

Evolução espaço-temporal da cobertura vegetal e do processo de urbanização no município do Recife – PE utilizando o Índice de Vegetação Ajustado

Tiago Henrique de Oliveira ¹
Josemary Santos e Silva Oliveira ¹
Everton Barbosa da Luz ¹
Josiclêda Domiciano Galvêncio ²
Rejane Magalhães de Mendonça Pimentel ³
Bernardo Barbosa da Silva ²

¹ Grupo de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento - SERGEO - UFPE
Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária, Recife – PE, Brasil - CEP: 50670-901
{thdoliveira50, josy.santos04}@gmail.com, everton_17@hotmail.com

² Prof. Dr. Departamento de Ciências Geográficas - DCG – UFPE
Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária, Recife – PE, Brasil - CEP: 50670-901
josicleda@hotmail.com, bbdasilva.ufpe@gmail.com

³ Prof. Dra Departamento de Biologia/Botânica – UFRPE. Bolsista Produtividade do CNPq.
Rua Dom Manoel de Medeiros, Dois Irmãos, Recife – PE, Brasil – 52171-900
pimentel@db.ufrpe.br

Abstract. Currently the studies on uses and coverture of soils is highlighted at several investigations in the world. A great quantity of research is showing that the changes in the land surface provide an additional power to the climate through the changes of physical properties of the terrestrial surface. In urban areas the vegetation is responsible for important functions as urban space element, detaching ornamental and landscape, the noise control, increased humidity, suitable distribution of winds and filtering of atmospherical pollution. The appropriate function of the vegetation is a proper thermal behavior of the urban organization. The EVI, through its formula, minimizes the effects of atmospherical influence and shows high sensibility to phonological variations. This study aimed to determine the evolution of the timeline of the Soil Adjusted Vegetation Index to areas with vegetation and urbanized of the City of Recife-PE. Landsat satellite images, orbit and point 214/65-66, with passage dates of 09-05-1987, 28-09-1989, 14-06-1991, 08-09-2005, 26-08-2006, 28-07-2007, 06-09-2010 and 25-09-2011 were registered and orthorectified. The radiometric calibration and the reflectance measurements were made. The better discrimination was noticeable from the targets which constitute the urban environment, making it more difficult to characterize. The areas with forest fragments and dense vegetation were more delineated, with EVI higher than 0.60. Areas more urbanized with reduced spatial vegetation quantity in great part of the city of Recife were found.

Keywords: remote sensing, EVI, distribution of vegetation, sensoriamento remoto, EVI, distribuição da vegetação.

1. Introdução

Atualmente os estudos de uso e cobertura do solo tem ganhado grande destaque em diversas pesquisas realizadas pelo mundo. Pielke *et al.* (2002) afirmam que uma grande quantidade de trabalhos têm mostrado que as mudanças na cobertura da terra fornecem uma quantidade adicional de força ao clima, por meio das mudanças das propriedades físicas da superfície terrestre. Através da utilização do Sistema de Informações Geográficas (SIG) é possível realizar a interligação do mapeamento de uso e cobertura do solo com diversos outros produtos obtidos através do sensoriamento remoto e associa-las ao conhecimento das condições meteorológicas e climáticas de determinada região.

As mudanças na cobertura vegetal podem modificar diretamente o fluxo de calor da superfície, sendo necessárias novas formas de abordagens para a correta quantificação dos impactos do uso e cobertura do solo no clima. Do mesmo modo, se faz necessária a realização de estudos que trabalhem com a perspectiva de análise da influência que as modificações locais ou regionais poderão impactar no sistema climático global ao longo do tempo.

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.

