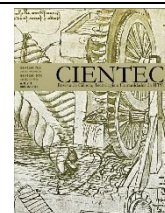




Análises de mudanças na paisagem nas margens do lago da barragem do rio da Dona a partir do uso de técnicas do sensoriamento remoto

Analysis of landscapes changes at the lake banks of Dona river dam based on the use of techniques of remote sensing



Artigo

Submetido em 03.06.15 | Aceito em 02.12.15 | Disponível on-line em 20.09.17

Wedmo Teixeira Rosa *, **Viviane da Silva Santos**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco | * wedmo@recife.ifpe.edu.br

Antonio Andrade Mota

SEC/BA

RESUMO

O rio da Dona percorre os municípios de Varzedo, Santo Antonio de Jesus, São Miguel das Matas e Jaguaripe, todos na Bahia. No final da década de 1990 foi construída uma barreira artificial de concreto para retenção de água no médio curso do leito principal do rio, próximo da BR-101, no município de Santo Antonio de Jesus, para abastecimento de água da sede desse município, pois o reservatório de água superficial anterior não conseguia mais suprir a população da cidade. Nesse sentido, o objetivo principal deste trabalho é analisar as mudanças na paisagem no entorno do atual lago da barragem do rio da Dona que se formou depois da construção da barragem, identificando as principais transformações relacionadas ao solo e, especialmente, a cobertura vegetal. Os procedimentos metodológicos estão associados ao uso de técnicas do Sensoriamento Remoto a partir da análise dos Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI), Índice de Vegetação Ajustado para os Efeitos do Solo (Soil Adjusted Vegetation Index - SAVI), e Índice de Área Foliar (IAF), além da análise do Albedo Planetário. A análise dos dados coletados permitiram observar que no entorno da barragem do rio da Dona houve um aumento do solo exposto com pouca vegetação nas margens do lago, que sinaliza o avanço da erosão e uma diminuição da vegetação densa. O acompanhamento rigoroso das transformações que ocorrem na paisagem do entorno do lago de uma barragem é fundamental para minimização de impactos ambientais e verificação do respeito e cumprimento à legislação ambiental existente em nosso país.

Palavras-chaves: Índices de Vegetação, Mudanças na Paisagem, Rio da Dona, Santo Antonio de Jesus – BA.

ABSTRACT

Dona River flows through Varzedo, Santo Antônio de Jesus, São Miguel das Matas and Jaguaripe counties, in Bahia. At the end of the 1990s it was built an artificial barrier of concrete to water retention in the middle reaches of the main bed river near road 101 (BR-101), in Santo Antonio de Jesus. It had the objective of constructing a new water supply system in this city because the previous one could no longer feed the city population. Therefore this paper aims to analyze the changes in the landscape of the lake from Dona River dam that was formed after the dam construction. We will also identify the main changes related to soil and especially the vegetation cover. The methodological procedures are associated with the use of techniques of Remote Sensing from the analysis of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI), and Leaf Area Index (LAI), in addition to the Albedo Planetarium analysis. The data analysis allowed observing that there was an increase of bare soil with little vegetation on the banks of the lake near the Dona River dam, which signals the erosion increase and reduction of vegetation density. Strict monitoring of the changes occurring in the landscape near the lake of a dam is critical to minimizing environmental impacts and verification of respect and comply with environmental legislation in our country.

Keywords: Vegetation indices, Changes in landscape, Dona River, Santo Antônio de Jesus - BA.

1 Introdução

A análise de transformações na paisagem de um determinado local é complexa e exige do pesquisador um esforço minucioso para avaliar as mudanças nos diversos fatores ambientais, que interagem simultaneamente, numa relação de interdependência. Em uma primeira observação, grosso modo, a principal mudança na paisagem do entorno da barragem do rio da Dona foi a formação de um pequeno lago a montante da construção de sua barreira de concreto em 1998. No entanto, pretende-se aqui, aprofundar esta análise, especialmente em relação a cobertura vegetal, usando-se técnicas de sensoriamento remoto (ELACHI & VAN ZYL, 2006) a partir de diversos índices de vegetação e do albedo planetário, além de analisar o uso da terra ao longo do tempo para avaliar as mudanças ocorridas entre os anos de 1996 e 2010.

