recursos Hídricos e Meio Ambiente
Caixa Postal 68540, CEP 21-945-970 – Rio de Janeiro - RJ, Brasil
lucenageo@yahoo.com.br
ottorotunno@oi.com.br

³ Universidade Federal do Rio de Janeiro - IGEO
Departamento de Meteorologia
Av. Brigadeiro Trompowski, s/n - prédio do CCMN (Bloco G)
Campus Ilha do Fundão - Cidade Universitária
CEP 21.949-900 Rio de Janeiro-RJ
jricardo@lma.ufrj.br
leonardo.peres@igeo.ufrj.br

Abstract. This study aims to examine the evolution of the land use and land cover and its impact on land surface temperature in the basin of the Iguaçu River, Baixada Fluminense, Rio de Janeiro State, by means of remote sensing. The analysis was given between two periods, 1991 and 2010, and made a map of land cover and soil and surface temperature. The use classification and land cover was made by the method Maximum Likelihood classifier and set four ranges: water, urban area, forest and undergrowth vegetation. The thermal map was produced from conversion of digital number of band 6 of Landsat-5 to radiance and later converted into brightness temperature and corrected for land surface temperature. The results show that the class urban area increased from 1991 to 2010, while class undergrowth vegetation decreased markedly. Class Forest increased almost 10% between both years. Surface temperatures higher were located in urban areas, while colder temperatures were located in the forest class. In 2010, with the expansion and contraction of the urban area of vegetation, surface temperatures are higher not only located in urban areas, but also has broadened its spatial distribution, following the advance of urban sprawl and urban density occurred in the period mentioned.

Palavras-chave: surface temperature, remote sensing, maximum likelihood classifier, temperatura da superfície continental, sensoriamento remoto, classificação máxima verossimilhança.

1. Introdução

O sensoriamento remoto desponta como um importante instrumento na análise ambiental, seja para o monitoramento e detecção de mudanças, seja para o mapeamento do espaço geográfico (Rosa, 2007) auxiliando nos processos de decisão que envolve a gestão e o planejamento.

O estudo da paisagem urbana é uma importante aplicação do sensoriamento remoto à análise ambiental, onde se têm privilegiado as pesquisas da mudança no uso e cobertura do solo associada ao desmatamento, à urbanização e a grandes empreendimentos, ocasionando impactos no campo dos recursos hídricos e da temperatura (Florenzano, 2005).

No campo da temperatura, multiplicam-se os estudos associando e correlacionando a urbanização com a elevação das médias térmicas, comumente denominado na literatura como *ilhas de calor urbana*, que por sua vez são produto das transformações ocorridas no espaço físico natural, alterando bruscamente o balanço de energia do ambiente urbano (Voogt e Oke, 2003; Grimmond, 2006).

A Baixada Fluminense, importante setor geográfico da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, vem experimentando nas últimas quatro décadas um crescimento urbano acentuado, especialmente na Bacia hidrográfica do rio Iguaçu, onde concentra os principais eixos rodoviários, como a BR-101, BR-040, RJ-116, que oferecem acesso à capital Rio de Janeiro.

Neste artigo, a área de estudo escolhida para análise é a Bacia Hidrográfica do rio Iguaçu (Figura 1), Baixada Fluminense. A bacia tem cerca de 732,48 Km² e cobre os municípios de Mesquita e Belford Roxo e parte dos municípios de Nova Iguaçu, Duque de Caxias, São João de Meriti, Nilópolis e Rio de Janeiro. O Rio Iguaçu deságua ao norte da Baía de Guanabara, sendo um importante contribuinte da Bacia da Baía de Guanabara, um dos principais corpos hídricos do estado do Rio de Janeiro, vítima de sérios impactos ambientais seculares.

O objetivo deste trabalho é desenvolver uma análise multitemporal da área urbana na Bacia Hidrográfica do rio Iguaçu dos anos 1991 e 2010, utilizando como suporte de validação das mudanças ocorridas, o mapa de temperatura de superfície continental da área de estudo através do processamento de dados do sensor Landsat-5 TM.