Em áreas urbanas, a vegetação desempenha importantes funções como elemento do espaço urbano, podendo ser destacadas as funções ornamentais e paisagísticas, o controle de ruídos, o aumento da umidade do ar, a distribuição adequada dos ventos e a filtragem da poluição atmosférica. Outro papel importante desempenhado pela vegetação é a modificação do microclima, adequando o comportamento térmico do arranjo urbano. Estudos realizados por Moreira & Galvêncio (2007) e Oliveira et al. (2010a) mostraram as modificações ambientais ocorridas no bairro de Boa Viagem, Recife – PE, ao longo de 19 anos, e verificaram a acentuada diminuição das áreas de cobertura vegetal em virtude da expansão urbana e, conseqüentemente, o aumento nos valores de temperatura da superfície. Os mesmos ainda informam sobre a formação de ilhas de calor em diversos locais do bairro, identificadas através da utilização de imagens.

A base física dos índices de vegetação é dada pela absorção da radiação, na região espectral do vermelho, pela clorofila da planta e pelo espalhamento da radiação por folhas das plantas localizadas na região espectral do infravermelho próximo. Desta forma, [...] *“cada banda é um indicador do total de vegetação, porém contribuições do solo e da atmosfera fazem com que ocorra uma incerteza na estimativa dos parâmetros biofísicos da vegetação”* (Liu e Huete, 1995; Giongo, 2008).

Huete et al. (1997) e Justice et al. (1998) afirmam que o EVI minimiza os efeitos da resposta espectral do solo e da influência atmosférica, como também apresenta alta sensibilidade às variações fenológicas. Almeida et al. (2008) encontraram bons resultados de EVI para estudo realizados com imagens MODIS em área florestal do município de Sooretama, ao norte do Espírito Santo. Com relação ao EVI, Ginciene e Bitencourt (2011) afirmam que [...] *“na ausência de luz direta, as plantas pertencentes aos estratos inferiores passam a ter disponível uma maior proporção de comprimentos de onda referentes ao azul para realizar a fotossíntese”*, sugerindo que o EVI responde às variações ocorridas na vegetação do sub-bosque.

Deste modo, o objetivo deste estudo é determinar a evolução espaço temporal do Índice de Vegetação Ajustado (EVI) para as áreas vegetadas e áreas urbanizadas do município do Recife – PE.

2. Material e métodos

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, distante 800 km de outras duas metrópoles regionais, Salvador e Fortaleza, disputando com elas o espaço estratégico de influência na região. Apresenta uma superfície territorial de 218,50 km², limitando-se, ao norte, com as cidades de Olinda e Paulista, ao sul, com o município de Jaboatão dos Guararapes, a oeste, com São Lourenço da Mata e Camaragibe, e a leste, com o Oceano Atlântico.

Segundo os dados do recenseamento do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) – Censo 2010, a Cidade do Recife possui uma população de 1.537.704 habitantes,

correspondendo a 17,48% da população do Estado e a 41.63% da RMR, totalizando uma densidade demográfica de 6.989 habitantes/km².

