ISSN:
19842295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Mudanças do uso e ocupação do solo e degradação eco-ambiental usando imagens orbitais: o estudo de caso da bacia do rio Bacanga, São Luís (MA)

Janilci Serra Silva¹, Richarde Marques da Silva² e Alexandro Medeiros Silva³

¹ Mestranda do Programa em Engenharia Civil e Ambiental, Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Campus I, janilciserra@hotmail.com (autor correspondente). ² Professor do Departamento de Geociências, Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade Federal da Paraíba, Campus I, Cidade Universitária, CEP: 58051-900, João Pessoa, Paraíba, richarde@geociencias.ufpb.br. ³ Mestrando do Programa Pós-Graduação em Geografia, Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade Federal da Paraíba, Campus I, medeiros_alexandro@hotmail.com.

Artigo recebido em 28/12/2015 e aceito em 30/01/2016

RESUMO

As mudanças no uso e ocupação do solo, provocadas pelas ações antrópicas, têm provocado grandes alterações nas paisagens. Esses impactos podem ser estudados pelo monitoramento eco-ambiental utilizando-se informações espaço-temporais das modificações ocorridas na paisagem. Este artigo analisa as mudanças do uso e ocupação do solo e a degradação eco-ambiental na Bacia do Bacanga, com base em índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF) entre os anos de 1990 a 2014. Neste estudo foram utilizadas duas cenas, um satélite TM/Landsat 5 e outra do OLI/Landsat 8, para os dias 9 de setembro de 1990 e 2 de setembro de 2014, respectivamente. O processamento das imagens foi desenvolvido através do *software* ArcGIS 10.1. Para isto foram utilizados mapas e histogramas para auxiliar na interpretação das informações apresentadas. Os resultados mostraram que os maiores valores de NDVI, SAVI e IAF ocorrem na porção central da bacia. As presenças das construções civis aumentaram as áreas com baixos valores de NDVI por conta da retirada da cobertura da vegetação nativa. Ao longo dos 24 anos decorridos de 1990 a 2014, a supressão de áreas verdes na bacia e sua substituição por estruturas urbanas como asfalto e concreto, resultaram na maior degradação eco-ambiental, resultando no crescimento urbano e das classes vegetação arbustiva/arbórea, Solo exposto e na diminuição das classes vegetação rasteira/arbustiva e água.

Palavras-chave: SIG, expansão urbana, índices de vegetação.

Land use/cover change and environmental degradation based on orbital images: a case study of Bacanga river basin, São Luís (MA)

ABSTRACT

The changes in the land use and cover, caused by human actions, have created major impacts on the landscapes. These impacts can be studied by monitoring the eco-environmental using spatial and temporal information of the changes occurring in the landscape. This paper analyze the land use and cover changes and eco-environmental degradation in Bacanga River basin using vegetation indexes (NDVI, SAVI and IAF) between 1990 and 2014. In this study two scenes, one of TM/Landsat 5 and other OLI/Landsat 8 of September 9 1990 and September 2 2014 were used. The image processing was developed through the *software* ArcGis 10.1. For this purpose, maps and histograms to assist in the interpretation of the information presented were generated. The results showed that the highest values o NDVI, SAVI and IAF occur in the central portion of basin. The presence of civilian buildings increased the areas with low NDVI values because of the withdrawal of the coverage of native vegetation. During the 24 years which have passed 1990–2014, suppression of green areas in the basin and its replacement by urban structures such as concrete and asphalt, resulted in improved eco-environmental degradation, resulting in the urban growth and the class shrubland, beyond of decreasing the classes rangebrush and water

Keywords: GIS, urban growth, vegetation indexes.

Introdução

A rápida expansão demográfica do município de São Luís, associada à demanda

crescente do uso e ocupação do solo, para assentamento humano e implantação indústrias e outros equipamentos urbanos nos últimos anos

vêm alterando a paisagem natural, transformando-a em uma região cada vez mais artificial. Segundo o Censo Populacional do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o município de São Luís em 1999 tinha uma população de 837.589 habitantes, e em 2010 passou para 1.014.837 habitantes. Isto representou um aumento da densidade demográfica de 1.012,63 hab./km² para 1.226,92 hab./km² (IBGE, 1999; 2010).