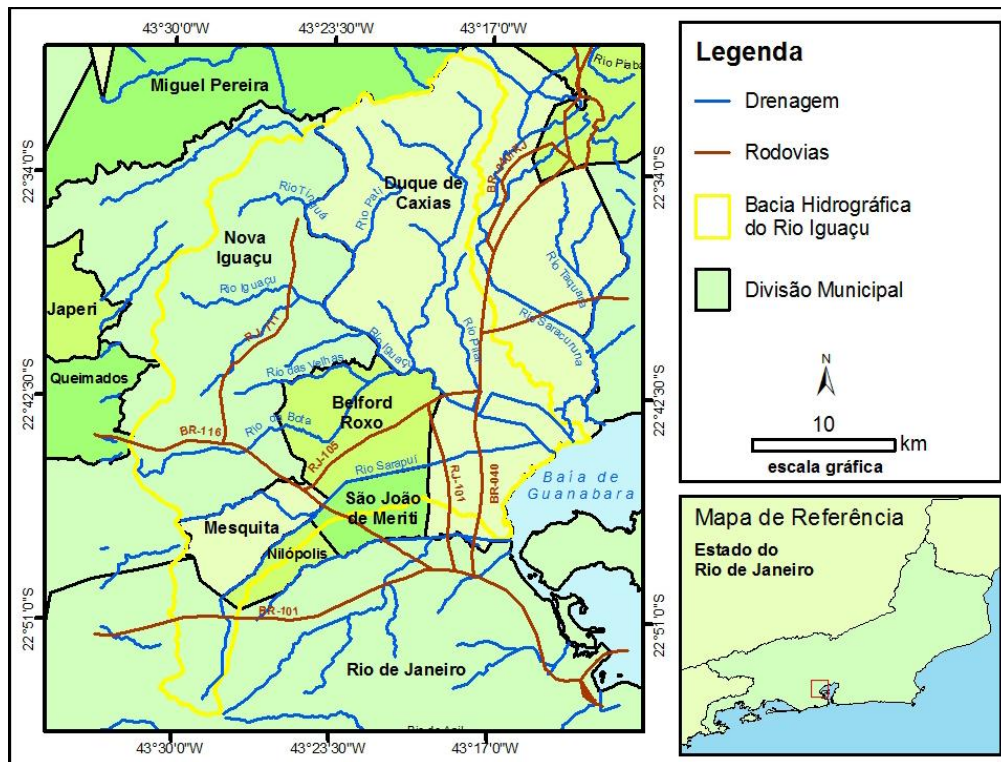


Figura 1 – Mapa de Localização da Área de Estudo

2. Metodologia de Trabalho

Duas imagens Landsat-5, referentes ao verão de 1991 (27/02) e de 2010 (15/02) foram selecionadas para análise. A escolha dessas imagens obedeceu a dois critérios: período de verão e baixa nebulosidade (inferior ou igual a 10% por quadrante).

As imagens Landsat-5 do ano de 1991 não tinha o seu gerreferenciamento compatível com as imagens Landsat-5 do ano de 2010. Para garantir que técnicas de detecção de mudança de uso e cobertura do solo tenham sucesso, é necessário que as imagens de ambos os anos estejam espacialmente sincronizadas. Para tal, utilizou-se a imagem do ano 2010 como

referência espacial para a imagem de 1991. Somou-se 15 pontos para sincronizar as imagens. O erro métrico quadrado (RMS) total foi de 0.64 pixel, variando em 0.57 pixel para o RMS(X) e 0.28 para o RMS(Y). Essa etapa de georreferenciamento foi realizada no software ENVI 4.7.

A Tabela 1 mostra as características detalhadas das imagens Landsat-5 utilizadas no presente estudo. A banda espectral termal (Banda 6) do Landsat-5 possui 120 metros de resolução espacial originalmente, no entanto, para integrá-la com as demais bandas, a banda 6 foi reamostrada para 30 metros de resolução espacial. Assim, o processo de classificação das imagens pode ser realizada considerando todas as 7 bandas do sensor.

Tabela 1 - Características das Imagens Utilizadas

Características	LANDSAT-5 (1991)	LANDSAT-5 (2010)
Sensor	TM	TM
Data de Aquisição	27/02/1991	15/02/2010
Horário (Brasília)	9h13min	9h52min
Órbita/Ponto	217/76	217/76
Cobertura de Nuvens	10%	10%
Bandas Espectrais	7	7
Resolução Espacial	30 metros	30 metros
Projeção	UTM, Zona 23S	UTM, Zona 23S
<i>Datum</i>	WGS-84	WGS-84

A Figura 1 ilustra as imagens Landsat-5 TM da área de estudo dos dois anos, 1991 e 2010, respectivamente. Ambas as imagens possuem nuvens, porém localizadas fora da área de estudo e, portanto não interferem na interpretação ou classificação das imagens.