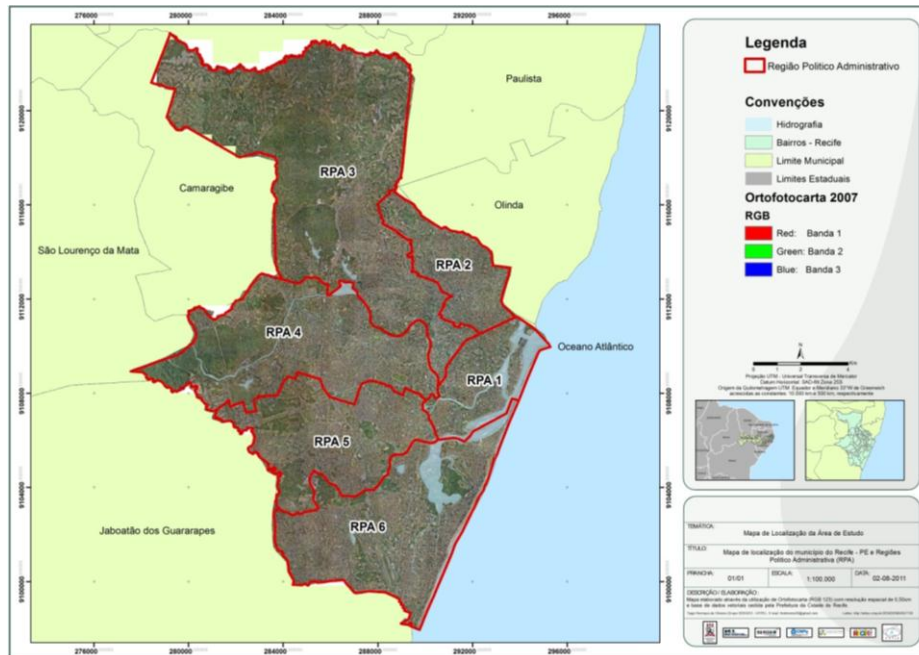


Figura 1. Localização do município do Recife-PE e distribuição das Regiões Político-Administrativas – RPA.

Segundo a Prefeitura da Cidade do Recife, o município expressa, na sua configuração físico-territorial, as diferenças provocadas pelo quadro socioeconômico que se consolidou ao longo de sua história. Atualmente, o espaço urbano do município encontra-se dividido em 94 bairros, 18 microrregiões e seis Regiões Político-Administrativas (RPA), atendendo ao estabelecido no Artigo 88, § 1º e 2º da Lei Orgânica do Recife, que determina:

[...] § 1º - Para efeito de formulação, execução e avaliação permanente das políticas e de planejamento governamental, o Município será dividido em regiões político-administrativas na forma da Lei.

§ 2º - Na definição das regiões político-administrativas devem ser observadas as legislações pertinentes e assegurada a unidade histórico-cultural, demográfica, social e econômica do ambiente urbano”.

2.2 Dados radiométricos

Foram utilizadas imagens do sensor *Thematic Mapper* (TM) de órbita e pontos 214/65-66, a bordo do satélite Landsat 5, obtidas junto à Divisão de Geração de Imagens (DGI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). As datas de passagem ocorreram em 9 de maio de 1987, 28 de setembro de 1989, 14 de junho de 1991, 8 de setembro de 2005, 26 de agosto de 2006, 28 de julho de 2007, 6 de setembro de 2010 e 25 de setembro de 2011. Todas as cenas do Landsat foram registradas e ortorretificadas, tomando por base a imagem disponibilizada pelo site landsat.org, onde, posteriormente, foi realizado o recorte da imagem para a área de estudo e seu entorno, visando uma melhor visualização da dinâmica espacial ocorrida no local, em virtude da acelerada urbanização.

2.3 Processamento das imagens

Para a obtenção dos valores de reflectância foi utilizada a metodologia proposta por Allen et al. (2002) e amplamente utilizada por diversos autores (Bastiaanssen et al., 1998a,b; Silva et al., 2005a,b; Giongo, 2008; Oliveira et al., 2010b), enquanto que para o cálculo do EVI foi utilizada a equação proposta por Huete et al. (1997), cuja etapas são mostradas no fluxograma abaixo (Figura 2).

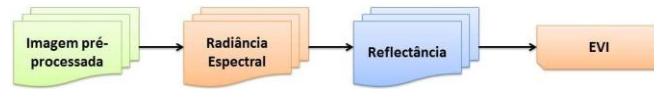


Figura 2. Fluxograma das etapas da obtenção do Índice de Área Foliar.

2.3.1 Calibração radiométrica

A calibração radiométrica (Equação 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 e 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 ($\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$), 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 e Markham (2003).

2.3.2 Reflectância

A reflectância (Equação 2) de cada banda ($\rho_{\lambda i}$) é definida como sendo 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 ($\text{Wm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$), 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).

2.3.3. Índice de Vegetação Ajustado (EVI)

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

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

onde ρ_{NIR} 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).

3. Resultados e Discussão

Através do Índice de Vegetação Ajustado (EVI) (Figura 3) é perceptível a melhor discriminação dos diferentes alvos que compõem o ambiente urbano, tornando mais fácil a sua caracterização. Este fato deve-se, provavelmente, à correção atmosférica realizada pelo EVI, tendo em vista que a banda do azul é inserida na formulação do índice, assim como coeficientes de ajuste para a influência de aerossóis. Como esperado, os valores de EVI para os corpos hídricos se apresentaram inferiores a 0.