O cenário de intensa alteração ambiental da região é uma problemática observada na Bacia do Rio Bacanga localizada no município de São Luís, o processo de uso e ocupação ocorreu de maneira desprovida de planejamento, possibilitando o avanço de áreas urbanas sobre áreas ambientais de significativa importância para o equilíbrio eco-hidrológico e hídrico da região.

Com a crescente disponibilização de imagens orbitais de média e alta resolução espacial oriundas de sensores remotos, estudos que se utilizam desses produtos são cada vez mais comuns para estudar problemas ambientais em diversas escalas. Small (2001) esclarece que as técnicas de sensoriamento remoto desempenham papel importante nos estudos de mudanças de uso e cobertura das terras. Por se tratar de produtos de baixo custo, o uso de imagens de satélites vem sendo aplicadas com diversas finalidades, dentre elas, mapeamento da evolução do uso e ocupação do solo (Santana et al., 2014), determinação de parâmetros biofísicos (Silva et al., 2011), e perdas de solo (Santos et al., 2014).

Rocha (2000) aponta que o Sensoriamento Remoto e os Sistemas de Informações Geográficas podem ser aplicados a diversas finalidades, sendo as análises ambientais uma das mais utilizadas, pois são importantes ferramentas para a espacialização de uma série de fenômenos ambientais, uma vez que proporcionam a coleta, o armazenamento, o processamento de dados e informações e suas representações.

De acordo Florenzano (2011), as imagens de satélites proporcionam uma visão sinóptica (de conjunto) e multi-temporal (de dinâmica) de extensas áreas da superfície terrestre. Elas mostram os ambientes e a sua transformação, e destacam os

impactos causados pelos fenômenos naturais ou antrópicos.

Assim, este estudo tem como objetivo analisar as mudanças do uso e ocupação do solo e a degradação ambiental na Bacia do Bacanga com base em índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF, provenientes do aumento da urbanização entre os anos de 1990 a 2014.

Caracterização da área de estudo

A bacia hidrográfica do Rio Bacanga possui uma área de aproximadamente 110 km², e está localizada na porção noroeste da ilha do Maranhão, no município de São Luís (MA), mais precisamente entre as coordenadas 2° 32' 26" S e 2° 38' 07" S, 44° 16' 00" W e 44° 19' 16" W (Figura 1) nessa bacia encontra-se espaços verdes importantes, tais como: Área de Proteção Ambiental do Maracanã e o Parque Estadual do Bacanga, onde se localiza o reservatório do Batatã, que fornece 10% da água potável do município de São Luís (MA) (Martins, 2008).

De acordo com Pereira (2006), o solo encontrado nos tabuleiros da bacia do Rio Bacanga são os argissolos. Esses solos na Bacia se caracterizam por apresentar coloração avermelhada e intensa presença de laterita em matriz areno-argilosa a argilo-arenosa, cuja fração argila é representada pela caulinita. Bezerra (2011) acrescenta que na área da bacia do Bacanga há a ocorrência também de Neossolos Regolíticos. Ainda, conforme Bezerra (2011), as condições apresentadas pela litologia, os solos da área de estudo são, em geral, suscetíveis aos processos erosivos, e tais processos são observados principalmente nas áreas que apresentam maior declividade.

De acordo com Maranhão (1998), o clima da área de estudo segundo a classificação climática de Köppen corresponde ao tipo Aw (quente e úmido), apresentando dois períodos distintos: um chuvoso que se estende de janeiro a junho, apresentando alto índice pluviométrico e outro seco de julho e dezembro e a umidade relativa do ar apresenta média anual de 75% a 90%.

Figura 1. Localização geográfica da bacia do Rio Bacanga no Estado do Maranhão.

Material e métodos

Imagens Utilizadas e Mapeamento do Uso do Solo

Neste estudo foram analisadas as imagens captadas nas datas: 9 de setembro de 1990 (TM/Landsat 5) e 2 de setembro de 2014 (OLI/Landsat 8), da órbita 220 e ponto 62, disponibilizados pelo *United States Geological Survey*, disponível no endereço eletrônico <http://glovis.usgs.gov>. As cenas escolhidas são do segundo semestre de cada ano analisado, pois este é o período com a menor presença de nuvens na região da área de estudo.

A classificação das imagens foi realizada a classificação supervisionado usando o método de Máxima Verossimilhança.

