

Aplicação do produto MOD13Q1 do sensor MODIS para o cálculo de área e volume do reservatório de Sobradinho-Bahia-Brasil.

Alzira Gabrielle Soares Saraiva Souza¹
Felipe Filgueiras de Almeida²
Jussara Freire de Souza Viana¹
Alfredo Ribeiro Neto³

¹ Doutorandas em Engenharia Civil pela UFPE, Recife - Pernambuco, Brasil, 50740-530
saxzira@yahoo.com.br; jussarafsouza@yahoo.com.br

² Graduando em Engenharia Civil pela UFPE, Recife - Pernambuco, Brasil, 50740-530
felipealmfilgueiras@hotmail.com

³ Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Civil, do Centro de Tecnologia e Geociências da UFPE, Recife - Pernambuco, Brasil, 50740-530
ribeiront@gmail.com

Abstract. The reservoirs develop the role of water storage, destined to multiple uses. For that, it's necessary to keep an storage volume and do a constant monitoring of these values, in order they comply with necessary demands. So, the use of remote sensing provides a continuous follow up of the water surface, in order to estimate the storage of water in big lakes. Because that, the present job intended to use the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) of MODIS sensor to quantify layer of water of Sobradinho reservoir, and, from them, calculate the volume for the years 2001 and 2010, respectively dry and rainy period in the region. The methodology used orbitals products and SIG software that allowed a multitemporal study of these parameters. It was also used the Gao et al. (2012) adapted equation for volume calculation. Comparing the period of reservoir's larger area at 2001 and 2010 years, it's observed that the first year corresponds to 79% of water body when compared to the last analysed year, also 2001 flood period area closer to water body area at 2010 dry period. The results of Sobradinho's reservoir storage capacity for analysed years, obtained through the adopted method in this work, showed up consistent with the amounts provided by CHESF, highlighting the potential of this research at reservoir capacity monitoring by remote sensing.

Palavras-chave: remote sensing, NDVI, area, volume, reservoir capacity, sensoriamento remoto, NDVI, área, volume, capacidade de reservatório.

1 Introdução

Tendo em vista a água como um recurso essencial à vida e que os reservatórios desempenham a função de armazenamento, com diversas finalidades, sendo destinados a usos múltiplos, dentre eles o abastecimento público, irrigação, controle de enchentes, geração de energia, dentre outros. É preciso que esses reservatórios mantenham um volume útil e que haja um monitoramento constante desses valores para que atendam as demandas necessárias e apresentem um gerenciamento e tomada decisão sobre a utilização dos recursos hídricos.

A fim de proporcionar esse monitoramento mais rigoroso, há duas décadas o sensoriamento remoto por satélite começou a mostrar promessa para estimar o armazenamento de água em grandes reservatórios e lagos (Gao *et al.*, 2012; Sawunyama *et al.*, 2006).

A maioria dos métodos que utilizam imagens de satélite para essa finalidade combina-os com observações *in situ* (Sawunyama *et al.*, 2006). No entanto, isso pode ser um grande obstáculo para estudos em grandes regiões, podendo até inviabilizar esses programas de monitoramento. Crétaux *et al.* (2011) foram os primeiros a monitorar variações de armazenamento de lagos usando exclusivamente dados de satélite.

As técnicas de geoprocessamento referentes ao sensoriamento remoto e aos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) estão cada vez mais interligadas (Florenzano, 2005). O

sensoriamento remoto é fundamental para o monitoramento dos recursos hídricos, permitindo uma melhor análise espaço-temporal desses ecossistemas. A disponibilidade crescente de diferentes tipos de sensores proporciona a obtenção de uma grande quantidade de informações, e de coleta de dados de lugares de difícil acesso, sem que haja contato físico direto com o objeto de interesse (Jensen, 2009; Novo 2008). Isso possibilita a realização de estudos de diversas naturezas e com a utilização dos *softwares* de SIG a integração de imagens de sensores remotos com outras fontes de dados, bem como a análise espacial, que permite a extração e o tratamento deles é facilitada (Florenzano, 2005). Dessa forma, com maior automatização de dados espaciais, permitindo melhor gerenciamento, rapidez e integração de informações, isso conseqüentemente possibilitará melhor tomada de decisão.