Foi possível visualizar que as áreas com fragmentos florestais e vegetação densa se apresentam bem mais delineadas com valores de EVI superiores a 0,60, entre as imagens de 1987 a 1991. As bordas destes fragmentos apresentaram valores de EVI variando entre 0,30 e 0,50, assim como as áreas e caminhos utilizados antropicamente no interior dos fragmentos, tendo em vista que a vegetação contida nestas áreas apresenta menor biomassa foliar devido as constantes pressões sofridas (Figura 4).

Para as demais imagens é observado que os grandes fragmentos florestais apresentam uma maior homogeneização dos valores. Grande extensão de suas áreas apresentam valores de EVI superiores a 0,60, mostrando a regeneração de grande parte deste fragmento. No caso do fragmento mata da Várzea é possível verificar a regeneração de parte da mata mais próxima ao rio Capibaribe, apresentando valores de EVI superiores a 0,70.

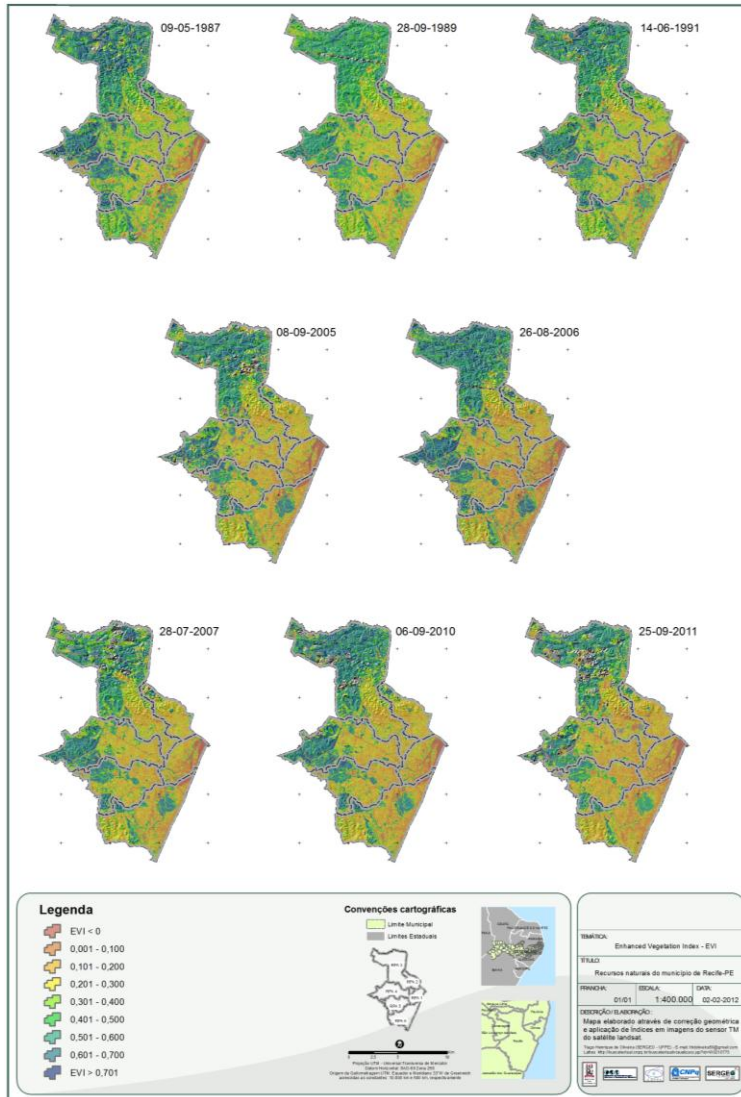


Figura 3. Evolução espaço-temporal do Índice de Vegetação Melhorado (EVI) do município de Recife – PE. Fonte: Oliveira, T.H (2012)

Oliveira et al. (2011), através da realização de análise espaço temporal no fragmento Mata da Várzea com utilização de imagens TM do satélite Landsat e fotografias aéreas georreferenciadas, verificaram a utilização antrópica de algumas partes do fragmento para atividades agropastoris. Deste modo, através da implantação de cercas ao redor da mata, a vegetação teve a oportunidade de desenvolver sua biomassa em virtude da falta de acesso da população.