A escolha das melhores bandas espectrais para a composição falsa cor foi realizada mediante testes com o objetivo de se definir uma composição com alto contraste espectral entre as classes de cobertura da terra. ~

Na imagem TM/Landsat 5, as bandas 3 (vermelho), 4 (verde) e 5 (azul) foram consideradas para compor a visualização em falsa cor e as bandas 3(R – Vermelho) e 4 (NIR – Infravermelho Próximo) para obtenção dos índices de vegetação.

Na imagem Landsat 8, as bandas 6 (vermelho), 5 (verde) e 4 (azul) foram consideradas para compor a visualização em falsa cor (Mapa de localização) e as bandas 4 (R – Vermelho) e 5 (NIR – Infravermelho Próximo) para a obtenção dos índices de vegetação, em

seguida foi realizado o recorte da área de estudo a delimitação da bacia do Rio Bacanga.

Para realizar o processamento digital das imagens e álgebra de mapas (NDVI, SAVI e IAF) foi utilizado o *software* ArcGis 10.1, usando a função *Raster Calculator*, a partir da ferramenta *Spatial Analyst*. Não foi necessário fazer o registro geométrico da imagem, pois conforme informa o *United States Geological Survey* (USGS), as imagens disponibilizados do Landsat 5 e 8 já são ortorretificadas, sendo necessário apenas ajustá-las para o hemisfério Sul.

Índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI)

Ponzoni e Shimabukuro (2010) esclarecem que diversos índices propostos possuem o objetivo de explorar as propriedades espectrais da vegetação, especialmente nas regiões do visível e do infravermelho próximo, ressaltam ainda que esses índices são relacionados a parâmetros biofísicos da cobertura vegetal, como biomassa e índice da área foliar, além de diminuir os efeitos da iluminação da cena, declividade da superfície e geometria de aquisição que influenciam os valores de refletância da vegetação.

Diversos trabalhos destacam o uso dos índices de vegetação para analisar a cobertura do uso e ocupação da terra de uma determinada área, tais como: Anyamba et al. (2005); Santos et al. (2014); Kahriman et al. (2005); Tourre et al. (2008); Melo et al. (2011); Barbosa et al. (2006); Kim et

al. (2014); Rêgo et al. (2012); Braz et al. (2015), observa-se nesses estudos que há o predomínio do uso dos índices de vegetação NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada) e SAVI (Índice de Vegetação Ajustado ao Solo).

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) é a razão entre a diferença das refletividades das bandas no infravermelho próximo e no vermelho e pela soma dessas mesmas refletividades (Rouse et al., 1973). O NDVI é um indicador da quantidade e condição da vegetação, cujos valores variam no intervalo de -1 a 1, de modo que quanto mais próximo de 1, maior indício de presença de vegetação, e quanto mais próximo de -1, maior indício de presença de solos descobertos e rochas. Nas superfícies de solo exposto, água ou nuvens, esta variação é caracterizada sempre por valores menores a zero o NDVI e obtido pela seguinte equação:

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \quad (1)$$

sendo NIR a banda no infravermelho próximo e R a banda no Vermelho.

Índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI)

O SAVI também é um índice de vegetação, porém busca amenizar os efeitos do solo na resposta espectral da vegetação. Esse índice de vegetação foi proposto por Huete (1988) sendo dado pela equação:

$$SAVI = \frac{(1+L)(NIR - R)}{(L + NIR + R)} \quad (2)$$

no qual L é uma constante e pode apresentar valores de 0 a 1, variando segundo a própria biomassa característica da área analisada. Segundo Ponzoni e Shimabukuro (2010), os valores de L são: 1 (para baixas densidades de vegetação), 0,5 (para médias densidades de vegetação), e 0,25 (para altas densidades de vegetação). Em conformidade com os autores supracitados, em geral, a constante $L = 0,5$ é mais comumente utilizado, pois engloba uma maior variação de condições de vegetação. Assim neste estudo utilizou-se $L = 0,5$.

Índice de área foliar (IAF)

O Índice de Área Foliar (IAF) é definido pela razão entre a área foliar de uma vegetação por unidade de área utilizada por esta vegetação, sendo um indicador da biomassa de cada pixel da imagem. Xavier et al (2004); Walter-Shea et al (1997) apontam que o mapeamento do IAF é importante para o cálculo da biomassa e obtenção da percentagem da cobertura vegetal de uma determinada área da superfície.