O monitoramento da capacidade de reservatórios e lagos podem ser realizadas a partir de sensores ópticos, bem como de radar (Sawunyama *et al.*, 2006). Crétaux *et al.* (2011) estimaram a área da superfície de um lago, usando diferentes fontes de imagens de satélite, como o LANDSAT, MODIS, ASAR (do satélite ENVISAT), entre outros.

Para sensores com cobertura diária, como MODIS, a frequência das observações é uma vantagem para a realização de um monitoramento constante, mas a resolução espacial é baixa, podendo ter maior viabilidade para grandes regiões.

Diante do exposto, o presente artigo tem por objetivo utilizar as imagens do Índice de Vegetação por Diferença Normativa (NDVI) do sensor MODIS para mapear a superfície da água do reservatório de Sobradinho, durante os anos de 2001, referente a um período de estiagem na região estudada e o ano de 2010, representando um período de cheia para o reservatório. Como a água apresenta baixo índice de NDVI, esse trabalho consistiu em agrupar esse alvo em uma única classe, a fim de quantificar a área do espelho d' água, fazendo uso de séries temporais de imagens orbitais, e a partir delas realizar o cálculo do volume.

2 Metodologia de trabalho

2.1 Área de estudo

A hidrelétrica de Sobradinho está localizada no Estado da Bahia (Figura 1), ficando a cerca de 40 km a montante das cidades de Juazeiro/BA e Petrolina/PE (MME, 2016). Esse reservatório está inserido na bacia hidrográfica do rio São Francisco, que é de domínio da União por abranger vários Estados brasileiros, estando localizado predominantemente na região nordeste do país, com área de aproximadamente 630.000 km² (MME, 2016).

Esse rio nasce na Serra da Canastra em Minas Gerais e passa por uma pequena porção de Goiás e do Distrito Federal e atravessa a Bahia, Pernambuco e sua desembocadura se dá no Oceano Atlântico entre os Estados de Sergipe e Alagoas (Santos, 2012). A usina está posicionada a 748 km da foz do rio principal, no médio curso do rio São Francisco, possuindo além da função de geração de energia elétrica, a de principal fonte de regularização dos recursos hídricos da região (MME, 2016).

O reservatório de Sobradinho está limitado pelas latitudes 9° e 11° sul e longitudes 40° e 43° oeste. Possui cerca de 320 km de extensão, com uma superfície de espelho d'água de 4.214 km², na sua cota máxima de 392,5 m, tendo 280 km de comprimento máximo e largura variável de 5 a 50 km; enquanto a cota mínima é de 380,5 m. Sua capacidade de armazenamento é de 34,1 bilhões de metros cúbicos, constituindo-se no maior lago artificial do mundo (MME, 2016; Santos, 2012).