Para as áreas mais urbanizadas foi observada a diminuição espacial da quantidade de vegetação, em grande parte do município do Recife, a exemplo as áreas de morros nas RPA 2 (Figuras 5 e 6) e RPA 6, onde nota-se a diminuição de cobertura vegetal de grande parte da sua área. Para estas áreas, na imagem de maio de 1989, é observado que as áreas com altitude superiores a 40 m apresentavam valores de EVI variando entre 0,30 e 0,70. Porém, com a visualização das demais imagens foi observado que estas áreas começaram a se adensar,



Figura 4. Exemplo área de pressão antrópica na borda de fragmentos de vegetação da RPA-4, Recife – PE.



Figura 5. Exemplo da distribuição da vegetação em áreas com elevada declividade da RPA-2, Recife – PE.



Figura 6. Exemplo da distribuição da vegetação em áreas com elevada declividade da RPA-2, Recife – PE.

chegando a apresentar áreas de solo exposto e grande quantidade de áreas impermeabilizadas, provocando a redução dos valores de EVI e a distribuição das áreas com vegetação para as áreas com maior declividade.

A mata de Dois Unidos, localizada na RPA 2, perdeu contato com outros fragmentos menores próximos à sua área. Nas imagens de 1987 a 1991 são observados corredores de vegetação, com EVI superior a 0,60, interligando o fragmento de Dois Unidos a fragmentos inseridos nos bairros de Linha do Tiro e Passarinho. A partir de 2005, estes corredores diminuem significativamente, apresentando ligação com as matas mais próximas ao bairro de Passarinho. Torna-se mais fácil acompanhar a evolução do adensamento construtivo no tecido urbano de diversas áreas do município. Os bairros da RPA 1, por exemplo, passaram a apresentar valores de EVI inferiores a 0,20 em grande parte de sua área, a partir da imagem de setembro de 2005. Neste mesmo ritmo seguiram os bairros mais próximos a RPA 1, como os bairros do Cordeiro, Areias, Imbiribeira e Boa Viagem.

Bairros como Poço da Panela, Parnamirim, Jaqueira e Casa Forte, que fazem parte da RPA 3, por exemplo, apresentavam grandes manchas com valores de EVI com variação entre 0,30 e 0,70 em áreas mais próximas ao Rio Capibaribe. Parte destas áreas está associada a áreas públicas como Parque de Santana e Parque da Jaqueira, o que vem, em alguns casos, diminuindo os efeitos negativos da rápida expansão urbana, como a formação de ilhas de calor, por exemplo. À medida que foram surgindo novas vias ou o alargamento de avenidas tem sido possível observar que os valores de EVI no entorno destas áreas foram diminuindo consideravelmente. Estas áreas, agora com maior facilidade e atratividade para a ocupação, foram sendo adensadas paulatinamente.

Avenidas como a Agamenon Magalhães e Caxangá, facilmente visualizadas em todas as imagens utilizadas, apresentavam valores de EVI inferiores a 0,10. No entorno destas áreas, o EVI, antes com média de 0,20 a 0,40 em 1987, passaram a apresentar valores de 0,10 na maior parte do seu entorno em uma imagem mais atual. Estudos realizados por Huete et al. (2002) e Ginciene e Bitencourt (2011) verificaram que o EVI apresentou maior sensibilidade às alterações do dossel vegetal em relação ao IVDN, principalmente nas áreas que apresentavam maior densidade de biomassa, fato este observado nas áreas de fragmentos florestados considerados nesta pesquisa.