Neste estudo foi aplicado o método baseado na relação entre massa e área foliar, mesmo é computado pela seguinte equação empírica de acordo com (Allen et al, 2002):

$$IAF = -(\ln \frac{(0,69 - SAVI)0,59}{0,91}) \quad (\text{Equação 3})$$

Taxas de mudança da degradação eco-ambiental

Muitos modelos e indicadores estão disponíveis para analisar a magnitude da taxa de tendência das mudanças de degradação eco-ambientais (Al-Awadhi et al., 2005). Como o presente estudo tem como objetivo utilizar as taxas de degradação dos usos do solo real, a equação proposta por Velazquez et al., 2003, foi empregada:

$$X = \left[1 - \frac{S_2 - S_1}{S_1} \right]^{1/n} - 1 \quad (4)$$

sendo X a taxa de conversão do processo de degradação ambiental, S_1 é a área degradada no tempo t_1 (1990), S_2 é a área degradada no tempo t_2 (2014), e n é a diferença em anos entre as duas datas (i.e., 14). Assim o índice de probabilidade de transição foi adotado para análise da tendência da dinâmica da paisagem a área de estudo.

Resultados e discussão

Mudanças do uso e ocupação do solo

Os resultados da classificação supervisionada das imagens da bacia do Rio Bacanga para os anos de 1990 e 2014 estão representadas nas Figuras 2 e 3. De acordo com a refletância espectral dos alvos foi possível classificar cinco classes de uso e ocupação do solo: (a) vegetação arbustivo-arbórea, (b) vegetação rasteira/arbustiva, (c) solo exposto, (d) urbano e (e) água. As classes de uso do solo foram checadas em campo com visitas à bacia, para uma melhor definição das amostras dos tipos de uso e ocupação do solo.

Figura 2. Classificação do uso e ocupação do solo da bacia do Rio Bacanga - 1990.

Figura 3. Classificação do uso e ocupação do solo da bacia do Rio Bacanga - 2014

A Tabela 1 apresenta o percentual das classes temáticas referente aos anos de 1990 e 2014, além de mostrar o percentual de variação para cada classe mapeada e sua variação no período estudado.

A área com Vegetação rasteira/arbustiva diminuiu de 53,55 km² para 40,94 km², uma variação de -12,61, isto é, maior perda entre as

classes. Em contrapartida, a classe com Vegetação Arbustiva/Arbórea apresentou um total de 18,93 km² em 1990 e 24,02 km² em 2014, com variação de 5,09km². Entre os dois períodos analisados a área de Solo Exposto teve variação de 0,92%, ou seja, praticamente inalterado, já a classe Urbana teve um crescimento de 7,45% (21,6 km² em 1990 e 29,05 km² em 2014).

Tabela 1 – Percentual das classes temáticas referente aos anos de 1990 e 2014

Classes	Área (km ²)		Variação (km ²)	
	1990	%	2014	%
Água	7,73	7,30	6,85	6,47
Vegetação rasteira/arbustiva	53,55	50,59	40,94	38,68
Vegetação arbustiva/arbórea	18,93	17,88	24,02	22,70
Solo exposto	4,05	3,83	4,97	4,70
Urbano	21,6	20,40	29,05	27,45

Análise das mudanças eco-ambientais

Indicadores de mudanças ambientais são importantes ferramentas para analisar a evolução da paisagem de uma região. O estudo dos índices de vegetação tem grande importância, pois medem o grau de antropização de um determinado lugar. As Figuras 4 e 5 mostram os valores de NDVI referente às duas cenas analisadas neste estudo. Os maiores valores de NDVI correspondem às áreas de vegetação com maior representação.

Na imagem do dia 9/9/1990 (Figura 5) foram observados os valores mais altos no intervalo entre 0,46–0,66 correspondentes a área de vegetação densa; 0,30–0,45 representam áreas de vegetação menos densa (herbácea); 0,13–0,30 representam a vegetação do tipo gramínea; 0,010–0,13 representam a área da mancha urbana e solo exposto; -0,45–0,10 indicam a classificação de corpos hídricos (Reservatório do Batatã/Rio das Bicas).

Figura 4. Índice de Vegetação da Diferença Normalizada da bacia do Rio Bacanga em 1990.