O rio da Dona tem pouco mais que de 100 km de extensão, e percorre os municípios de Varzedo, Santo Antonio de Jesus, São Miguel das Matas e Jaguaripe, localizados na Região Econômica do Recôncavo Sul da Bahia, apresentando uma diversidade de aspectos ambientais, econômicos, sociais e culturais no entorno das margens de seu curso. Esse curso d'água sofre com a ação antrópica ao longo do tempo, especialmente com a retirada da cobertura vegetal, assoreamento e erosão nas proximidades de seu leito principal.

O rio da Dona nasce na parte oriental da Serra da Jibóia, localizado no município de Varzedo e tem sua foz na zona costeira do município de Jaguaripe. Em 1998, a Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A. (EMBASA) construiu uma barreira artificial de concreto para retenção de água no médio curso do leito principal do rio, às margens BR-101, no município de Santo Antonio de Jesus, para abastecimento de água da

sede municipal. Isso ocorreu porque o reservatório de água superficial anterior não conseguia mais suprir a população da cidade devido ao seu rápido crescimento urbano e aos problemas ambientais existentes no entorno da pequena lâmina de água desse reservatório, que diminuiu, consideravelmente, o volume de água ao longo do tempo e comprometeu a sua qualidade.

O objetivo principal deste trabalho é analisar as mudanças na paisagem no entorno do atual lago da barragem do rio da Dona (figura 1), localizado no território do município de Santo Antonio de Jesus, nas proximidades da BR-101, identificando as principais transformações relacionadas ao solo e, especialmente, à cobertura vegetal.

A identificação e discussão dessas transformações serão feitas com base no uso de técnicas do Sensoriamento Remoto a partir da análise dos índices de vegetação, Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI), Índice de Vegetação Ajustado para os Efeitos do Solo (Soil Adjusted Vegetation Index - SAVI), e Índice de Área Foliar (IAF); além da análise do Albedo Planetário.

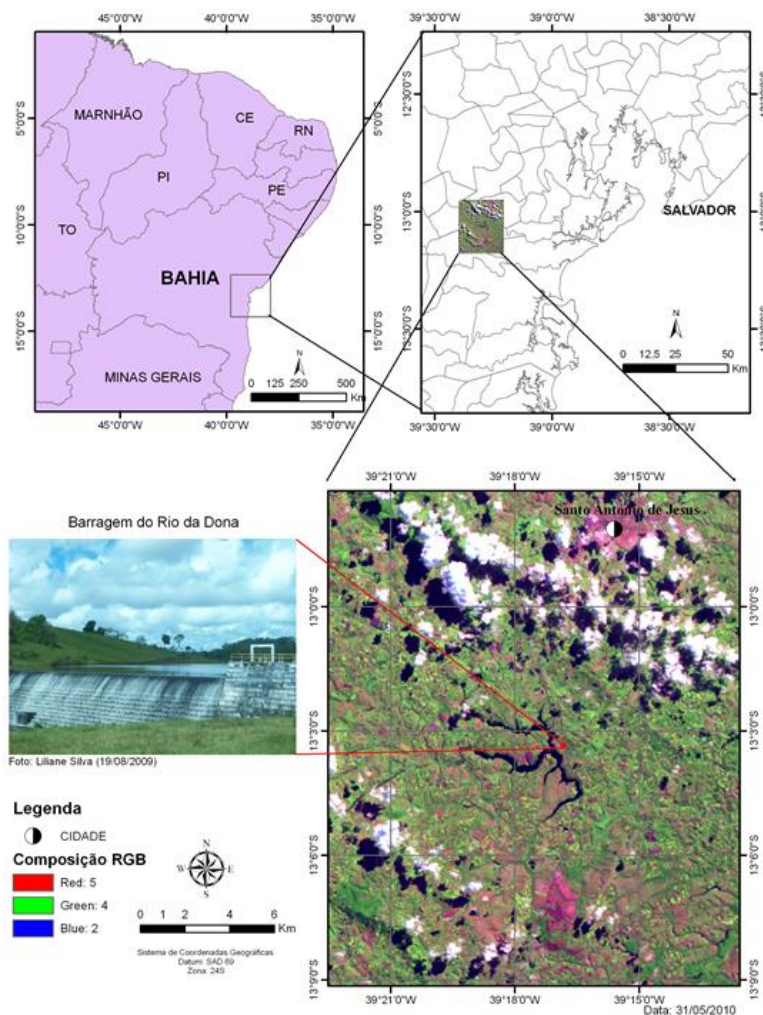
2 Material e Método

Foram selecionadas para esse trabalho duas imagens orbitais LANDSAT 5 TM (Thematic Mapper), adquiridas gratuitamente no catálogo de imagens Landsat no site do Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE). As cenas selecionadas foram referentes a passagem do satélite nos dias 08/05/1996 e 31/05/2010, na órbita 216, ponto 69. Para o pré-processamento das imagens – empilhamento das bandas espectrais, realização do recorte, registro –, e processamento das imagens – calibração

