

EVOLUÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DO MUNICÍPIO DO RECIFE ATRAVÉS DE IMAGENS DOS SATÉLITES LANDSAT E CBERS 4

TIAGO HENRIQUE DE OLIVEIRA ¹

ANA LÚCIA BEZERRA CANDEIAS ²

JOSICLÉDA DOMICIANO GALVÍNIO ¹

REJANE MAGALHÃES DE MENDONÇA PIMENTEL ¹

¹ Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Centro de Filosofia e Ciências Humanas – CFCH

Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento de Meio Ambiente, Recife, PE

thdoliveira50@gmail.com, josicleda@hotmail.com, pimentel@db.ufrpe.br

² Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Centro de Tecnologia e Geociências - CTG

Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE

analucia@ufpe.com

RESUMO – Estudos de uso e cobertura do solo têm adquirido grande destaque em diversas pesquisas realizadas pelo mundo. O objetivo deste artigo é observar a evolução espaço temporal do uso e cobertura do solo no município do Recife através de classificação supervisionada por região e quantificar cada uso e cobertura do solo mapeado utilizando imagens multiespectrais de média resolução espacial. Para tal foram utilizadas três imagens do satélite LANDSAT e uma imagem do satélite CBERS 4. Como classificador foi utilizado o método de Bhattacharya, com limiar de aceitação de 75%. Dentre os principais resultados foi quantificado que a área urbana do Recife ocupava em 2015 um pouco mais de 42% de toda a área do município enquanto que a vegetação densa ocupava 31% da área territorial.

ABSTRACT - Studies of land use and land cover has gained great prominence in several surveys conducted by the world. The purpose of this article is to observe the evolution timeline of use and land cover in the city of Recife through supervised classification by region and quantify each use and land cover mapped through the use of medium spatial resolution multispectral images. For this we used three Landsat satellite images and an image of CBERS 4. How classifier was used Bhattacharya method, with 75% acceptance threshold. Among the main results it was quantified the urban area of Recife occupied in 2015 42% of the municipal area while the dense vegetation occupied 32% of the area.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente os estudos de uso e cobertura do solo têm adquirido grande destaque em diversas pesquisas realizadas pelo mundo. Em ambiente urbano estas mudanças podem apresentar grandes impactos nos ciclos energéticos e hidrológicos do sistema terrestre quando realizada de maneira desordenada. Deste modo o espaço urbano acaba por se tornar objeto de constantes modificações e produção do espaço, sendo a vida na cidade definida pelas relações econômicas, sociais e culturais, que com o passar das décadas se apresentam altamente dinâmicas e mutáveis (BERMAN, 1982). O processo de expansão desordenada, com a diminuição de cobertura vegetal em virtude de impermeabilização de grandes áreas acarreta o surgimento e/ou intensificação de diversos fenômenos como as ilhas de calor urbanas e o aumento no número de alagamentos e enchentes.

Torna-se imprescindível a realização de mapeamentos de uso e cobertura do solo voltados a quantificação de mudanças ocorridas no passado e que ajudem a planejar as áreas naturais remanescentes em um município. Para tal, técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto têm sido amplamente utilizadas, destacando-se a utilização de índices de vegetação e umidade e classificações, podendo ser supervisionadas ou não. Para o ambiente urbano, Novack (2009) afirma que as técnicas de sensoriamento remoto possibilitam a distinção e categorização dos objetos dos pontos de vista físico e espacial.

Estudos como os realizados por Whitford et al. (2001), Nowak et al. (2002) e Pauleit et al. (2005) indicam a necessidade de realização de pesquisas com parâmetros ambientais importantes, referentes ao uso do solo em ambiente urbano, como a temperatura da superfície, o escoamento das águas pluviais e o sequestro de carbono. Segundo Pauleit et al. (2005), estes elementos são diretamente afetados pelas características da cobertura do solo, como a densidade de construções e distribuição de áreas verdes no espaço urbano, que, na maioria dos casos, apresentam-se bastante fragmentados.

A classificação de imagens de satélites apresenta por objetivo o agrupamento de pixels ou regiões que apresentem características espectrais similares para um conjunto de usos e coberturas. Para tal diversas metodologias e algoritmos têm sido desenvolvidos voltados a melhorar a classificação de imagens orbitais (DeFries et al., 1998). Oliveira e Moraes (2013) buscando avaliar a dinâmica temporal do uso e cobertura da terra para uma área localizada no centro-leste do estado de Rondônia, com o uso de imagens do sensor ASTER/Terra e classificação supervisionada pelo algoritmo de *Bhattacharya* permitiu o mapeamento de sete diferentes classes de uso e cobertura da terra e a identificação de mudanças ocorridas na área de estudo no período de aproximadamente um ano evidenciaram a intensa degradação da região no que diz respeito ao desflorestamento.

Cleiton et al. (2015) avaliaram o impacto da colonização sobre a cobertura do solo na Zona da Mata Rondoniense (ZMR), Amazônia Brasileira, durante período de 1985 à 2011 utilizando imagens do satélite LANDSAT 5 e classificador *Bhattacharya*, constatando grande aumento na área antropizada. Diante do exposto o objetivo deste artigo é observar a evolução espaço temporal do uso e cobertura do solo no município do Recife através de classificação supervisionada por região e quantificar cada uso e cobertura do solo mapeado por meio da utilização de imagens multiespectrais de média resolução espacial.