Na imagem do dia 2/9/2014 (Figura 5) foi observado uma diminuição do NDVI em relação ao ano de 1990, pois, os valores mais altos foram obtidos no intervalo 0,39–0,59 correspondente a área de vegetação

densa; 0,28–0,39 para áreas de vegetação menos densa (herbácea); 0,17–0,28 a vegetação do tipo gramínea; 0,00–0,17 correspondente a área da mancha urbana e solo exposto; -0,26–0,00 áreas com presença de corpos hídricos.

Figura 5. Índice de Vegetação da Diferença Normalizada da bacia do Rio Bacanga em 2014.

Para melhor analisar a distribuição do NDVI nas duas imagens estudadas foram criados dois histogramas. Conforme Silva; Galvêncio (2012) os histogramas auxiliam na interpretação das informações apresentadas, os histogramas são representações estatísticas importantes para a comparação dos índices de vegetação, sendo que quanto maior a distribuição dos níveis digitais, maior o contraste da cena.

Os níveis digitais referentes ao NDVI representados nos histogramas abaixo tiveram uma pequena oscilação e dispersão dos valores, pois estão relacionados à irregularidade de tipos de cobertura nas cenas estudadas. Na classificação dos pixels referente ao NDVI do ano de 1990 (Figura 6) o valor mínimo foi de -0,468, máximo de 0,67, média de 0,34 e o desvio padrão igual a 0,23. No NDVI do ano de 2014 (Figura 7) o valor mínimo foi de -0,26, máximo de 0,59, média de 0,28 e o desvio padrão igual a 0,16.

Figura 6. Histograma de frequência dos índices de NDVI em 1990.

Figura 7. Histograma de frequência dos índices de NDVI em 2014.

A Figura 6 mostra uma melhor distribuição dos níveis digitais do NDVI entre os intervalos, devido ao fato de nesse período haver predominância de índices de vegetação em maior área da bacia do rio Bacanga.

Nos histogramas de frequência do NDVI para os dias 9 de setembro de 1990 e 2 de setembro de 2014, são observadas que, no ano de 1990 os valores máximos da frequência correspondem as classes com os maiores índices do NDVI, esses valores representam as áreas onde a vegetação apresenta maior vigor. Na análise da frequência dos valores dos pixels, para a imagem do dia 2 de setembro de 2014 observam-se menores valores de NDVI para áreas com vegetação, se comparado com aos índices do histograma de 1990. Essa diminuição nos valores de frequência dos pixels que representam as áreas com cobertura vegetal é consequência do processo de urbanização da área em estudo.

As Figuras 8 e 9 mostram a valores SAVI para a bacia do rio Bacanga em cinco classes. Para a imagem do dia 9 de setembro de 1990 (Figura 8),

os valores mais baixos predominantes, no intervalo de $-0,68$ – $-0,16$, correspondem aos corpos hídricos, os valores $-0,16$ – $0,20$ representam os índices de mancha urbana e solo exposto, a classe com a variação entre $0,20$ – $0,46$ representa as áreas com presença de gramíneas, os valores entre $0,46$ – $0,68$ correspondem a áreas com predominância de vegetação arbustiva, já os valores mais elevados desse índice $0,68$ – $0,88$, indicam às áreas que representam a vegetação arbórea. Esses valores estão próximos aos obtidos com o NDVI, porém, o SAVI minimiza os efeitos da refletância do solo ao considerar a incorporação de um fator de ajuste dependente da densidade da vegetação. Na imagem do dia 2 de setembro de 2014, é observam-se que o SAVI (Figura 9) a resposta da biomassa com valores de valores de $-0,39$ – $0,00$ indicam a classificação de áreas com presença de água; $0,0$ – $0,25$ representam a área da mancha urbana e solo exposto; $0,25$ – $0,41$ representam a vegetação do tipo gramínea; valores de $0,41$ – $0,58$ representam áreas de vegetação arbustiva e os valores nos intervalos de $0,58$ – $0,89$ corresponde às áreas de vegetação arbórea.

Figura 8. Índice de Vegetação Ajustado ao Solo da bacia do Rio Bacanga em 1990.

Figura 9. Índice de Vegetação Ajustado ao Solo da bacia do Rio Bacanga em 2014.