radiométrica, obtenção da reflectância, determinação de índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF) e do Albedo Planetário utilizou-se o software Erdas Imagine 9.1 (versão demonstrativa), sendo que a montagem final dos

layouts foi elaborado no software ArcGIS 9.3, no Departamento de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco (DCG/UFPE)

Figura 1: Mapa de localização da Barragem do Rio da Dona Santo Antonio de Jesus-BA (2010)



Fonte: INPE – Catálogo de Imagens.

Inicialmente foi realizado o empilhamento das bandas espectrais das duas cenas, depois foi realizado o registro das imagens e, em seguida, o recorte de área de estudo. No processamento das imagens se usou modelos matemáticos entre bandas espectrais com a ferramenta *Model Maker* do demonstrativo *Erdas Imagine 9.1*, encontrados no material escrito do minicurso “Determinação da evapotranspiração com imagens LANDSAT 5 – TM e SEBAL”, ministrado pelos professores Drs. Bernardo Barbosa da Silva e José Carlos Mendonça no Congresso Brasileiro de Agrometeorologia (SILVA & MENDONÇA, 2007). Destacaram-se para a realização deste trabalho as seguintes etapas:

a) Calibração Radiométrica – constitui-se no processo onde o número digital (ND) de cada pixel da imagem é transformado em radiância espectral monocromática.

a calibração é efetivada segundo a equação (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 (número digital – número inteiro de 0 a 255); e i corresponde as bandas (1, 2, ... e 7) do satélite Landsat 5 - TM (SILVA & MENDONÇA, 2007, p. 6).

b) Obtenção da Reflectância – esse cálculo é feito a partir da razão entre o fluxo de radiação refletida e o fluxo de radiação incidente de acordo com a equação Allen et al (2002 *apud* SILVA & MENDONÇA, 2007):

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

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, Z é o ângulo zenital solar e d_r é o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol.

c) Índices de Vegetação: de acordo com Silva & Mendonça (2007):

- i. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) – este índice foi determinado através da razão entre a diferença das refletividades do infravermelho próximo (ρ_{IV}) e do

$$NDVI = \frac{\rho_{IV} - \rho_V}{\rho_{IV} + \rho_V} \quad (3)$$

vermelho (ρ_V), pela soma das mesmas:

onde ρ_{IV} e ρ_V correspondem, respectivamente, as bandas 4 e 3 do Landsat 5 – TM.

- ii. Índice de Vegetação Ajustado para os Efeitos do Solo (SAVI) – o cálculo deste índice busca amenizar os efeitos do “background” do solo, foi utilizada a expressão Huete (1988 *apud* SILVA &

$$SAVI = \frac{(1+L)(\rho_{IV} - \rho_V)}{(L + \rho_{IV} + \rho_V)} \quad (4)$$

MENDONÇA, 2007):

onde L é constante. Nesse trabalho utilizou-se $L = 0,3$.

- iii. Índice de Área Foliar (IAF) – este índice é um indicador da biomassa de cada pixel

da imagem e o mesmo foi computado pela seguinte equação empírica obtida por Allen et al. (2002 *apud* SILVA & MENDONÇA, 2007):

- d) Albedo Planetário - O albedo não ajustado a transmissividade atmosférica é efetuado

$$IAF = - \frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad (5)$$

através da combinação linear das reflectâncias monocromáticas:

$$\alpha_{\text{toa}} = 0,293\rho_1 + 0,274\rho_2 + 0,233\rho_3 + 0,157\rho_4 + 0,033\rho_5 + 0,011\rho_7 \quad (6)$$

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. (SILVA & MENDONÇA, 2007).