Através da Tabela 1 é possível observar que a média dos valores de EVI também apresentou diminuição entre as imagens utilizadas. A imagem de maio de 1987 apresentou, como média, um EVI de 0,523, enquanto em setembro de 2011 foi encontrado o valor de 0,312. Quando considerado o período mais chuvoso para as imagens de maio e junho, notou-se que entre as imagens de maio de 1987, junho de 1991 e julho de 2007 ocorreu uma diminuição no valor médio. Para o período mais seco foi observado que entre as imagens de setembro de 1989, 2005 e 2010 ocorreu uma diminuição no valor médio.

Tabela 1. Valores dos parâmetros estatísticos mínimo, máximo, média, e desvio padrão obtidos na análise estatística do EVI no município do Recife, para as datas estudadas.

EVI	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
09-05-1987	-0,466	2,870	0,523	0,236
28-09-1989	-0,346	0,969	0,370	0,163
14-06-1991	-0,706	1,140	0,473	0,202
08-09-2005	-0,360	1,480	0,336	0,215
26-08-2006	-0,993	4,140	0,378	0,228
28-07-2007	-0,436	1,150	0,335	0,212
06-09-2010	-0,424	1,060	0,346	0,220
25-09-2011	-0,614	1,310	0,312	0,197

Fonte: Oliveira, T.H (2012)

Através da Figura 8 é possível constatar o aumento na quantidade de pixels que apresentavam valores de EVI variando entre 0,10 e 0,20 para cada imagem utilizada. Esta classe representou a classe com maior representação espacial para as imagens dos anos de 2005, 2007, 2010 e 2011. A partir da classe de EVI com valores superiores a 0,30 notou-se a diminuição na quantidade de pixels a partir de 2005.

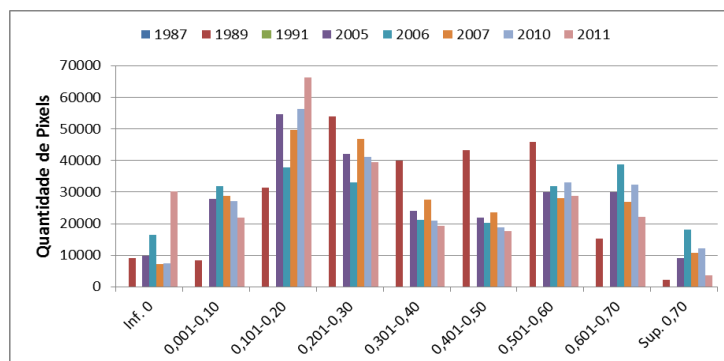


Figura 5. Representação temporal da quantidade de pixels por classe do EVI. Fonte: Oliveira, T.H (2012)

4. Conclusões

O uso do Índice de Vegetação Ajustado (EVI) permite uma melhor discriminação dos diferentes alvos que compõem o ambiente urbano, tornando mais fácil sua caracterização.

É possível visualizar que áreas com fragmentos florestais e vegetação densa se apresentam bem mais delineadas, com valores de EVI superiores a 0,60, caracterizado por um maior adensamento ou desenvolvimento de biomassa foliar devido a diminuição da utilização antrópica.

Áreas mais urbanizadas apresentam uma diminuição espacial da quantidade de vegetação em grande parte do município do Recife, em função da urbanização.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de Mestrado cedida ao primeiro autor, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento do Projeto Mata e Mangue: 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 terceira autora.

Referencias Bibliográficas

- ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land). **Advance Training and Users Manual – Idaho Implementation**, version 1.0, 97p., 2002.
- ALMEIDA, A. Q.; SILVA, G. F.; PEZZOPANE, J. E. M.; RIBEIRO, C. A. D. Enhanced Vegetation Index (EVI) na análise da dinâmica da vegetação da Reserva Biológica de Sooretama, ES. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.32, n.6, p.1099-1107, 2008.
- BASTIAANSSEN, W. G. M.; MENENTI, M.; FEDDES, R. A.; HOLTSLAG, A. A. M. A. Remote Sensing Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) 1. Formulation. **Journal of Hydrology**, v. 212-213, p. 198-212, 1998a.
- BASTIAANSSEN, W. G. M.; PELGRUM, H.; WANG, J.; MORENO, Y. M. J.; ROERINK, G. J.; VAN DER WAL, T. The Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) 2. Validation. **Journal of Hydrology**, v. 212-213: p. 213-229, 1998b.
- CHANDER, G.; MARKHAM, B. Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges. **IEEE Transactions On Geoscience and Remote Sensing**. v. 41. n. 11. 2003.