Na estatística de classificação dos índices de SAVI de 1990 (Figura 10), o valor mínimo foi de -0,68 e o máximo de 0,88, sendo a média igual a 0,50 e o desvio padrão de 0,34 e no índice do

SAVI para o ano de 2014 (Figura 11) o valor mínimo foi de -0,39 e o máximo de 0,89, sendo a média igual a 0,42 e o desvio padrão de 0,23.

Figura 10 – Histograma de frequência dos índices de SAVI em 1990.

Figura 11. Histograma de frequência dos índices de SAVI em 2014

As Figuras 12 e 13 mostram os valores IAF para a área de estudo em cinco classes. Para a imagem do dia 9 de setembro de 1990 (Figura 12), os valores mais baixos predominantes, nos intervalos -0,02–0,56 e 0,56–1,05 representam os índices de mancha urbana e solo exposto, ou seja áreas com vegetação ausente e com características altas de degradação, representado pela área com tonalidade vermelha na carta temática do IAF, a classe com a variação entre 1,05–1,52 representa as áreas com presença de gramíneas, os valores entre 0,52–1,95 correspondem a áreas com predominância de vegetação arbustiva. Os maiores valores do IAF representam a vegetação que possui maior porte na bacia do Bacanga, os valores variam entre 1,95–6, indicam às áreas que representam a vegetação arbórea.

Na figura 13, que representa o IAF do dia 2 de setembro de 2014, é observado que a maior quantidade dos valores mínimos do IAF (0,02 a 1,50) são encontrados no perímetro urbano da bacia e em áreas com solo exposto, ressalta-se que a extensão territorial desta área se comparada com a imagem de 1990 apresentou um elevado crescimento, a classe com valores entre 1,50–2,44 representa as áreas com presença de gramíneas, os valores entre 2,44–4,08 correspondem a áreas com predominância de vegetação arbustiva, os maiores valores do IAF variam entre 4,08– 6, indicam às áreas que representam a vegetação arbórea.

Figura 12. Índice de Área Foliar da bacia do Rio Bacanga em 1990.

Figura 13. Índice de Área Foliar da bacia do Rio Bacanga em 2014.

As Figuras 14 e 15 apresentam o histograma de frequência do IAF para os dias 9 de setembro de 1990 e 2 de setembro de 2014. Na classificação dos pixels referente ao IAF do ano de 1990 (Figura 14) o valor mínimo foi de 0,02, máximo de 6, média de 1,17 e o

desvio padrão igual a 0,62. No IAF do ano de 2014 (Figura 15) o valor mínimo foi de 0,02, o valor máximo de 6, média de 1,2 e o desvio padrão igual a 1.

Figura 14. Histograma de frequência dos índices de IAF em 1990.

Figura 15. Histograma de frequência dos índices de IAF em 2014.

Se observa que para as imagens de 1990 e 2014 os valores mínimos apresentaram semelhança, já a media entre a frequência dos pixels das duas imagens apresentou maior variação, sendo que a classificação do IAF de 2014 apresentou a maior média dos valores.

Comparando os histogramas do NDVI, SAVI e IAF, nota-se maior distribuição dos valores de níveis de cinza para o índice de NDVI e SAVI nesta classificação de imagens essa característica é importante, pois permite analisar a maior separabilidade dentre os diferentes alvos.

Por meio da análise dos valores obtidos da estimativa dos índices de vegetação, se verifica que, a vegetação apresenta maior densidade na área onde estão localizadas a Área de Proteção Ambiental do Maracanã e o Parque Estadual do

Bacanga, sendo estas as áreas com menor índice de degradação ambiental da bacia do Bacanga.

Análise dos Processos Degradação Eco-Ambientais.

A Figura 16 apresenta as taxas do processo de degradação ambiental ocorrido na bacia do Bacanga, entre 1990 e 2014. Nesta figura, os valores negativos representam tipos de terrenos que diminuiram em extensão, e os positivos os tipos que se expandiram.

A classe de vegetação rasteira/arbustiva aumentou na área de 105,86 km², uma taxa de - 1,16% ao ano, em contraste solo exposto e área urbana aumentaram em mais de 2,19% ao ano. Figura 16 revela que o processo de conversão ambiental que ocorre na Bacia do Bacanga pode ser caracterizado em termos de três vertentes: (1)

mais de 1,29% da área foi afetada pela urbanização (27,45 km²); (2) A Vegetação arbustivo-arbórea foi responsável por mais de 1,04% (22,70 km²) e (3)

Solo exposto afetou mais de 0,89% da área total (4,70 km²).