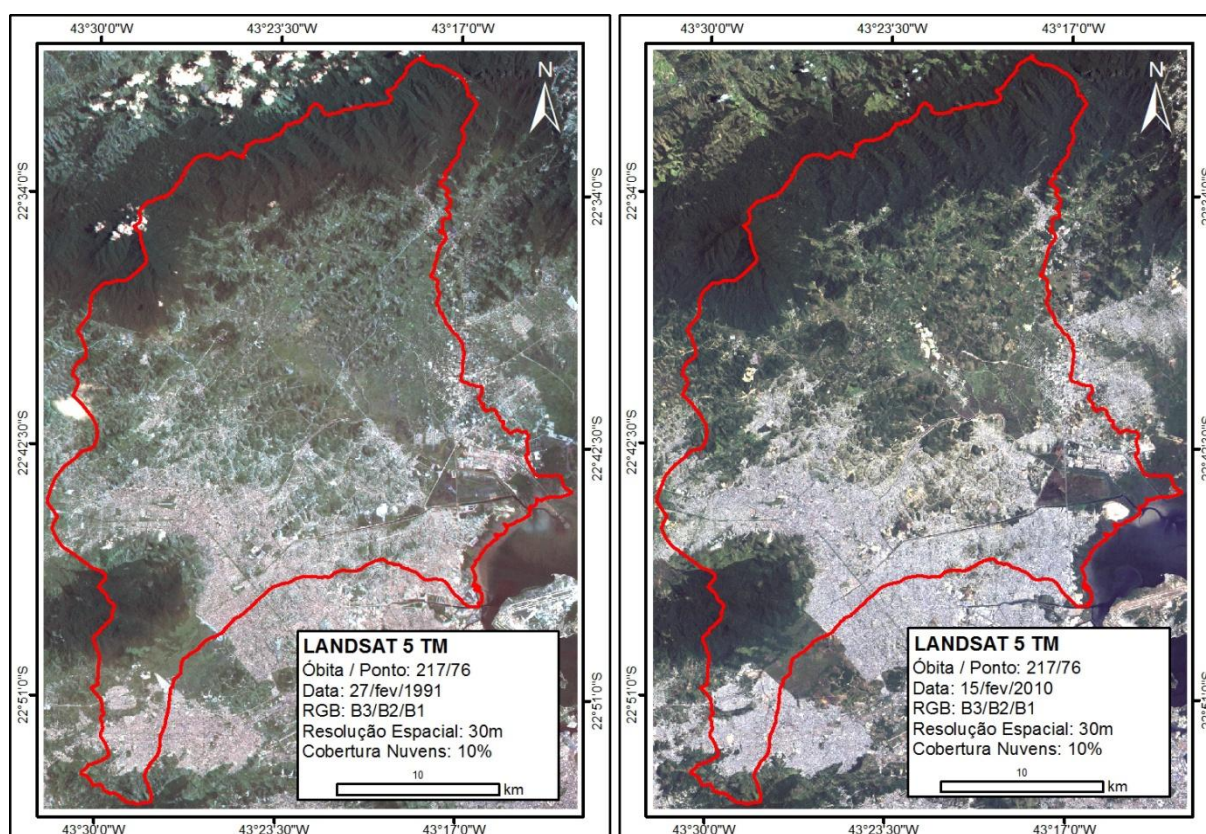


Figura 2 - Imagens Landsat-5 TM dos anos 1991 e 2010, respectivamente

Várias técnicas de classificação do uso do solo foram previamente aplicadas e analisadas na área de estudo utilizando as imagens apresentadas na Figura 2. Concluiu-se, através do coeficiente Kappa, que todos os modelos de classificação obtiveram boa resposta quanto à representatividade das classes que se deseja mapear, sendo que o algoritmo Máxima Verossimilhança alcançou melhores resultados. Isso ocorre em razão da pouca quantidade de classes que se pretende mapear, ao todo quatro classes. No presente trabalho, buscou-se adotar o método de melhor desempenho, para posteriormente realizar a detecção de mudanças entre as imagens consideradas neste estudo.