3 Resultados e Discussão

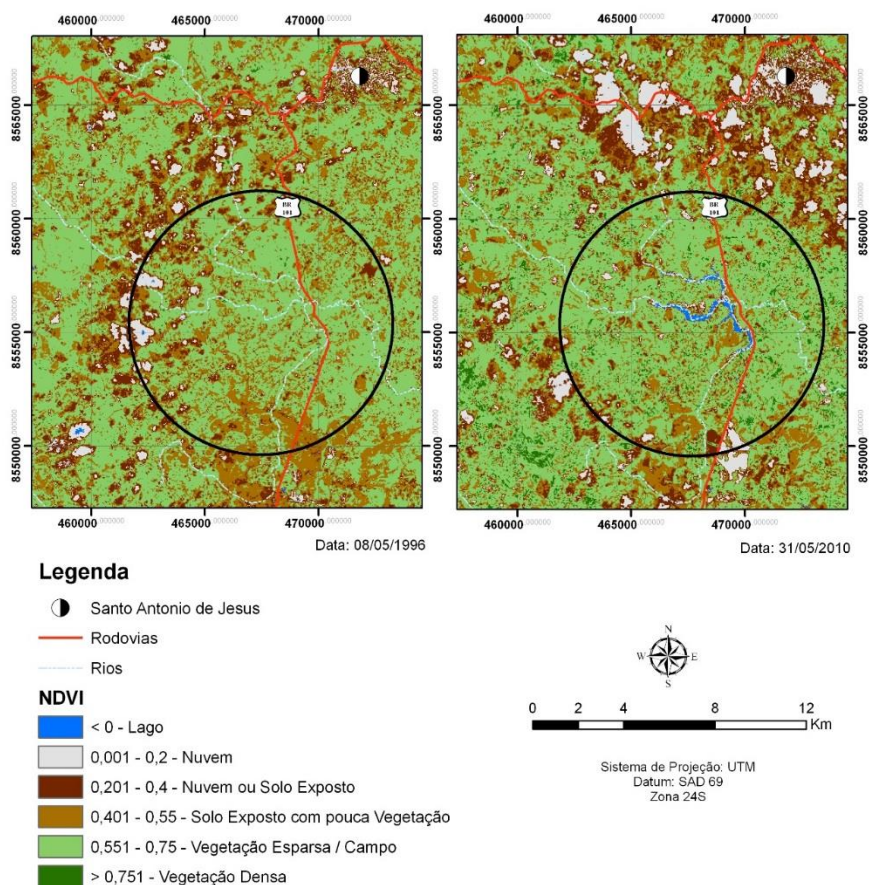
Para fazer a análise das transformações ocorridas no entorno da barragem do rio da Dona, utilizou-se técnicas de Sensoriamento Remoto verificando o Albedo Planetário e aplicando-se os índices de vegetação NVDI, IVAS e IAF, que segundo Rouse et al. (*apud* SANTIAGO et al., 2009) baseiam-se em simples combinações das reflectâncias do visível e do infravermelho

próximo e são os mais utilizados atualmente. Além disso, “o sensoriamento remoto tem se tornado uma importante ferramenta para o levantamento do estado da vegetação e do valor de biomassa vegetal em escala regional em um curto espaço de tempo, uma vez que os equipamentos mais utilizados para a realização de medições em campo fornecem apenas leituras pontuais.” (OLIVEIRA, 2009, p. 21).

A presença de muitas nuvens dificultou a análise de toda a imagem, mas se selecionou as cenas que não apresentaram nuvens no entorno do lago da barragem para não interferir na avaliação da cobertura vegetal, pois essa é a principal área de estudo. Em todas as imagens analisadas a cor branca revela a presença das nuvens, marcando sua interferência na identificação do solo exposto e da área urbana de Santo Antonio de Jesus. Na análise do mapa de Albedo Planetário, diferenciou-se melhor as nuvens dos outros alvos.

Inicialmente a análise das transformações na paisagem no entorno da barragem do rio da Dona entre 08/05/1996 e 31/05/2010 foi feita a partir do NVDI (figura 2), que é “um indicador sensível da quantidade e da condição da vegetação verde. Seus valores variam de -1 a +1 e para superfícies com alguma vegetação o NDVI varia de 0 e 1, já para a água e nuvens o NDVI geralmente é menor que zero.” (SILVA & MENDONÇA, 2007, p. 10). Através deste índice foi possível distinguir 6 (seis) classes principais, com intervalos de -1,5 à 0,915 no ano de 2010 e de -0,706 à 0,875 no ano de 1996.