Figura 16. Taxas do processo de degradação ambiental na bacia do Bacanga entre os anos de 1990 e 2014.

As alterações das condições naturais que geraram a degradação ambiental são atribuídas a diversos fatores, incluindo desde os conflitos de interesse humano gerado pelo crescimento dos índices populacionais e necessidade de espaço para a implantação de novos imóveis; exploração excessiva dos recursos naturais; além da má gestão dos recursos naturais, em certa medida, contribuíram para o aumento da degradação ambiental entre os anos de 1990 e 2014 na bacia do rio Bacanga.

Conclusões

Mostra-se que os usos das técnicas de sensoriamento remoto utilizadas neste estudo potencializam os estudos das alterações da paisagem no ambiente urbano, delimitando áreas e possibilitando diversas análises mediante os índices espectrais. Na Bacia hidrográfica do Bacanga essas ferramentas tecnológicas foram importantes para a construção da base cartográfica da área e para a realização das diversas análises, como os índices de vegetação.

Diante dos pressupostos é importante a realização de estudos que analisem os fatores que influenciam o avanço do processo de uso e ocupação da bacia hidrográfica estudada que sofreram mudanças no uso e ocupação do solo, principalmente para que possa servir de subsídios para o planejamento e gestão dos recursos naturais, pois o uso de geotecnologias, a exemplo os Sistemas de Informação Geográfica é uma

ferramenta útil e capaz de auxiliar nas análises ambientais de maneira rápida e com resultados satisfatórios.

Através dos resultados adquiridos é permitido afirmar que a utilização dos índices de vegetação NDVI SAVI e IAF são ferramentas importantes para o manejo e caracterização do uso e ocupação do solo.

Referências

- Al-Awadhi, J. M., Omar, S. A., Misak, R. F. 2005. Land degradation indicators in Kuwait. Land Degradation and Development. v. 16, n. 1, p. 163 -176. doi 10.1002/ldr.666.
- Anyamba, A., Tucker, C. J. 2005. Analysis of Sahelian vegetation dynamics using NOAA-AVHRR NDVI data from 1981–2003. Journal of Arid Environments 63, 596–614. doi:10.1016/j.jaridenv.2005.03.007.
- Barbosa, H. A., Huete, A. R., Baethgen, W. E. A. 2006. 20-years study of NDVI variability over the Northeast Region of Brazil. Journal of Arid Environments, v. 67, n. 2, p. 288-307. doi:10.1016/j.jaridenv.2006.02.022.
- Bezerra, J. F. R. 2011. Geomorfologia e reabilitação de áreas degradadas por erosão com técnicas de bioengenharia de solos na bacia do rio Bacanga. Tese (Doutorado), UFRJ, São Luís – MA.
- Braz, A. M.; Águas, T. A., Garcia, P. H. M. 2015. Análise de índices de vegetação NDVI e SAVI e Índice de Área Foliar (IAF) para a