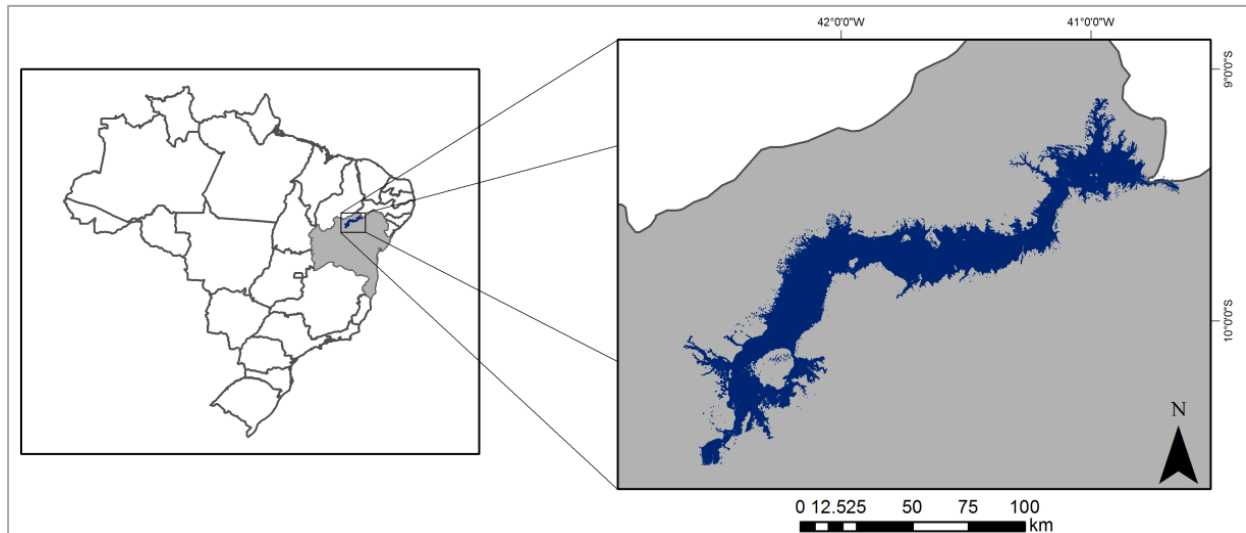


Figura 1. Mapa de localização do reservatório de Sobradinho-Bahia-Brasil.

2.2 Aquisição das imagens orbitais

Inicialmente foi realizada a aquisição dos dados orbitais do sensor MODIS que se encontra a bordo dos satélites Terra e Aqua que integram o Sistema de Observação da Terra (EOS) pertencente à Agência Espacial Norte Americana (NASA). Essas imagens possuem alta resolução temporal, com obtenção de imagens praticamente diárias de todo globo terrestre, com mosaico de imagens para os períodos de 8, 16 e 30 dias, e alta resolução espectral, capaz de fornecer imagens da superfície terrestre em 36 bandas. Esses dados são disponibilizados gratuitamente pelo portal da NASA, https://lpdaac.usgs.gov/data_access/data_pool. As aplicações desses produtos tem sido multi-temáticas.

Além das 36 bandas presentes no MODIS, esse sensor também possui uma variedade de pacotes de produtos. Para o estudo proposto o produto utilizado foi o MOD 13 Q1, que é composto por alguns subprodutos: dois índices de vegetação o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice de Vegetação Melhorado (EVI); duas imagens com informações que atestam a qualidade dos produtos Índice de Vegetação (*NDVI Quality* e *EVI Quality*); imagens refletância das bandas *RED*, *BLUE*, *NIR* e *MIR* e; três imagens referentes à maneira em que estes dados foram adquiridos (ângulo de visada, ângulo zenital solar e azimute) (Rosendo e Rosa, 2005).

Apesar dos dados do MODIS possuir alta resolução temporal, espectral e radiométrica (12 bits), a resolução espacial é baixa apresentando pixels de 250 m, 500 m e 1 km (Jensen, 2009; Rudorff *et al.*, 2007). O subproduto MOD 13 Q1 utilizado neste trabalho, de resolução espacial de 250 m e mosaico a cada 16 dias foi o índice de vegetação NDVI para a área do reservatório de Sobradinho, durante todo o ano de 2001 e 2010.

Como a área de interesse se localiza na divisa de três cenas (h14 v09, h13 v10, h13 v09) foram baixadas 138 imagens. Sendo necessária a realização do mosaico e recorte totalizando ao final desses procedimentos 46 imagens da área de interesse.

O NDVI é um índice que varia no intervalo [-1 1] e que indica a densidade de vegetação por área, destacando essa feição em relação às outras existentes na imagem (Equação 1), além de fornecer características como tipo vegetação, teor de água, biomassa e produtividade (Oliveira *et al.*, 2012).

$$\text{NDVI} = (\text{NIR}-\text{RED})/(\text{NIR}+\text{RED}) \quad (1)$$

em que, NIR é a banda do Infravermelho próximo (comprimento de onda = 0,8 micrômetros); e RED a banda do vermelho (comprimento de onda = 0,6 micrômetros).

2.3 Cálculo do espelho d' água do reservatório

O espelho d' água do reservatório de Sobradinho foi dividido em cinco áreas levando em consideração os postos fluviométricos distribuídos ao longo do reservatório. Para definir a área de domínio de cada posto foi aplicado o método do polígono de Thiessen (Figura 2), que consiste em determinar para cada estação, a zona de influência dos postos fluviométricos. O que significa que em qualquer ponto do lago é a estação mais próxima que tem uma influência total sobre esse ponto (Casado *et al.*, 2012).