A classificação por máxima verossimilhança (MaxVer) é uma das técnicas de classificação supervisionada mais utilizadas em dados de sensoriamento remoto (Richards, 1986), Este classificador é supervisionado porque avalia a probabilidade a posteriori de um determinado pixel da imagem pertencer a uma das classes de estudo, atribuindo ao pixel a classe a qual ele tem a maior probabilidade de pertencer. Este método considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos. A distribuição de valores de reflectância em uma área de treinamento é descrita por uma função de densidade de probabilidade, desenvolvida com base na estatística Bayesana. Este classificador avalia a probabilidade de um determinado pixel pertencer a uma categoria a qual ele tem maior probabilidade de associação (INPE, 2002).

Depois de realizado as classificações das imagens 1991 e 2010, a próxima etapa consiste em detectar mudanças ocorridas neste período. Neste estudo, o termo Detecção de Mudanças é utilizado conforme definido por Hayes e Sader (2001), ou seja, como um processo de detecção de mudanças no estado de um objeto ou fenômeno por intermédio da identificação de diferenças entre dois conjuntos de imagens tomadas da mesma área em épocas distintas

E por fim, em uma etapa paralela, desenvolveu-se o mapa de temperatura de superfície para ambos os anos analisados, a qual se pretende averiguar se a resposta termal da superfície acompanha a evolução da mancha urbana ocorrida dentro da Bacia do Rio Iguaçu.

O mapa de temperatura de superfície foi elaborado a partir da extração da temperatura de brilho e posterior correção atmosférica da banda 6, cuja faixa espectral está compreendida entre 10,4 e 12,6 μm . O procedimento se deu inicialmente pela conversão de números digitais da imagem em radiância, que posteriormente foi transformada em temperatura de brilho, conforme calibração encontrada em Chander e Markhan (2003). A temperatura de brilho não fornece exatamente a temperatura da superfície continental, pois os efeitos da atmosfera inibem a temperatura real da superfície. Portanto, um algoritmo de correção atmosférica foi adotado para eliminar os efeitos atmosféricos, que considerou o papel da emissividade, da temperatura e umidade relativa do ar. Um detalhamento com a descrição deste algoritmo de correção da temperatura da superfície continental pode ser encontrado em Lucena et al (2010).

3. Resultados

O classificador MaxVer apresentou um saldo satisfatório para as imagens Landsat-5 de 1991 e 2010, representado pela Figura 3. Em uma análise visual, as classes foram bem representadas no resultado da classificação. Os limites das classes são coerentes com o observado na imagem em composição R3/G2/B1. Ressalta-se, porém que praticamente não houve influência de nuvens na área de estudo e, conseqüentemente, menos ação de sombras, o que se intui que o resultado da classificação pode ter sido mais fiel por ter menos interferência atmosférica.

É visualmente perceptível que houve expansão urbana dentro da Bacia Hidrográfica do Rio Iguaçu entre os anos de 1991 e 2010. E este avanço ocorreu sobre áreas de vegetação rasteira, a qual é mais suscetível a expansão urbana em direção ao interior da Baixada Fluminense. A Tabela 2 mostra que a classe que sofreu maior variação foi à classe “água”,

com um decréscimo de 83,76% em relação à classificação de 1991. Esta classe é muito influenciada pelas condições da maré, e, portanto este fenômeno pode ser a razão desta variação tão sensível. Em termos territoriais a classe “Vegetação Rasteira” registrou maior diferença, com uma perda de cerca de 20,5 km², o que representa uma redução de 6,61% em relação à primeira classificação.

Tabela 2 – Área de cada Classe para cada Ano

Classes	Classificação 1991 Área (km ²)	Classificação 2010 Área (km ²)	Acréscimo / Redução (%)
Água	6.903	1.121	-83.76
Floresta	179.935	195.595	8.70
Veg. Rasteira	308.877	288.454	-6.61
Área Urbana	236.755	247.301	4.45
TOTAL	732.470	732.470	-----

Foi registrada expansão territorial da classe “Floresta”, cerca de 8,70%, e a classe “Área Urbana” obteve um acréscimo de 10,5% comparado há 19 anos. Registra-se que o processo de adensamento urbano foi maior do que sua expansão territorial, ou seja, a densidade urbana assinalada pela imagem Landsat-5 de 2010 ocorreu, em grande parte, sobre a rede urbana já existente em 1991, contudo este fenômeno não foi plenamente assimilado nos resultados da classificação, pois a resolução espacial das imagens analisadas (30 metros) não é adequada para estudos em escala intra-urbana. A Figura 4 mostra apenas os locais onde houve mudança de classe. O primeiro mapa exibe as classes que foram registradas em 1991, enquanto que o segundo mostra as classes que se tornaram em 2010. Assim, observa-se a disposição espacial das mudanças ocorridas na Bacia Hidrográfica do Rio Iguçu.