Figura 2 – NDVI no Entorno da Barragem do Rio da Dona
Santo Antonio de Jesus – BA



Fonte: INPE – Catálogo de Imagens

Os valores negativos revelam a presença de água, muito mais nítido no ano de 2010, devido a formação de um pequeno lago após a construção da barragem em 1998, dando até para visualizá-lo no centro da imagem. Nas duas imagens o solo exposto se insere, principalmente nos intervalos entre 0,201 à 0,550, sendo que nos intervalos entre 0,201 à 400 pode-se confundir com nuvens, como já foi abordado mais acima, e entre os intervalos 0,401 à 0,550 existe a presença de pouca

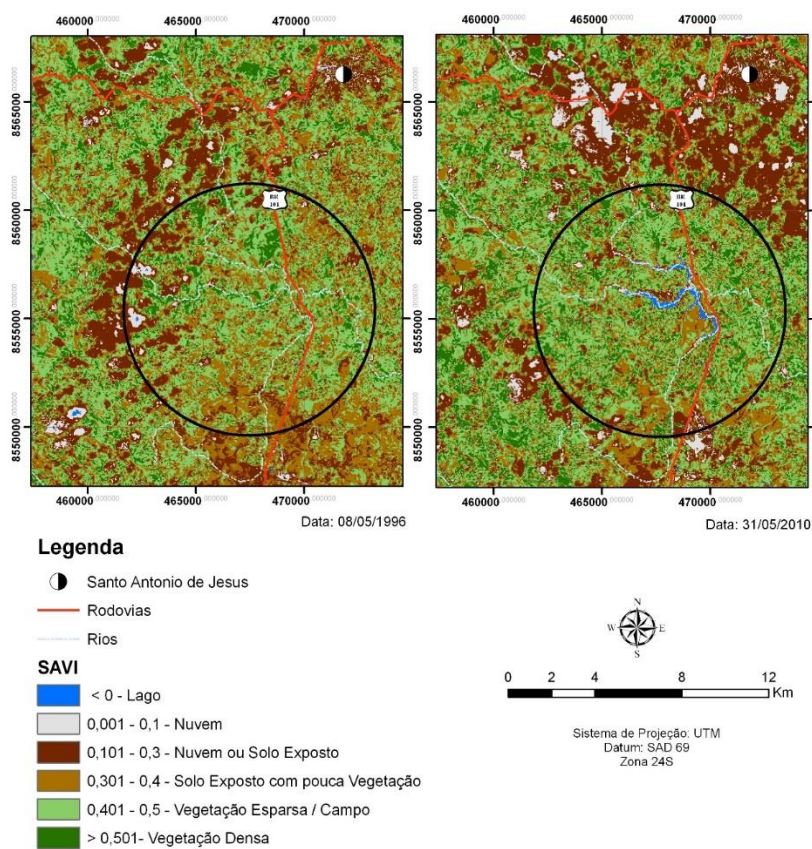
vegetação e atividades antrópicas. A vegetação esparsa e/ou campos (pastos) encontram-se nos intervalos de 0,551 à 0,750, e a vegetação mais densa, com presença de mata ciliar ou vegetação arbórea fechada, apresentam-se nos intervalos de 0,751 à 0,915 para o ano de 2010 e de 0,751 à 0,875 para o ano de 1996. Quando se compara as duas imagens do NDVI percebe-se que os alvos que mais responderam as alterações na paisagem entre os anos de 1996 e 2010, foram: a) o solo

exposto com pouca vegetação (0,401-0,550), que apresentou ligeiro aumento no ano de 2010, próximo ao lago que se formou com a construção da barragem, no entanto, houve uma diminuição desse alvo, especialmente ao sul da imagem; b) a vegetação esparsa/campo (0,551-750), que

aumentou visualmente na área de estudo, com exceção nas margens do lago.

Os mapas do SAVI (figura 3) foram analisados, também, a partir da identificação de 6 (seis) classes com valores mínimos de -0,216 e máximos de 0,699 para o ano de 1996 e valores mínimos de -0,212 e máximos de 0,739 para 2010.

Figura 3 – SAVI no Entorno da Barragem do Rio da Dona Santo Antonio de Jesus – BA



Fonte: INPE – Catálogo de Imagens.