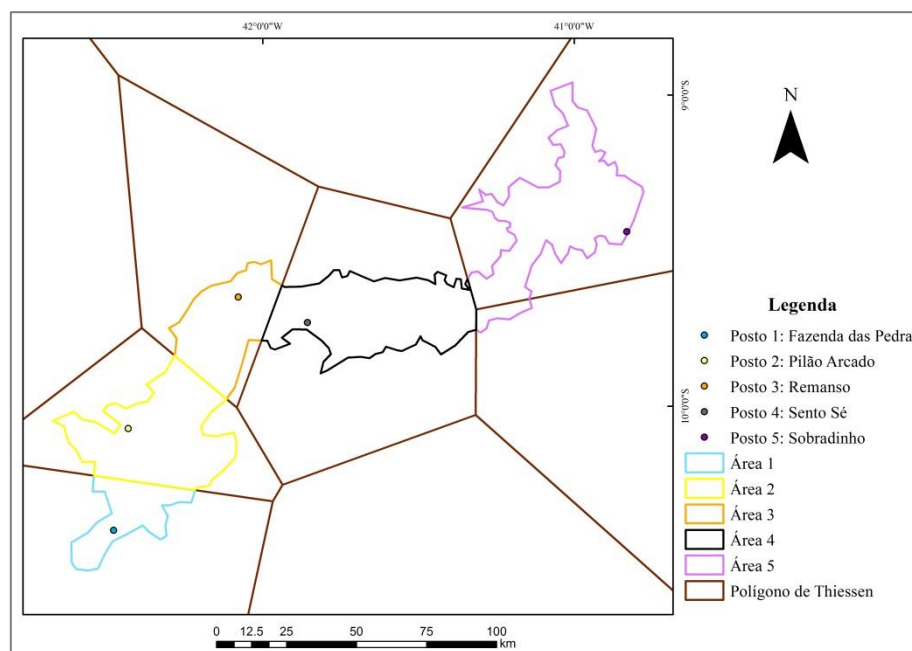


Figura 2. Aplicação do Polígono de Thiessen para determinar a influência dos postos fluviométricos distribuídos ao longo do reservatório de Sobradinho.

Posteriormente a classificação utilizando o classificador KMédias foram gerados os mapas e quantificados cada agrupamento por meio da ferramenta medidas de classe do SPRING 5.4.2. Nesse procedimento foi realizado o cálculo das áreas das classes temáticas, em metros quadrados.

2.4 Cálculo do volume do reservatório

Após a obtenção do valor de área das cinco regiões do espelho d' água do reservatório de Sobradinho foi realizado o cálculo do volume para cada um delas.

Para isso, foram utilizadas duas equações. A primeira teve a finalidade de obter o volume inicial para cada ano trabalhado. Assim foi preciso adotar o volume inicial de todo o lago, valor esse fornecido pela Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF) que foi de 15.943 Hm³, referente a data de 1 de janeiro para a imagem NDVI/MODIS de 2001 e de 24.587 Hm³ para o ano de 2010, também referente a primeira imagem do referido ano. Dessa forma, os volumes iniciais para cada área foram calculados conforme a Equação 2 para os dois anos estudados:

$$V_i = V_0 \times A_i/A_t \quad (2)$$

em que, V_0 é o volume inicial de todo o reservatório fornecido pela CHESF; A_i é o valor das áreas referentes a zona de influência de cada posto fluviométrico; V_i o volume calculado referente a cada área (A_i); A_t é a área total do reservatório.

Após encontrar o volume para cada área de interesse, referente a primeira imagem de 2001 e 2010 foi adotada outra equação para o cálculo dos demais volumes do período estudado. Os valores de cota ou nível de água do reservatório foram fornecidos pela CHESF.

A segunda equação utilizada foi adaptada de Gao *et al.*(2012), pois foi preciso utilizar o volume calculado na Equação 2. Dessa forma, os demais volumes para cada área foram calculados conforme a Equação 3:

$$V_{at} = V_{an} + (C_{at} - C_{an}) \times (A_{at} + A_{an})/2 \quad (3)$$

em que, V_{an} é o volume anterior; V_{at} é o volume atual a ser calculado, ou seja, os volumes atuais são calculados a partir do volume anterior; A_{at} é a área atual calculada, referente ao V_{at} ; A_{an} é a área anterior; C_{at} é a cota ou nível da água referente a área atual (A_{at}); C_{an} é a cota ou nível da água referente a área anterior (A_{an}).