2. METODOLOGIA DO TRABALHO

2.1 Área de Estudo

O município do Recife (Figura 1), capital do Estado de Pernambuco, situa-se no litoral nordestino e ocupa uma posição central, a 800 km de outras duas metrópoles regionais, Salvador e Fortaleza, disputando com elas o espaço estratégico de influência na região (PCR, 2012). Apresenta uma superfície territorial de 218,50 km² e uma população de 1.537.704 habitantes, correspondendo a 17,48% da população do Estado, e a 41,63% da Região Metropolitana do Recife (RMR), o que lhe propicia uma densidade demográfica de 6.989 hab/km² (Censo IBGE, 2010).

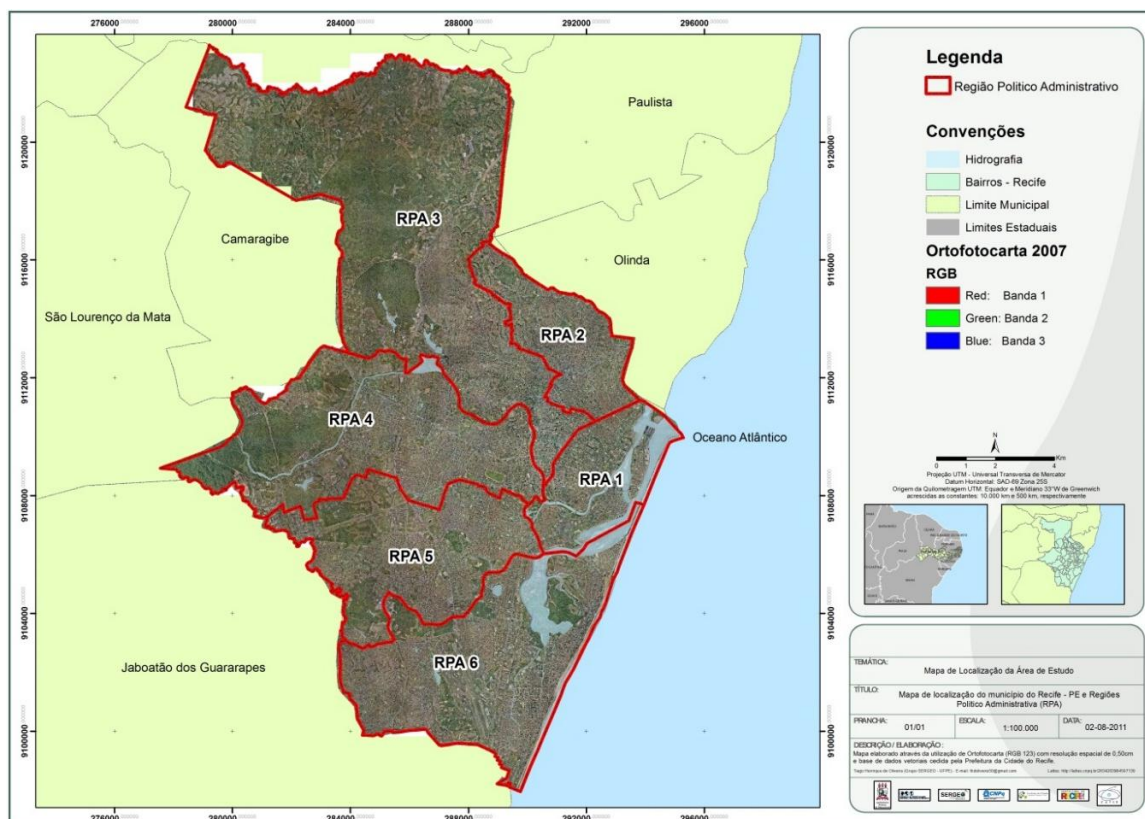


Figura 1. Localização do município do Recife-PE e distribuição das Regiões Político-Administrativas – RPA. Fonte: Oliveira, T.H (2012).

Atualmente, o espaço urbano do município encontra-se dividido em 94 bairros, 18 microrregiões e seis Regiões Político-Administrativas (RPA), sendo a RPA 2 a mais densamente ocupada. Segundo a classificação de Köppen (1948) o clima do Recife é do tipo As (quente e úmido), com temperaturas elevadas e com chuvas de inverno e outono. A vegetação é composta por remanescentes de Mata Atlântica.

2.2 Metodologia empregada

2.2.1 Dados Radiométricos

Foram selecionadas duas imagens do sensor Thematic Mapper (TM), de órbita e pontos 214/66, a bordo do satélite LANDSAT 5 e uma imagem da câmera MUX, de órbita e ponto 146/109, a bordo do satélite CBERS-4, obtidas junto à Divisão de Geração de Imagens (DGI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). As datas de passagem do satélite na área de estudo ocorreram em 28 de setembro de 1989 e 06 de setembro de 2010 (LANDSAT 5) e no dia 22 de outubro de 2015 (CBERS e LANDSAT 8).

Todas as cenas foram registradas e ortoretificadas, tomando por base a imagem disponibilizada pelo site EarthExplorer, de onde, posteriormente, foi realizado o recorte da imagem para a área de estudo e seu entorno. A imagem MUX, com resolução espacial de 20m, passou por processo de reamostragem espacial para 30m. Também foi necessária a utilização de outra imagem do satélite LANDSAT 8 com o objetivo de identificar os usos e coberturas em regiões que apresentavam alta cobertura de nuvem na imagem CBERS. A imagem utilizada apresenta a mesma data de passagem da imagem do satélite CBERS.