- GINCIENE, B. R.; BITENCOURT, M. D. Utilização do EVI (Enhanced Vegetation Index) para maior sensibilidade na detecção de mudanças temporais em fragmentos de floresta estacional semidecidual. **Anais... XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil. INPE p.1620. 2011.
- GIONGO, P. R. Estimativa do balanço de radiação com técnicas de sensoriamento remoto e dados de superfície. **Dissertação** de Mestrado (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento de Tecnologia Rural. 92 f. Recife, 2008.
- HUETE, A. R., LIU, H. Q., BATCHILY, K., AND VAN LEEUWEN, W. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**. V. 59, p. 440-451, 1997
- JUSTICE, C. O. et al. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.36, n.4, p.1228-1249, 1998.
- LIU, H.Q.; HUETE, A. A. Feedback based modification of the NDVI to minimize canopy IEEE Transactions on Geosciences and background and atmosphere noise. **Remote Sensing**, v.3, n.2, p.457-465, 1995.
- MARKHAM, B. L. & BARKER, L. L. Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances. **International Journal of Remote Sensing**, v.8, n.3, p.517-523, 1987.
- MOREIRA, E.B.M.; GALVÍNCIO, J. D. Distribuição Espacial das Temperaturas à Superfície na cidade do Recife, utilizando imagens TM Landsat – 7. **Revista de Geografia UFPE/DCE**, v.24, n 3, p. 122-135, 2007.
- 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, J. C. F.; OLIVEIRA, T. H. ; GALVINCIO, J. D. . Análise espaço-temporal do fenômeno de ilhas de calor no bairro de Boa Viagem, Recife-PE e entorno, através de imagens TM Landsat. In: Josiclêda Domiciano Galvêncio. (Org.). **Mudanças climáticas e Impactos ambientais**. 01ed. Recife: Editora universitária - UFPE, 2010a, v. 01, p. 70-81.
- OLIVEIRA, T. H.; MACHADO, C. C. C.; SILVA, J. S.; GALVÍNCIO, J. D.; PIMENTEL, R. M. M.; SILVA, B. B. Índice de Umidade (NDWI) e Análise Espaço-Temporal do Albedo da Superfície da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física** 03 (2010b) 55-69.
- OLIVEIRA, T. H.; SILVA, J. S.; MACHADO, C. C. C.; RODRIGUES, G. T. A.; GALVINCIO, J. D.; PIMENTEL, R. M. M.. Avaliação espaço-temporal do Índice de área foliar e impacto das atividades antrópicas na Reserva Ecológica Estadual Mata São João da Várzea, Recife PE. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2011, Curitiba - PR. **Anais**. São José dos Campos - SP : INPE, 2011. v. 01. p. 2105-2112. 2011
- 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**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco. CFCH. Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2012. 154 f. : il. ; 30 cm.
- 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
- PIELKE RA, MARLAND G, BETTS RA, CHASE TN, EASTMAN JL, NILES JO, NIYOGI DDS, RUNNING SW. The influence of land-use change and landscape dynamics on the climate system: relevance to climate-change policy beyond the radiative effect of greenhouse gases. **Philos Trans R Soc Lond A Math Phys Eng Sci** 360:1705–1719. 2002
- SILVA, B. B. da; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. de. Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5 – TM. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, n. 2, p. 243-252, 2005a.
- SILVA, B. B. da; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. de. Determinação do albedo de áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5 – TM. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 13, n. 2, p. 201-211, 2005b.
- WHITFORD, V., HANDLEY, J., ENNOS, R. City form and natural process—indicators for the ecological performance of urban areas. **Landscape Urban Plan**. 57, 91–103. 2001