3 Resultados e discussão

A carta-imagem apresentada na Figura 3 é referente ao período em que o lago apresentou maior área e nível de água no ano de 2001. Pela composição colorida é possível verificar que a imagem foi obtida no período chuvoso, já que a vegetação de caatinga nessa época apresenta folhagem e é possível distinguir solo de vegetação, o que não ocorre no período de estiagem havendo uma grande confusão da resposta espectral entre esses dois alvos.

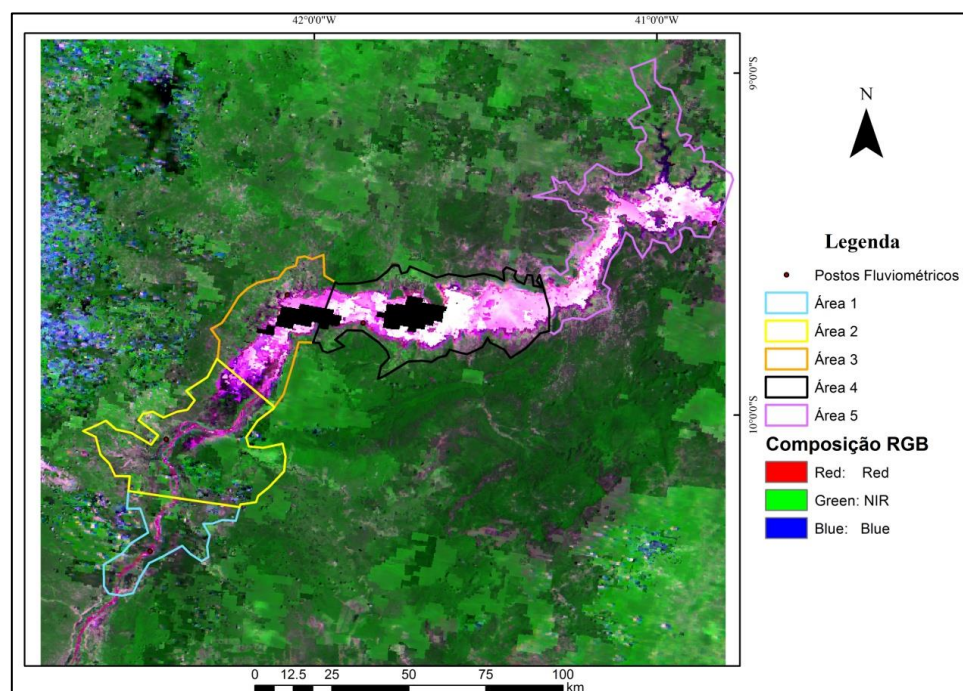


Figura 3. Carta-imagem com aplicação de contraste e composição das bandas 3 (R) , 4 (G) e 1 (B) do NDVI/MODIS do período de 01 de janeiro de 2001.

Na Figura 4 é apresentada as imagens NDVI/MODIS referentes a maior e menor área do espelho d'água para os dois anos estudados. Para o ano de 2001, a imagem datada em 1 de janeiro apresentou a maior área para o reservatório (Figura 4 A), e a de 30 de setembro remeteu a um período de estiagem para o referido ano (Figura 4 B). Para o ano de 2010, a maior área do espelho d' água ocorreu no período de 2 de fevereiro (Figura 4 C) e a menor em 1 de novembro (Figura 4 D).