2.2.2 Processamento das imagens

Para a obtenção das cartas de EVI e Albedo da superfície foi realizado o computo da Radiância espectral e da Reflectância utilizando a metodologia proposta por Allen et al. (2002), amplamente utilizada por diversos autores (Bastiaanssen et al., 1998ab; Silva et al., 2005; Oliveira et al., 2010), conforme pode ser observado através do fluxograma (Figura 2). Estas cartas serviram para apoiar a identificação e discriminação dos diferentes alvos observados em ambiente urbano.



Figura 2. Fluxograma mostrando as etapas para a obtenção do Índice de Vegetação Ajustado (EVI) e do Albedo da superfície. Organizado pelos autores.

2.2.2.1 Calibração radiométrica

A calibração radiométrica (Eq. 1) consiste na conversão do nível de cinza de cada pixel e banda, em radiância monocromática, que representa a energia solar refletida, por unidade de área, de tempo, de ângulo sólido e de comprimento de onda, medida ao nível do satélite nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7. Para a banda termal, essa radiância representa a radiação emitida por cada pixel, sendo empregada na obtenção da temperatura da superfície. A radiância de cada pixel e banda foi obtida pela equação proposta por Markham & Baker (1987):

$$L_{\lambda i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} ND \quad (1)$$

onde a e b são as radiâncias espectrais mínima e máxima ($Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$), ND é a intensidade do pixel (valor inteiro entre 0 e 255) e i corresponde às bandas (1, 2, ... e 7) dos satélites LANDSAT 5 e 7. Os coeficientes de calibração utilizados para as imagens TM são os propostos por Chander & Markham (2003).

2.2.2.2 Reflectância

A reflectância (Eq. 2) de cada banda ($\rho_{\lambda i}$) é definida como a razão entre o fluxo de radiação solar refletido pela superfície e o fluxo de radiação solar global incidente, a qual é obtida através da equação (Allen et al., 2002):

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda i}}{K_{\lambda i} \cdot \cos Z \cdot d_r} \quad (2)$$

onde $L_{\lambda i}$ é a radiância espectral de cada banda, $K_{\lambda i}$ é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ($Wm^{-2}\mu m^{-1}$), Z é o ângulo zenital solar e d_r é o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol (r_0) e a distância Terra-Sol (r) em dado dia do ano (DSA).

2.2.2.3 Índice de Vegetação Melhorado (EVI)

O Índice de Vegetação Melhorado (Enhanced Vegetation Index) pode ser obtido através da aplicação da equação (Eq. 3) proposta por Huete et al. (1997):

$$EVI = G \left(\frac{\rho_{IVP} - \rho_V}{\rho_{IVP} + C_1 * \rho_V - C_2 * \rho_A + L} \right) \quad (3)$$

onde ρ_{IVP} é a reflectância no infravermelho próximo, ρ_V é a reflectância no vermelho, ρ_A é a reflectância no azul, C_1 é o coeficiente de correção dos efeitos atmosféricos para o vermelho (6,0), C_2 é o coeficiente de correção dos efeitos atmosféricos para o azul (7,5), L é o fator de correção para a interferência do solo (1,0) e G é o fator de ganho (2,5).

2.2.2.4. Albedo planetário (α_{toa})

O albedo não corrigido (Eq. 4) é obtido através da combinação linear das reflectâncias monocromáticas, qual seja:

$$\alpha_{toa} = 0,293\rho_1 + 0,274\rho_2 + 0,233\rho_3 + 0,157\rho_4 + 0,033\rho_5 + 0,011\rho_7 \quad (4)$$

onde $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4, \rho_5$ e ρ_7 são os albedos planetários das bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7.

2.2.2.5. Transmissividade atmosférica

Em condições de céu claro, a transmissividade atmosférica (Eq. 5) pode ser obtida como proposta por Allen et al. (2002):

$$\tau_{sw} = 0,75 + 2.10^{-5}Z \quad (5)$$

onde Z corresponde a altitude média da área ou a altitude de cada pixel (m). Como a área apresenta uma grande variação de altitude, foi necessário recorrer à utilização de um Modelo Digital de Elevação (MDT) elaborado através de dados de radar SRTM.

2.2.2.6. Albedo da superfície (α)

O albedo na superfície (Eq. 6) é o albedo corrigido quanto aos efeitos da influência atmosférica:

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_p}{\tau_{sw}^2} \quad (6)$$

onde α_p é a reflectividade da atmosfera, variando entre 0,025 e 0,04. Estudo realizado por Bastiaanssen (2000) afirma que o valor mais recomendado para o SEBAL seja o de 0,03. τ_{sw} é a transmissividade atmosférica, obtida para condições de céu claro, em função da altitude de cada pixel, por equação proposta por Allen et al. (2002).

2.2.3 Classificação Supervisionada

Tendo em vista o objetivo de quantificar os usos e cobertura do solo foi realizada a classificação supervisionada das imagens de reflectância do satélite LANDSAT e da imagem composição colorida do satélite CBERS. As imagens passaram por realce de contraste buscando aumentar a discriminação visual entre os diferentes alvos. A operação utilizada no aumento do contraste foi a opção Linear. Em seguida foram definidos os valores de similaridade e área em pixels necessários para a definição da segmentação a ser utilizada.