O SAVI busca amenizar a presença do solo em meio à vegetação (SILVA & MENDONÇA, 2007). Nesses mapas ficaram mais nítidos os alvos referentes ao solo exposto e à vegetação, dando para diferenciar a vegetação densa ($>0,501$) da vegetação esparsa/campo ($0,401-0,500$). O solo exposto com pouca vegetação apresentou valores entre $0,301$ a $0,400$ e a nuvem ainda se confunde com solo exposto, especialmente nos intervalos entre $0,101$ a $0,300$. Os corpos hídricos, como no NDVI, apresentam valores negativos. A presença de vegetação densa é muito pequena, mas, sem dúvida alguma, o que chama mais atenção na comparação entre os mapas de 1996 e 2010 é a diminuição dessa vegetação com passar dos anos, principalmente no entorno do lago da barragem do rio da Dona, o que pode comprometer a qualidade da água do reservatório e aumentar os riscos de erosão. Assim como nos mapas anteriores, percebe-se o aumento da vegetação esparsa/campo, que avança sobre o solo exposto com pouca vegetação, sinalizando uma “recuperação” da área, especialmente de pastos, que demonstra um avanço da atividade da pecuária extensiva, comum na região.

O IAF “é definido pela razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área utilizada por essa vegetação” (SILVA & MENDONÇA, 1999, p. 10), sendo um indicador de biomassa. Para o IAF (figura 4), assim como nos outros índices de vegetação, foram estimados 6 (seis) classes, com valores mínimos e máximos $-0,471$ e $7,099$, para o ano de 1996 e $-0,466$ a $8,410$ para 2010.

Os valores negativos foram associados aos corpos hídricos e a presença de nuvem, identificados pela cor azul e branca respectivamente. Os intervalos entre $0,001$ a $0,300$ se confundem, mais uma vez, entre nuvem e solo exposto. A vegetação esparsa/campo ($0,701-1,200$) e a vegetação densa ($>1,201$) foram

os alvos que responderam melhor a esse índice. Percebe-se aí, um ligeiro aumento da vegetação densa no mapa de 2010 em relação ao mapa de 1996, e aos mapas anteriores, mais isso pode estar associado ao cultivo de algumas culturas como o cacau, a laranja, etc. Seria necessário um trabalho de campo para verificar esses dados. No entanto, ficou claro nos mapas que a vegetação densa diminuiu no entorno da lâmina de água formada pela barragem. Essa cobertura vegetal é formada por mata ciliar e vegetação arbórea fechada, fato que preocupa, pois o desmatamento pode maximizar os problemas ambientais existente no local como a erosão, que em alguns pontos encontra-se em estágio avançado, e o assoreamento.

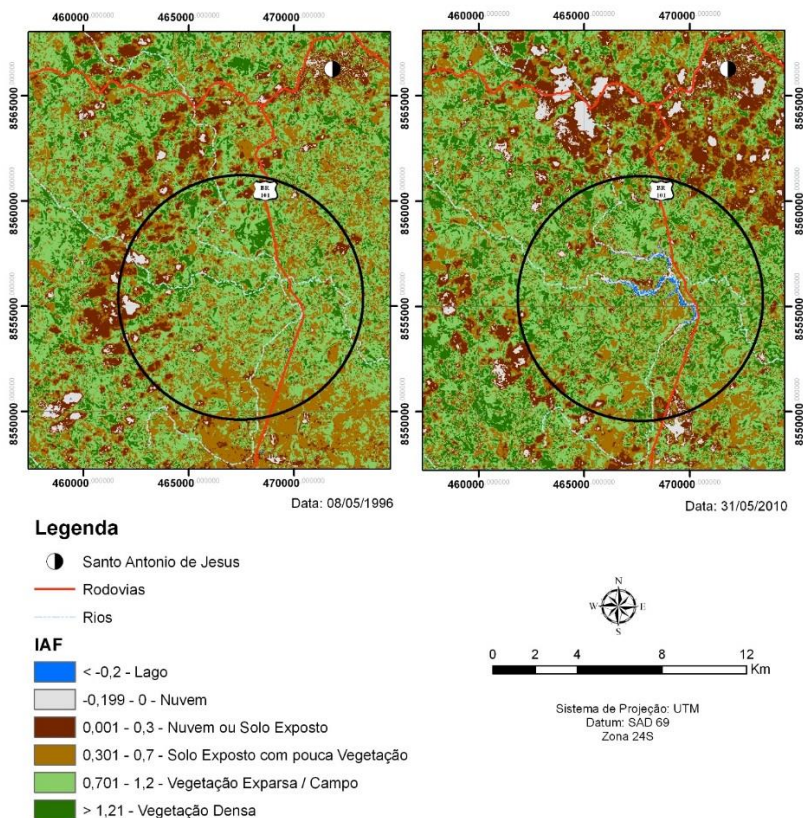
A EMBASA vem desenvolvendo um projeto, desde 2007, para recuperar a vegetação no entorno do lago, de modo a tentar evitar o avanço do assoreamento e de erosões, além de manter a qualidade da água do reservatório. “Quase 1.600 mudas de espécie nativas e frutíferas já foram plantadas nas margens da barragem do rio da Dona – que abastece o município de Santo Antonio de Jesus – em uma faixa de 30 metros acima da cota máxima de inundação” (PITA, 2007). Esse trabalho conta com a colaboração de membros da comunidade local, do Ministério Público da Bahia (MP-BA), do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), das Universidade do Estado da Bahia (UNEB) e Universidade Federal do Recôncavo (UFRB), além de grupos ambientalistas.