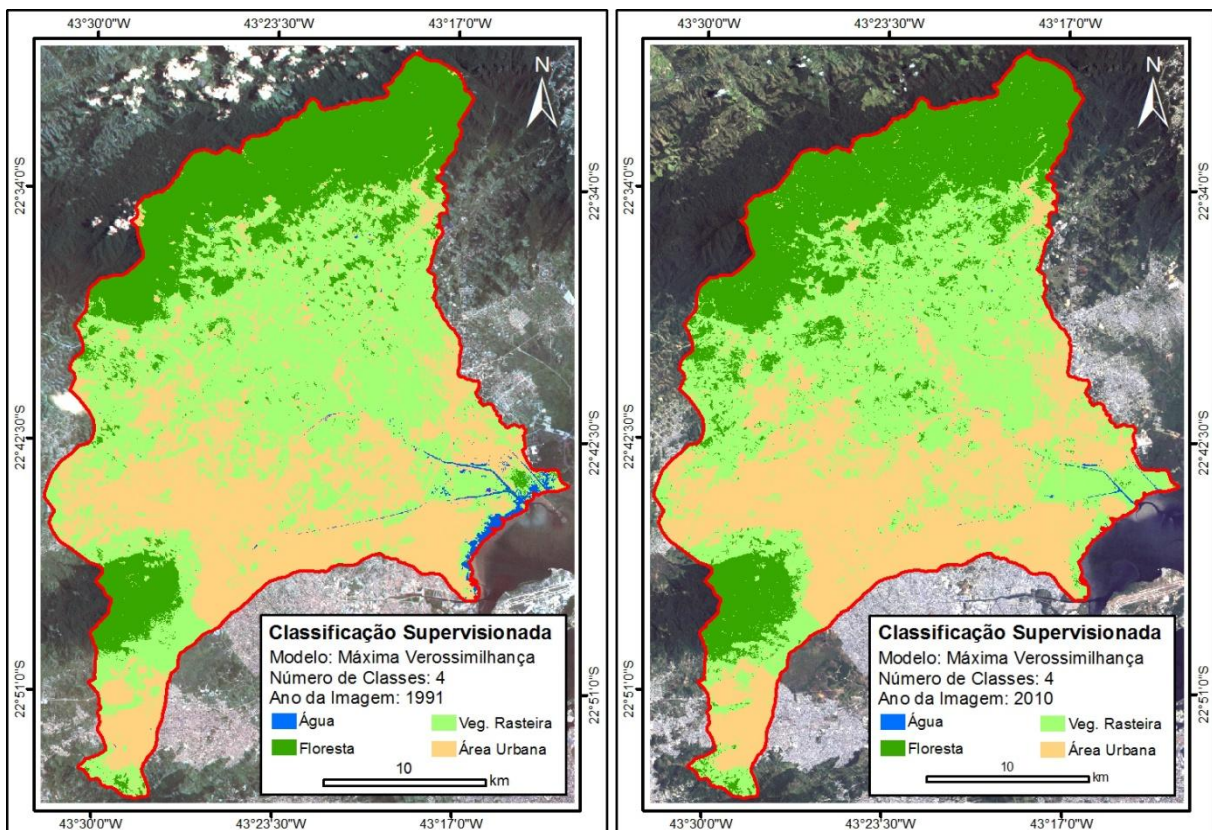


Figura 3 - Mapa de Uso e Cobertura do Solo resultante da classificação supervisionada, modelo Máxima Verossimilhança (4 classes).

No mapa termal nas duas situações de verão, as temperaturas mais elevadas estão situadas na classe “Área Urbana”, enquanto as temperaturas mais amenas estão localizadas na classe “Floresta” (Figura 5). Embora sejam duas imagens de períodos sazonais semelhantes, isto é, verão no mês de fevereiro, a temperatura da superfície continental foi extremamente mais elevada no verão de 2010, supostamente determinada por situações atmosféricas distintas ou mesmo pelas características bastante específicas das propriedades térmicas do uso e cobertura do solo nas datas em questão, mas que não será objeto de análise neste trabalho.