Para isto é necessário realizar a criação de várias segmentações buscando obter o melhor limiar para a área de estudo. A escolha da segmentação errada pode colocar toda a classificação em risco, tendo em vista que cada segmento deve representar um conjunto de pixels com valores espectrais próximos e que representem o mesmo uso. Como nesta pesquisa foram utilizadas imagens de média resolução espacial os valores de similaridade e área em pixels foram baixos, como no caso da imagem de setembro de 1989 com região de 10x3 respectivamente.

Os resultados obtidos através da definição de classes de EVI e Albedo da superfície tornou mais precisa a identificação e diferenciação dos valores de similaridade para os diferentes usos. Principalmente na identificação de áreas que apresentavam baixos valores de vegetação, como o caso das classes de Vegetação urbana e uso urbano. Definido o nível de segmentação para cada imagem é realizada a coleta de regiões definidoras de cada classe a ser mapeada. Apenas após este procedimento foi realizada a avaliação do treinamento e posterior classificação.

Durante o treinamento é possível criar, editar e suprimir as amostras da classificação podendo ao final da coleta das classes avaliar a importância de cada amostra, ou cada segmento, para a classificação final. Como classificador foi utilizado o método de *Bhattacharya* (Eq. 7) onde a [...] “medida da distância de *Bhattacharya* é usada para medir a separabilidade estatística entre um par de classes espectrais, ou seja, mede a distância média entre as distribuições de probabilidades de classes espectrais”.

$$B(p_i, p_j) = \frac{1}{2}(m_i - m_j)^T \sum (m_i - m_j) + \frac{1}{2} \ln \frac{|\sum (m_i - m_j)|}{|\sum^i \frac{1}{|i|} \sum^j \frac{1}{|j|}|} \quad (7)$$

em que B = distância de *Bhattacharya*; P_i e p_j = pixels nas classes i e j ; m_i e m_j = médias das classes i e j ; T = matriz transposta; \ln = logaritmo neperiano; e i e j = classes dentro do contexto. O limiar de aceitação utilizado para cada classificação foi de 75%.

2.2.4 Avaliação de desempenho dos classificadores

A avaliação do desempenho da classificação empregada foi executada apoiando-se na utilização do índice de concordância *Kappa* (Equação 8) e Exatidão Global (Equação 9).

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^k x_{ii} - \sum_{i=1}^k (x_{i+} \cdot x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^k (x_{i+} \cdot x_{+i})} \quad (8)$$

$$Exatidão_{global} = \left(\frac{\sum_{i=1}^k x_{ii}}{N} \right) \quad (9)$$

em que K = valor estimado *Kappa*; k = número de linhas; x_{ii} = número de observações na linha i e coluna i ; $\sum_{i=1}^k x_{ii}$ = soma dos elementos da matriz em sua diagonal principal; x_{i+} = soma total das observações para as linhas; x_{+i} = soma total das observações para as colunas; N = número de observações total. A análise da acurácia das classificações pode ser comparada aos limiares estabelecidos por Landis e Kock (1977), tabela 1.

Tabela 1 - Qualidade da classificação associada aos valores da estatística *Kappa*.

ÍNDICE <i>Kappa</i>	Concordância
0,00	Péssima
0,01 – 0,20	Ruim
0,21 – 0,40	Razoável
0,41 – 0,60	Boa
0,61 – 0,80	Muito boa
0,81 – 1,00	Excelente

2.2.5 Programas utilizados

Para o processo de registro, recorte de imagem e computo de Índice de Vegetação Ajustado e Albedo da Superfície foi utilizado o programa Erdas Imagine 9.3. A classificação supervisionada foi realizada no ambiente do programa SPRING 5.3. Os layouts das imagens e a criação automática dos pontos foi utilizado o programa ArcGIS 9.3. Estes pontos foram utilizados na análise estatísticas, onde foram obtidos os usos de 1000 pontos da imagem classificada e comparado com os usos observado nas imagens.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através das figuras 3 e 4 é possível observar as classificações de uso e cobertura do solo para as imagens de setembro de 1989 e 2010 e para a imagem de outubro de 2015. Foram definidas 7 classes: Corpos hídricos, Oceano, Solo exposto, Área Urbana (classe que apresenta pixels puros de usos relacionados ao urbano), Vegetação densa (classe composta principalmente por espécies arbóreas e em menor quantidade por espécies arbustiva ou herbácea de Mata Atlântica), Vegetação urbana (classe composta por pixels que apresentava algum tipo de vegetação) e Não classificado.

É possível observar aumento espacial e na densidade da classe área urbana entre os anos de 1989 e 2015 para os municípios inseridos na área de estudo. A classe de Vegetação urbana, bem distribuída na imagem de 1989, apresenta-se confinada em algumas áreas do município do Recife na imagem de 2015, evidenciando diminuição da cobertura vegetal e aumento da urbanização e da densidade construtiva. Os fragmentos florestais localizados no município do Recife apresentaram aumento na densidade das copas, como no caso do Manguezal do Pina e das Matas do Curado que apresentaram maior preservação devido a tutela das Forças Armadas. Isto contribuiu para a diminuição da utilização destes locais pelo homem permitindo maior desenvolvimento da vegetação.