Por fim, se fez a análise do Albedo Planetário, que se caracteriza por uma fração refletida da energia radiante do Sol que incide sobre a Terra, sendo que sua variação temporal ajuda na monitoração das mudanças climáticas globais (VEISSID & PEREIRA, 2000, p. 26). Para a área de estudo selecionada, que não é

representativa para o estudo de mudanças climáticas globais, no modelo gerado de Albedo Planetário (figura 5) foram estimadas 5 (cinco) classes com valores variando entre os intervalos

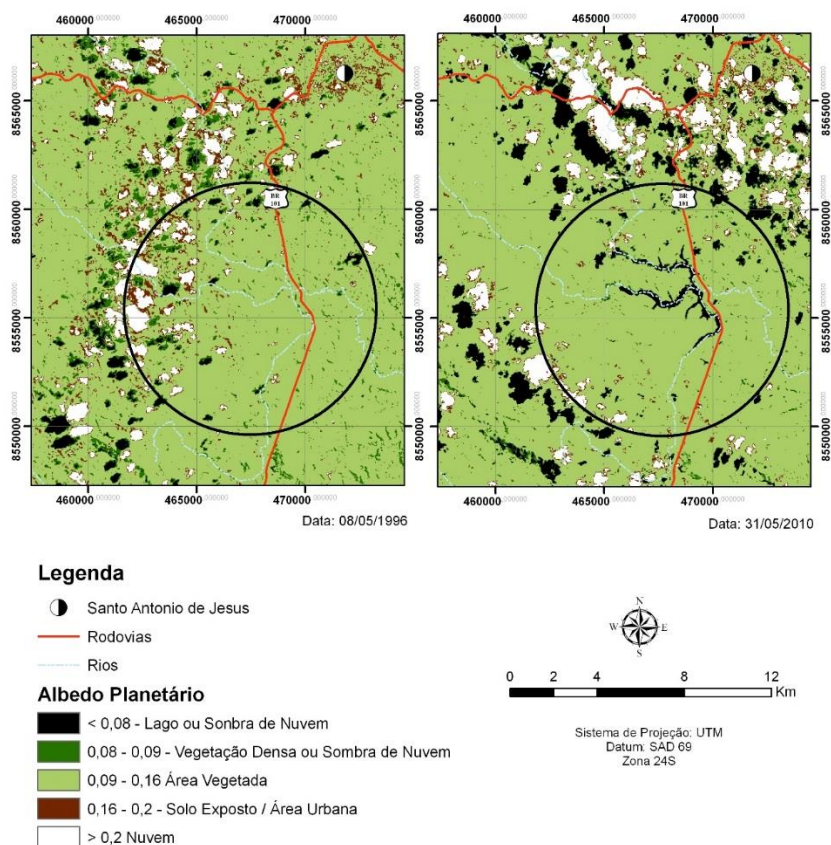
mínimos de -0,005 e máximos de 0,746 para o ano de 1996 e valores entre os intervalos mínimos de -0,005 e máximos de 0,706 para o ano 2010.

Figura 4 – IAF no Entorno da Barragem do Rio da Dona
Santo Antonio de Jesus – BA



Fonte: INPE – Catálogo de Imagens.

Figura 5 – Albedo Planetário do Entorno da Barragem do Rio da Dona
Santo Antonio de Jesus - Ba



Fonte: INPE – Catálogo de Imagens.