Em 1991 as áreas mais quentes com média térmica entre 36 e 40°C estão situadas no setor sudoeste da Bacia, ponto de interseção entre os municípios de Nova Iguaçu, Belford Roxo, Mesquita, São João de Meriti, Nilópolis e os bairros da zona norte da cidade do Rio de Janeiro, tendo todos estes em comum o eixo rodoviário da BR-116. Ao sul e sudeste da Bacia, que compreende praticamente o município de Duque de Caxias e atravessado pela rodovia BR-040, também são encontradas médias entre 36 e 40°C.

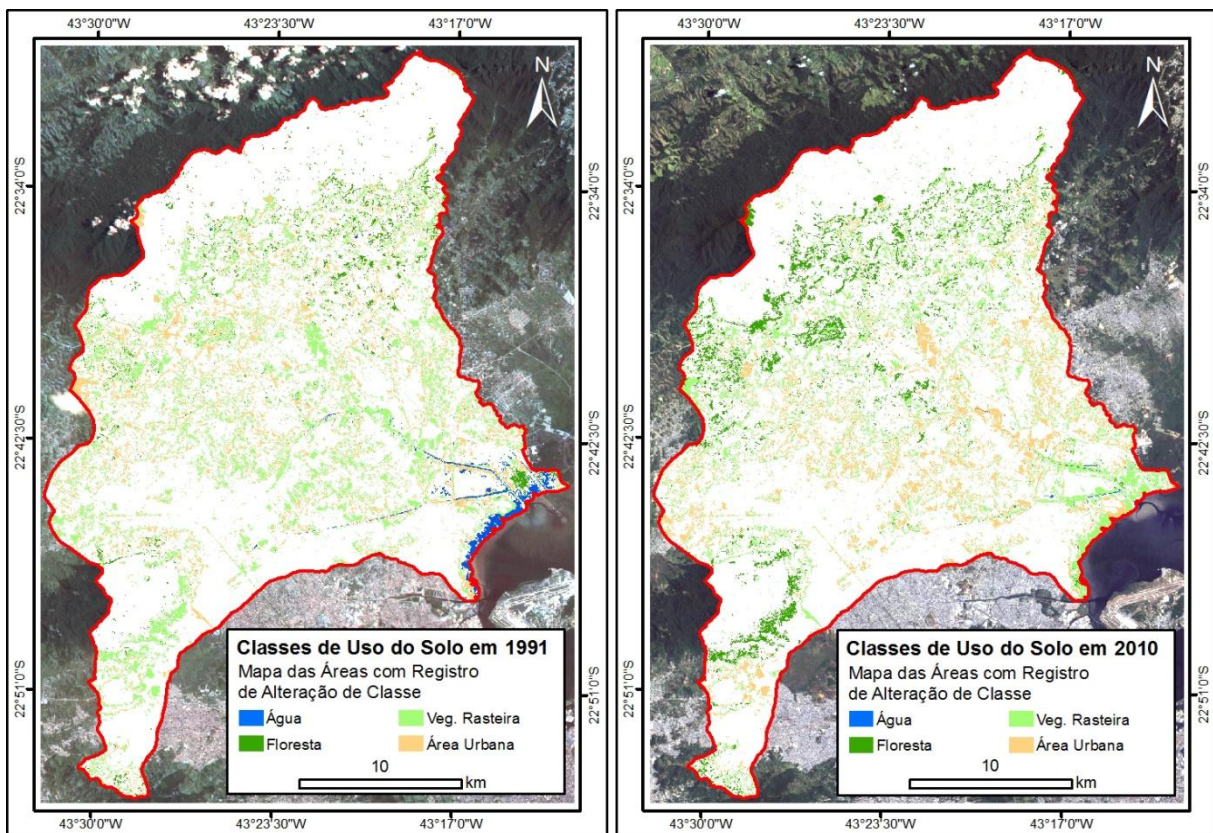


Figura 4 - Mapa dos locais onde houve registro de alteração de mudança do uso e cobertura do solo entre os anos de 1994 e 2010.