Já em outros municípios é observado a diminuição da densidade de alguns fragmentos florestais. Nas áreas de morro do município do Recife, RPA 2 e 3, fica perceptível a diminuição de cobertura vegetal. Estas áreas apresentam grande ocupação pela população mais carente, sendo a área aproveitada ao máximo para a construção de residências. Deste modo as áreas remanescentes de vegetação apresentam fatores limitantes a ocupação, como alta declividade ou solos friáveis.

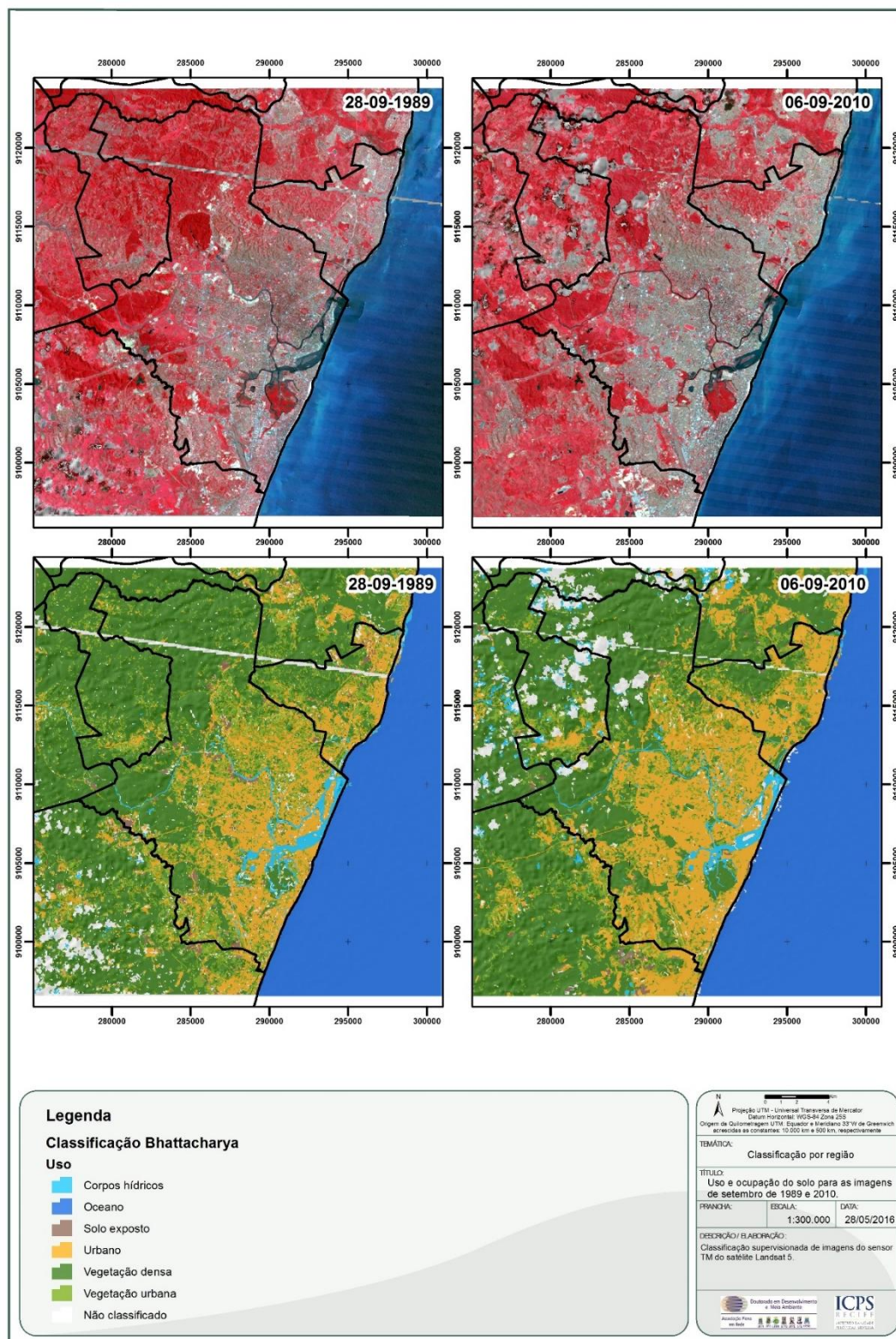


Figura 3 – Classificação de uso e cobertura do solo de setembro de 1989 e 2010, através de imagens do sensor TM – LANDSAT 5, para os municípios de Recife, Olinda e Camaragibe – Pernambuco.