No mapa de Albedo Planetário ficou claro a diferença entre a nuvem ($>0,200$), que cobre grande parte da imagem; o solo exposto/área urbana ($0,161-0,200$), locais sem a presença de cobertura vegetal, concentrando-se, principalmente na sede do município de Santo Antonio de Jesus; e a área vegetada ($0,09-0,160$), que representa a maior parte do mapa, sendo que essa área é caracterizada por pastos, campos e vegetação esparsa, com pouca área de vegetação

densa. O lago da barragem do rio da Dona aparece na imagem de 2010 representada por valores menores que 0,080, assim como a sombra das nuvens. De modo geral, os valores mais elevados de albedo planetário foram associados as nuvens e ao solo exposto “nu” e/ou de área urbana, enquanto que os valores médios foram associados a áreas com alguma vegetação e os valores mais baixos a locais úmidos ou corpos d’água e a sombras de nuvens e de encostas.

4 Considerações Finais

O acompanhamento rigoroso das transformações que ocorrem na paisagem do entorno do lago de uma barragem é fundamental para minimização de impactos ambientais e verificação do respeito e cumprimento à legislação ambiental existente em nosso país. Um importante indicador de mudanças na paisagem é a análise da cobertura vegetal, pois esse elemento da paisagem muda, significativamente, a partir de atividades antrópicas. As técnicas do sensoriamento remoto pode ser um recurso fundamental no monitoramento da cobertura vegetal e identificação do aumento do solo exposto, ajudando no trabalho para recuperação de áreas degradadas e da vegetação no entorno da barragem do rio da Dona. A análise dos mapas permitiu observar que no entorno da barragem houve um aumento do solo exposto com pouca vegetação nas margens do lago, que sinaliza o avanço da erosão e uma diminuição da vegetação densa em 2010, apesar desse tipo de vegetação não ser tão significante em 1996.

É preciso mais atenção com as mudanças que vem ocorrendo no entorno da barragem do rio da Dona e melhor acompanhamento dos projetos que visam recuperar a cobertura vegetal e as áreas degradadas desse local, para não acontecer o esgotamento desse reservatório de água, comprometendo o abastecimento da cidade de Santo Antonio de Jesus e os recursos ambientais da região.

5 Referências

ELACHI, Charles; VAN ZYL, Jakob. **Introduction to the physics and techniques of remote sensing**. 2. ed. Hoboken (N.J.): John Wiley & Sons, 2006.

OLIVEIRA, T. H.; GALVÍNIO, J. D.; SILVA, J. S.; SILVA, C. A. V.; SANTIAGO, M. M.; MENEZES, J. B.; SILVA, H. A.; PIMENTEL, R. M. M. Avaliação da Cobertura Vegetal e do Albedo da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó com Imagens do Satélite Landsat 5. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 2865-2872. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.18.02.00>>. Acesso em: 07 jul. 2010.

OLIVEIRA, Tiago H. **Balço de radiação da bacia hidrográfica do Rio Moxotó-PE através de imagens TM LANDSAT-5 e ETM LANDSAT-7**. 2009. 71 f. Monografia (Bacharelado em Geografia) – CFCH/DCG/UFPE, Recife, 2009.

PITA, Cristina S. Replanteio de matas ciliares. **Jornal A Tarde**, Salvador, 28 de maio de 2007.

SANTIAGO, M. M.; SILVA, H. A.; GALVÍNIO, J. D.; OLIVEIRA, T. H. Análise da Cobertura Vegetal Através dos Índices de Vegetação (NDVI, SAVI e IAF) no entorno da barragem do Botafogo-PE. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 3003-3009. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.18.02.18>>. Acesso em: 07 jul. 2010.

SILVA, B. B. da; MENDONÇA, J. C. Determinação da evapotranspiração com imagens LANDSAT 5 – TM e SEBAL. In: XV CBA – Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Aracaju, 3 a 5 de jul. 2007.

VEISSID, N.; PEREIRA, E. B. Estimativa do albedo planetário empregando dados do experimento célula solar do satélite brasileiro SCD2. **Revista Brasileira de Geofísica**, São Paulo, v. 18, n. 1, p. 25-38, mar., 2000. disponível em:

<<http://www.scielo.br/pdf/rbg/v18n1/5878.pdf>>

Acesso em: 10 de jul. 2010.