Uma extensa mancha oscilando entre a cor verde e amarela, com temperaturas entre 24 e 32°C, cobre a área central da Bacia, estabelecendo as temperaturas medianas. As temperaturas mais amenas, situadas entre 20 e 24°C, ou mesmo abaixo de 20°C localizaram-se preferencialmente ao sopé e nas encostas da Serra do Mar, ao norte, e no Maciço do Gericinó-Mendanaha, a sudoeste da região, sendo estes dois domínios morfológicos os principais centros de dispersão da rede de drenagem da Bacia do Rio Iguaçu.

Em 2010, a situação geográfica do mapa termal pouco se alterou, isto é, as áreas mais quentes e mais frias permaneceram nas mesmas áreas outrora também identificadas na imagem de 1991, entretanto, como já foi mencionada, a temperatura da superfície continental foi muito mais elevada em 2010. Da área central da Bacia em direção à porção sul, sudeste e sudoeste ocorreram uma gradação ascendente da temperatura, iniciando entre 36 e 40°C,

depois variando entre 40 e 44°C até ultrapassar a casa do 44°C, justamente a área que registrou o maior aumento da classe “área urbana” em detrimento da substituição da classe “vegetação rasteira” (Figura 4; Tabela 2).

Um enclave relativamente frio está localizado na porção sudoeste da Bacia, que corresponde ao Maciço do Gericinó-Mendanha, detendo as temperaturas entre 32 e 20°C desde o sopé ao topo do maciço. Curiosamente, segundo observação e análise da figura 5 e Tabela 2, o maciço e o seu entorno encarnam uma mudança de “vegetação rasteira” para “floresta”, sendo responsável por esta “ilha fria” em pleno *core* urbano da Bacia do rio Iguaçu.

Da parte central da Bacia em direção norte, a Figura 4 identifica pouca ou nenhuma mudança de classe, permanecendo a “vegetação rasteira” e pontos isolados de “área urbana”, quando se observa uma gradação descendente da temperatura da superfície continental, que oscilou entre 32 e 36°C, 28 e 32°C, 24 e 28°C, 20 e 28° até abaixo de 20°C.