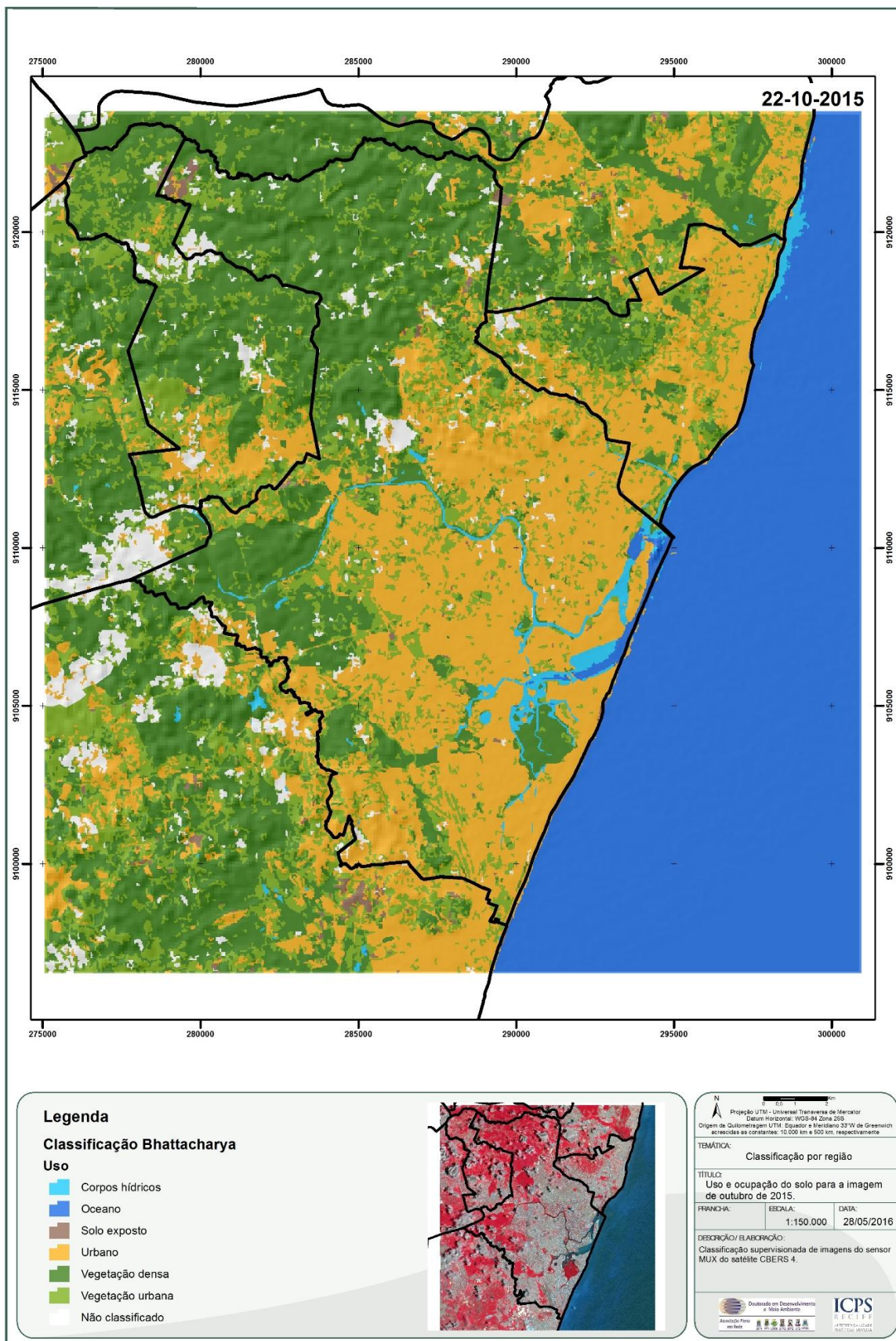


Figura 4 – Classificação de uso e cobertura do solo de outubro de 2015, através de imagem do sensor MUX – CBERS-4, para os municípios de Recife, Olinda e Camaragibe – Pernambuco.

Através das tabelas 2 e 3 é possível observar a matriz de confusão e a exatidão do produtor e usuário para as classificações das imagens de setembro de 1989 e outubro de 2015, respectivamente. Para as duas classificações o *Kappa* foi considerado excelente, apresentando valor de 0,92 para a imagem de setembro de 1989 e de 0,96 para a imagem de outubro de 2015. A Exatidão global para as duas classificações apresentou valores de 92,5 e 96,7% respectivamente.

Na Tabela 2 é possível observar, para a imagem de 1989, que o menor valor de exatidão do usuário foi encontrado para a classe de não classificado, com valor de 45%. Já os demais usos apresentaram valores superiores a 75%, o que significa que o usuário do mapa teria chance de no mínimo 75% de encontrar o alvo, neste caso Corpos hídricos, em loco, conforme explica Congalton (1991). No caso de vegetação densa e vegetação urbana foram obtidos valores de exatidão do usuário de 95,75 e 95,73% respectivamente. Já no caso da exatidão do produtor as classes de solo exposto e corpos hídricos apresentaram os menores valores de exatidão. Esta medida indica a probabilidade de um pixel de referência ser corretamente classificado.

Tabela 2 – Matriz de confusão e exatidão do produtor e do usuário para a classificação por região na imagem *LANDSAT* TM de 28 de setembro de 1989.