- comparação da cobertura vegetal na bacia hidrográfica do córrego ribeirãozinho, município de Selvíria-MS. *Revista Percurso* 7, 5-22. doi: 10.4025/revpercurso.v7i2.28758.
- Florenzano, T. G. 2011. *Iniciação em Sensoriamento Remoto*. 3º ed. Oficina de textos, São Paulo.
- Huete, A. R. 1988. A soil adjusted vegetation index – SAVI. *Remote Sensing of Environment*. v. 25, n. 3, p. 295-309. doi:10.1016/0034-4257(88)90106-X.
- Kahriman, A., Günlü, A., Karahalil, U. 2005. Estimation of Crown Closure and Tree Density Using Landsat TM Satellite Images in Mixed Forest Stands. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* 42, 559–567. doi: 10.1007/s12524-013-0355-3.
- Kim, M., Daigle, J. J., Gooding, A. 2014. Vegetation Cover Change Detection by Satellite Imagery on Cadillac Mountain, Acadia National Park, Maine, USA: Does it Have Potential for Hiking Trail Management? *Natural Areas Journal* 34, 281-289. doi: <http://dx.doi.org/10.3375/043.034.0304>.
- Maranhão. 1988. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Diagnóstico ambiental da microrregião da aglomeração urbana de São Luís e dos Municípios de Alcântara, Bacabeira e Rosário. São Luís.
- Martins A. L. P. 2008. Avaliação da qualidade ambiental da bacia hidrográfica do Bacanga (São Luís/MA) com base em variáveis físico-químicas, biológicas e populacionais: subsídios para um manejo sustentável. Tese (Doutorado). UFMA, São Luís.
- Melo, E. T., Sales, M. C. L., Oliveira, J. G. B. 2011. Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do Riacho dos Cavalos, Crateús-CE. *RA'EGA*. v.23, p. 520-533.
- Pereira, E. D. 2006. Avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação do Solo e aquífero do reservatório Batatã - São Luís (MA). Tese (Doutorado). Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas. UNESP, Rio Claro.
- Ponzoni, F. J., Shimabukuro, Y. E. 2010. *Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação*, 2º ed. Oficina dos Textos, São José dos Campos.
- Rêgo, S. C. A., Lima, P. P. S., Lima, M. N. S., Monteiro, T. R. R., 2012. Análise Comparativa dos Índices de Vegetação NDVI e SAVI no município de São Domingos do Cariri-PB. *Revista Geonordeste*. v.2, n. 4, p. 1217-1229.
- Rocha, C. H. B. 2000. *Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar*. 3ºed. Editora do autor, Juiz de Fora.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., Deering, D. W. 1973. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *NASA* 1, 309-317.
- Santana, E. F., Batista, L. V., Silva, R. M., Santos, C. A. G. 2014. Multispectral image unsupervised segmentation using watershed transformation and cross-entropy minimization in different land use. *GIScience and Remote Sensing*, v. 51, n. 6, p. 613-629. doi: 10.1080/15481603.2014.980095.
- Santos, F., Alves, T., Azevedo, P., Santos, C. 2015. Comportamento sazonal do albedo e dos índices de vegetação na bacia hidrográfica do alto curso do rio Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física* 7, 1015-1027.
- Santos, J. Y. G., Silva, R. M., Carvalho Neto, J. G; Montenegro, S. M. G. L., Santos, C. A. G., Silva, A. M., 2014. Assessment of land-use change on streamflow using GIS, remote sensing and a physically-based model, SWAT. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences* 364, 38-43. doi 10.5194/piahs-364-38-2014.
- Silva, L., Galvêncio, J. D. 2012. Análise Comparativa da Variação nos Índices NDVI e SAVI no Sítio PELD – 22, em Petrolina – PE, na Primeira Década do Século XXI. *Revista Brasileira de Geografia Física* 5, 1446-1456.
- Silva, R. M., Silva, L. P., Santos, C. A. G., Montenegro, S. M. G. L. 2011. Estimation of evapotranspiration in Brígida River basin (Brazil) by satellite remote sensing. *IAHS-AISH Publication* 344, 208-214.
- Small, C. 2001. Estimation of urban vegetation abundance by spectral mixture analysis. *Journal Remote Sensing*. v. 22, n.7, p. 1305-1334. doi 10.1080/01431160151144369.
- Tourre, Y., Jarlan, L., Lacaux, J., Rotela, C., Lafaye, M. 2008. Spatio-temporal variability of NDVI-precipitation over southernmost south America: possible linkages between climate signals and epidemics. *Environmental Research Letters*. v. 3, n. 4, p. 1-9. doi: 10.1088/1748-9326/3/4/044008.
- Velázquez, A., Durán, E., Ramíres, I. Mas, J. F., Bocco, G., Ramíres, G., Palacio, J. L. 2003. Land use-cover change processes in highly biodiverse areas: the case of Oaxaca, Mexico. *Global Environmental Change* 13, 175–184. doi:10.1016/S0959-3780(03)00035-9.

- Walter-Shea, E. A., Privette, J., Cornell, D., Mesarch, M. A., Hays, C. J. 1997. Relations between directional spectral vegetation indices and leaf area and absorbed radiation in alfalfa. *Remote Sensing of Environment* 61, 162-177. doi:10.1016/S0034-4257(96)00250-7.
- Xavier, A. C., Vettorazzi, C. A. 2004. Mapping leaf area index through spectral vegetation indices in a subtropical watershed. *International Journal of Remote Sensing* 25, 1661–1672. doi.org/10.1590/S0103-90162004000300001.