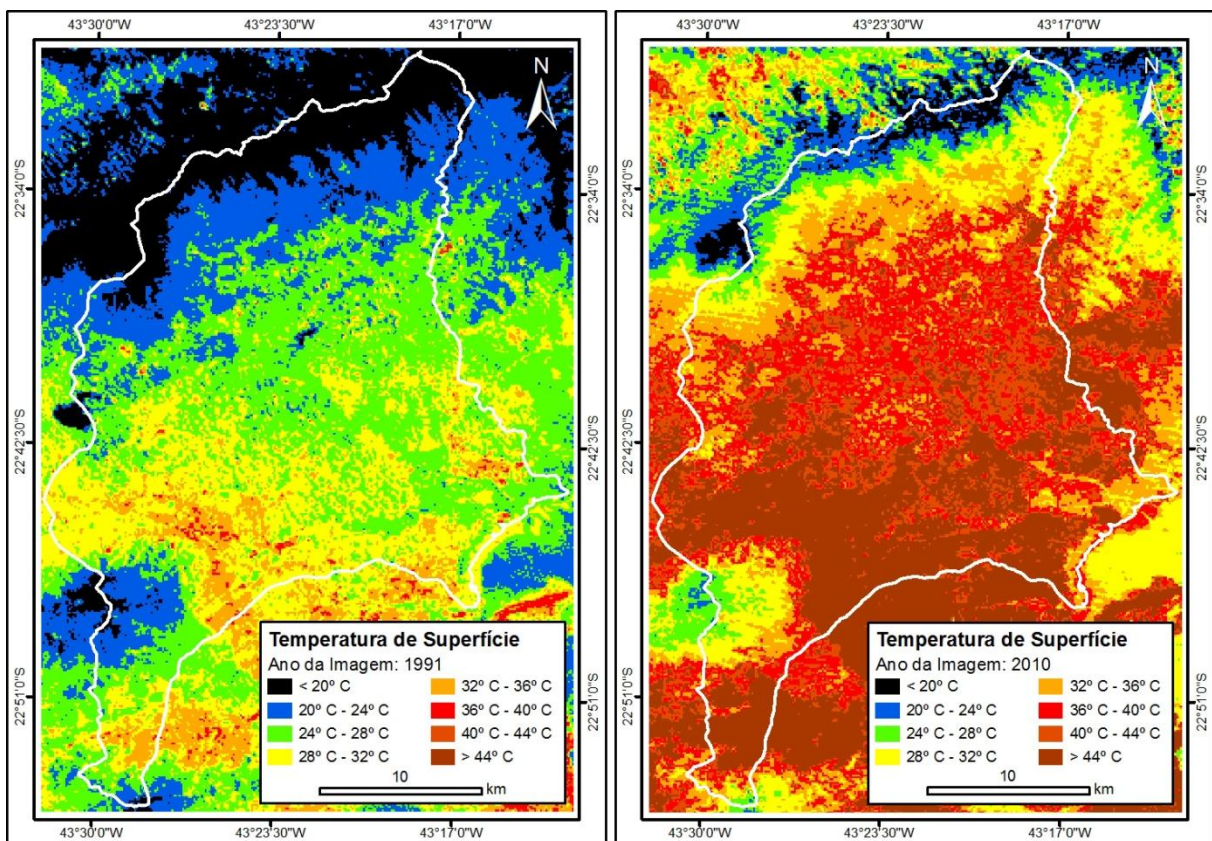


Figura 5 - Mapa da temperatura da superfície continental para a Bacia do rio Iguaçu dos dias 27/02/1991 e 15/02/2010, respectivamente.

4. Conclusões

O trabalho procurou desenvolver um método de análise multitemporal utilizando a temperatura de superfície continental como validador do comportamento espacial das classes estudadas.

A análise visual das imagens foi suficiente para concluir que houve expansão urbana ao longo dos últimos 19 anos, confirmada com os resultados de detecção de mudanças. A classe que mais sofreu alterações sob critério territorial foi a “Vegetação Rasteira”, com redução de quase 20,5 km², seguido pela classe “Área Urbana” com expansão de quase 10,5 km². Este número da classe “Área Urbana” pode estar subestimado. Isso porque este estudo não contempla o grau de adensamento urbano ocorrido entre 1991 e 2010, pois a resolução

espacial das imagens Landsat-5 não é apropriada para estudos intra-urbanos. No entanto, esse fenômeno foi captado pelas imagens termais do Landsat-5.

O mapeamento da temperatura por meio da banda termal do Landsat-5, além de ratificar a importância de adotar um algoritmo para obtenção da temperatura da superfície continental, validou a expectativa inicial existente de que as áreas urbanas tendem a promover temperaturas mais elevadas. Esta hipótese foi comprovada na observação de ambos os mapas, 1991 e 2010, que no caso desta última data foi bem mais evidente em razão da expansão da área urbana, detectada no mapa de uso e cobertura do solo.

Pode-se concluir que com o decréscimo da vegetação rasteira para a expansão da área urbana ocorreu a dilatação do campo térmico na Bacia do rio Iguaçu, inserida em uma área com altos índices de urbanização e atividades humanas da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, favorecendo a manifestação de problemas ambientais na atmosfera urbana metropolitana.

O sensoriamento remoto mostra-se como uma importante ferramenta para o monitoramento da evolução do uso do solo e de seu impacto na temperatura da superfície contribuindo à gestão das Bacias Hidrográficas, que no caso específico deste trabalho poderá servir como subsídio para o melhor planejamento e aplicação dos recursos públicos em benefício da população da Baixada Fluminense.

5. Agradecimentos

A FAPERJ pelo apoio financeiro através de bolsa de estudo para o desenvolvimento desta pesquisa.

6. Bibliografia

- 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.
- Florenzano, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de textos. 2002. 102p.
- Grimmond, C. S. B. Progress in measuring and observing the urban atmosphere. **Theoretical and Applied Climatology**, vol. 84, p. 3–22, 2006.
- Hayes, D.J.; Sader, S.A. Change detection techniques for monitoring forest clearing and regrowth in a tropical moist forest. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, vol 67(9), p. 1067-1075. 2001.
- INPE. **Tutorial SPRING**. INPE, São José dos Campos, 2002.
- 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.
- Richards, J.A. **Remote Sensing Digital Image Analysis: an Introduction**. Berlin, Germany, Springer-Verlag, 1986. 281p.
- Rosa, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. 6ª Ed. Uberlândia: EDUFU, 2007. 248p;
- Voogt, J. A., Oke, T. R. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote Sensing of Environment**, vol. 86, p. 370–384, 2003.