	<i>Não classificado</i>	<i>Vegetação Densa</i>	<i>Vegetação Urbana</i>	<i>Urbano</i>	<i>Solo Exposto</i>	<i>Corpos hídricos</i>	<i>Oceano</i>	Total	Exatidão do Usuário
<i>Não classificado</i>	18	6	4	6	3	2	1	40	45,00
<i>Vegetação Densa</i>	0	393	14	0	1	2	0	410	95,85
<i>Vegetação Urbana</i>	0	6	157	1	0	0	0	164	95,73
<i>Urbano</i>	0	2	11	109	6	1	1	130	83,85
<i>Solo Exposto</i>	0	0	2	2	16	0	0	20	80,00
<i>Corpos hídricos</i>	1	0	0	0	0	9	2	12	75,00
<i>Oceano</i>	0	0	0	0	0	1	223	224	99,55
Total	19	407	188	118	26	15	227	1000	
Exatidão do Produtor	94,74	96,56	83,51	92,37	61,54	60,00	98,24		

Na tabela 3 é possível observar a matriz de confusão para a imagem de outubro de 2015, onde o menor valor de exatidão do usuário é encontrado na classe de corpos hídricos, com valor de 64,7%. Isto se deve a variação de profundidade do rio Capibaribe, que apresenta em diversos locais valores de níveis de cinza diferente. Outra explicação pode ser o fato que esta imagem não passou pelo processo de calibração radiométrica e computo da reflectância. Já as classes de Vegetação densa e Vegetação urbana apresentaram valores de exatidão do usuário de 98,1 e 93,1% respectivamente. A exatidão do produtor para todas as classes apresentaram valores elevados.

Tabela 3 – Matriz de confusão e exatidão do produtor e do usuário para a classificação por região na imagem *CBERS* MUX de 22 de outubro de 2015.

	<i>Não classificado</i>	<i>Vegetação Densa</i>	<i>Vegetação Urbana</i>	<i>Urbano</i>	<i>Solo Exposto</i>	<i>Corpos hídricos</i>	<i>Oceano</i>	Total	Exatidão do Usuário
<i>Não classificado</i>	49	2	0	0	0	0	0	51	96,08
<i>Vegetação Densa</i>	0	262	4	1	0	0	0	267	98,13
<i>Vegetação Urbana</i>	1	4	176	8	0	0	0	189	93,12
<i>Urbano</i>	1	0	5	238	0	0	0	244	97,54
<i>Solo Exposto</i>	0	0	0	1	6	0	0	7	85,71
<i>Corpos hídricos</i>	1	0	1	1	0	11	3	17	64,71
<i>Oceano</i>	0	0	0	0	0	0	225	225	100,00
Total	52	268	186	249	6	11	228	1000	
Exatidão do Produtor	94,23	97,76	94,62	95,58	100,00	100,00	98,68		

Através da Tabela 4 é possível observar as áreas, em hectare, para cada uso mapeado. Nota-se como as áreas de vegetação densa, tanto para a área geral como para o município do Recife, diminuíram espacialmente com o passar dos anos. Porém é importante ressaltar que grande parte das áreas que apresentaram alta incidência de nuvens nas imagens estavam localizadas em áreas com predominância de vegetação, o que pode alterar os valores em alguns casos. Já os valores de área urbana apresentaram aumento com o passar dos anos, tanto na área geral como também para o município do Recife. Deste modo a área urbana do Recife ocupa um pouco mais de 42% de toda a área do município enquanto que a vegetação densa ocupa 32% da área territorial.

Tabela 4 – Distribuição de área (hectares) para as classes utilizadas para o município do Recife-PE e entorno.

Uso	Área total 1989	Recife - 1989	Área total 2010	Recife - 2010	Área total 2015	Recife - 2015
Não classificado	3.170,90	774,53	3.796,65	1.437,44	2.705,87	649,37
Vegetação Densa	28.380,15	9.353,03	26.433,00	8.391,76	20.080,20	7.095,56
Vegetação Urbana	10.789,83	4.841,61	8.443,08	3.397,37	12.838,30	4.102,09
Urbano	9.099,09	5.684,57	12.723,57	7.750,7	16.907,90	9.413,85
Solo Exposto	1.028,61	544,22	612,81	187,36	448,01	156,49
Corpos hídricos	1.233,99	950,27	1.747,35	1.038,32	805,27	588,84
Oceano	16.903,50	128,76	16.849,62	73,98	16.898,50	270,79

4. CONCLUSÕES

As classificações apresentaram ótimos valores de *Kappa*, com valores de 0,92 para a imagem de setembro de 1989 e de 0,96 para a imagem de outubro de 2015, sendo considerado excelente.

Foi observado aumento espacial e na densidade da classe área urbana entre os anos de 1989 e 2015 para os municípios inseridos na área de estudo.

A classe de Vegetação urbana, bem distribuída na imagem de 1989, apresenta-se confinada em algumas áreas do município do Recife na classificação de 2015, evidenciando diminuição da cobertura vegetal e aumento da urbanização e da densidade construtiva.

Os fragmentos florestais localizados no município do Recife apresentaram aumento na densidade das copas, como no caso do Manguezal do Pina e das Matas do Curado que apresentaram maior preservação devido a tutela das Forças Armadas. Isto contribuiu para a diminuição da utilização destes locais pelo homem permitindo maior desenvolvimento da vegetação. Já em outros município é observado a diminuição da densidade de alguns fragmentos florestais.

Nas áreas de morro do município do Recife, RPA 2 e 3, fica perceptível a diminuição de cobertura vegetal. Foi quantificado que a área urbana do Recife ocupava em 2015 um pouco mais de 42% de toda a área do município enquanto que a vegetação densa ocupava 31% da área territorial.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento do Projeto Mata e Manguê: 577356/2008-9, ao INPE por ceder as imagens de satélite através do Catálogo de Imagens de Satélite e à Universidade Federal de Pernambuco pelo apoio institucional. Bolsa de Produtividade do CNPq à quarta autora. E a Prefeitura da Cidade do Recife pelo banco de dados básico georreferenciado.

Referências Bibliográficas

ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. **SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land)**. 2002. Advance Training and User's Manual – Idaho Implementation, version 1.0, 97p. Disponível: ftp://ftp.funcceme.br/Cospar_Funceme_2010/CLASS_DAY_04.11.2010/LAB/quixere/quixere/Final%20Sebal%20M anual.pdf. Acesso: Dezembro de 2010.

BASTIAANSEN, W. G. M.; MENENTI, M.; FEDDES, R. A.; HOLTSLAG, A. A. M. A. 1998a. Remote Sensing Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) 1. Formulation. **Journal of Hydrology**, v. 212-213, p. 198-212. Disponível: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169498002534>. Acesso: 20 de abril de 2008. DOI: [doi:10.1016/S0022-1694\(98\)00253-4](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(98)00253-4)

- BASTIAANSSEN, W. G. M.; PELGRUM, H.; WANG, J.; MORENO, Y. M. J.; ROERINK, G. J.; VAN DER WAL, T. 1998b. The Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) 2. Validation. **Journal of Hydrology**, v. 212-213: p. 213-229. Disponível: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169498002546>. Acesso: 20 de abril de 2008. DOI: [doi:10.1016/S0022-1694\(98\)00254-6](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(98)00254-6)
- COLGATON, R. G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, v. 49, n. 12, p. 1671-1678, 1991.
- CLEITON, S. C. W.; JHONY, V.; MARIA, H. S. L.; ALEX, M. S. Impacto da colonização na Zona da Mata Rondoniense, Amazônia Ocidental-Brasil. **Revista Geográfica Venezolana**, Vol. 56(1) 2015, 41-57
- CHANDER, G.; MARKHAM, B. 2003. Revised LANDSAT-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. v. 41. n. 11. Disponível: <http://LANDSATHandbook.gsfc.nasa.gov/pdfs/L5TMLUTIEEE2003.pdf>. Acesso: 14 de fevereiro de 2008.
- DEFRIES, R.S; HANSEN, M.; TOWNSHEND, J.R.G.; SOHLBERG, R. (1998). Global land cover classifications at 8 km spatial resolution: the use of training data derived from LANDSAT imagery in decision tree classifiers. **International Journal of Remote Sensing**, v. 19, p. 3141-3168.
- HUETE, A. R., LIU, H. Q., BATCHILY, K., and VAN LEEUWEN, W. 1997. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**. V. 59, p. 440-451. Disponível: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425796001125>. Acesso em: 09 de Agosto de 2008. DOI:10.1016/S0034-4257(96)00112-5
- KÖPPEN, W. **The Climates of North America**. R. Handbuch der Klimatologie, Berlin, 1948.
- LANDIS, J. R.; KOCK, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v.33, n.1, p.159-174, 1977.
- MARKHAM, B. L.; BARKER, L. L. 1987. Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances. **International Journal of Remote Sensing**, v.8, n.3, p.517-523. Disponível: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431168708948658#.VaPYjvnmkGkw>. Acesso: 24 de junho de 2008. DOI: 10.1080/01431168708948658
- NOVACK, T. **Classificação da cobertura da terra e do uso do solo urbano utilizando o sistema InterIMAGE e imagens do sensor Quick-Bird**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). 214 p. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos; (INPE-16594-TDI/1580), 2009.
- NOWAK, D.J., CRANE, D.E., STEVENS, J.C., IBARRA, M. Brooklyn's **Urban Forest**. United States Department of Agriculture, Forest Service, North-Eastern Forest Experiment Station, General Technical Report NE-290. Radnor, Pennsylvania. 2002
- OLIVEIRA, T. H.; MACHADO, C. C. C.; SILVA, J. S.; GALVÍNCIO, J. D.; PIMENTEL, R. M. M.; SILVA, B. B. 2010. Índice de Umidade (NDWI) e Análise Espaço-Temporal do Albedo da Superfície da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física** Vol. 03. P. 55-69. Disponível: <http://www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/viewArticle/130>. Acesso: 01 de dezembro de 2010.
- OLIVEIRA, T.H. **Mudança espaço temporal do uso e cobertura do solo e estimativa do balanço de energia e evapotranspiração diária no município do Recife-PE**. 2012. 154 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 2012.
- OLIVEIRA, G.; MORAES, E. C. Classificação Digital do Uso e Cobertura da Terra na Amazônia com Base em Dados Orbitais ASTER. **Revista Brasileira de Geografia Física** V. 06 N. 03 (2013) 510-521.
- PAULEIT, S.; ENNOS, R.; GOLDING, Y. Modeling the environmental impacts of urban land use and land cover change—a study in Merseyside, UK. **Landscape and Urban Planning**. 71. 295–310. 2005.
- WHITFORD, V., HANDLEY, J., ENNOS, R. City form and natural process—indicators for the ecological performance of urban areas. **Landscape Urban Planning**. 57, 91–103. 2001.

SILVA, B. B. da; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. de. 2005. Determinação do albedo de áreas irrigadas utilizando imagens LANDSAT 5 – TM. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 13, n. 2, p. 201-211. Disponível: http://www.dca.ufcg.edu.br/DCA_download/ISR/UFPE/Artigo%20002-004%20-%20Determina%E7%E3o%20Albedo.pdf Acesso: 12 de setembro de 2008.