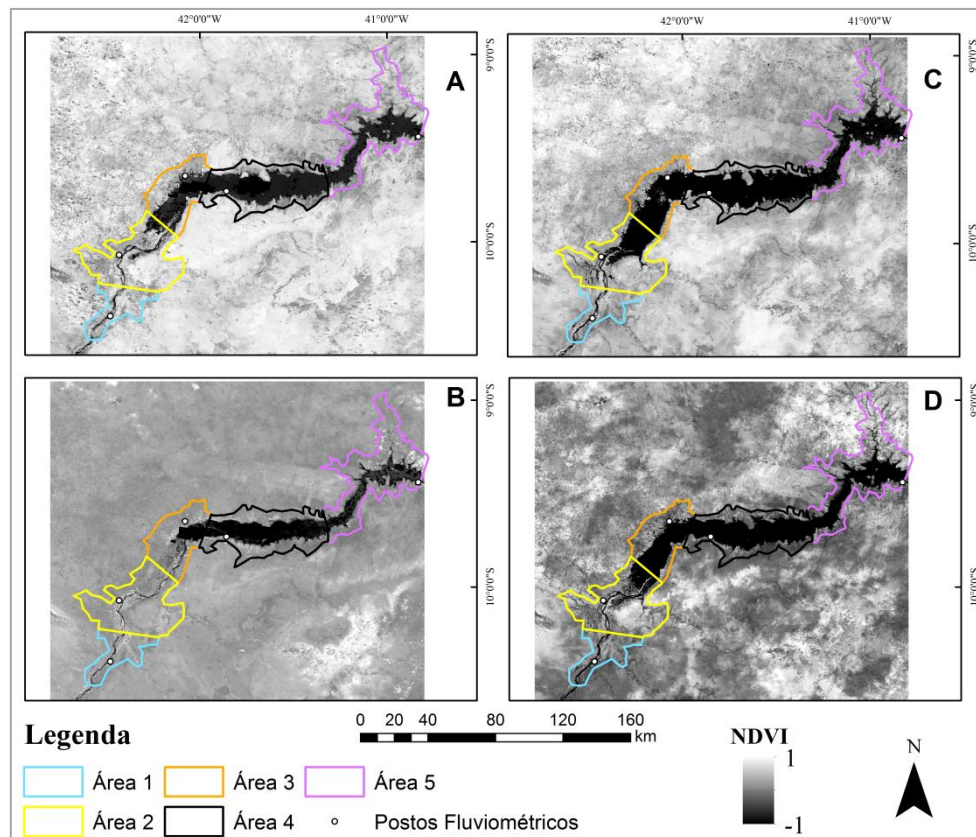


Figura 4. Imagens NDVI/MODIS para os dois anos estudados, no período de maior área do espelho d'água, 1 de janeiro de 2001 (A) e 2 de fevereiro de 2010 (C) e de menor área, 30 de setembro de 2001 (B) e 1 de novembro de 2010 (D).

Para quantificar a área do espelho d'água durante todo o ano de 2001 e 2010 foi realizada a classificação das imagens do NDVI/MODIS pelo classificador KMédias, sendo três o número de classes: água, solo úmido/cultura e vegetação. A água foi representada na tonalidade azul, solo úmido/ cultura representado na cor marrom e a vegetação em verde (Figura 5).

A partir dessas classificações foram gerados os mapas temáticos para posteriormente quantificar esses agrupamentos. Por meio da função medidas de classes, ferramenta do *software* SPRING, foi possível contabilizar o valor pertencente a cada classe dos mapas temáticos.

O classificador utilizado possibilitou agrupar de forma eficiente a classe água. Com isso, conseguiu-se delimitar e quantificar as áreas do espelho d'água. A maior área do reservatório para o ano de 2001 foi 2.424.832.511 m² (Figura 5 A), enquanto a de menor foi 1.497.219.990 m² (Figura 5 B). Fazendo uma comparação desses dois períodos para o referido ano contabilizou-se que a redução do espelho de água foi de 927.612.521 m².

Para o ano de 2010, a maior área foi de 3.055.576.519,57 m² (Figura 5 C) e a menor 2.225.169.841 m² (Figura 5 D), resultando em uma diferença de 830.406.678,57 m² para o referido ano. Fazendo uma comparação do período de maior área do reservatório nos anos de 2001 e 2010 observa-se que o primeiro ano corresponde a 79% do espelho d'água em relação ao último ano estudado, estando o período de cheia de 2001 com a área mais próxima do espelho d'água da época de estiagem em 2010.

Na Figura 6 é apresentado o comportamento do volume total do reservatório de Sobradinho obtido a partir dos cálculos de áreas por meio do mapeamento das imagens do NDVI/MODIS e comparados aos volumes fornecidos pela CHESF para os anos de 2001 e 2010. Em 2001 (Figura 6 A) pode-se observar que o volume mais expressivo ocorreu no primeiro trimestre do referido ano, tendo o seu ápice em janeiro, mês esse que também apresentou maior área do espelho d'água. Esse ano também foi mais seco em relação a 2010, que apresentou maior capacidade de armazenamento do reservatório para o período estudado com seu volume

máximo no mês de abril (Figura 6 B), sendo influenciado pelo valor da cota fornecido pela CHESF, apesar da área do espelho d' água ter sido maior em 2 de fevereiro. Os menores volumes tanto para 2001 quanto para 2010 foram registrados no mês de novembro, coincidindo com o valor de menor área do reservatório para o último ano.

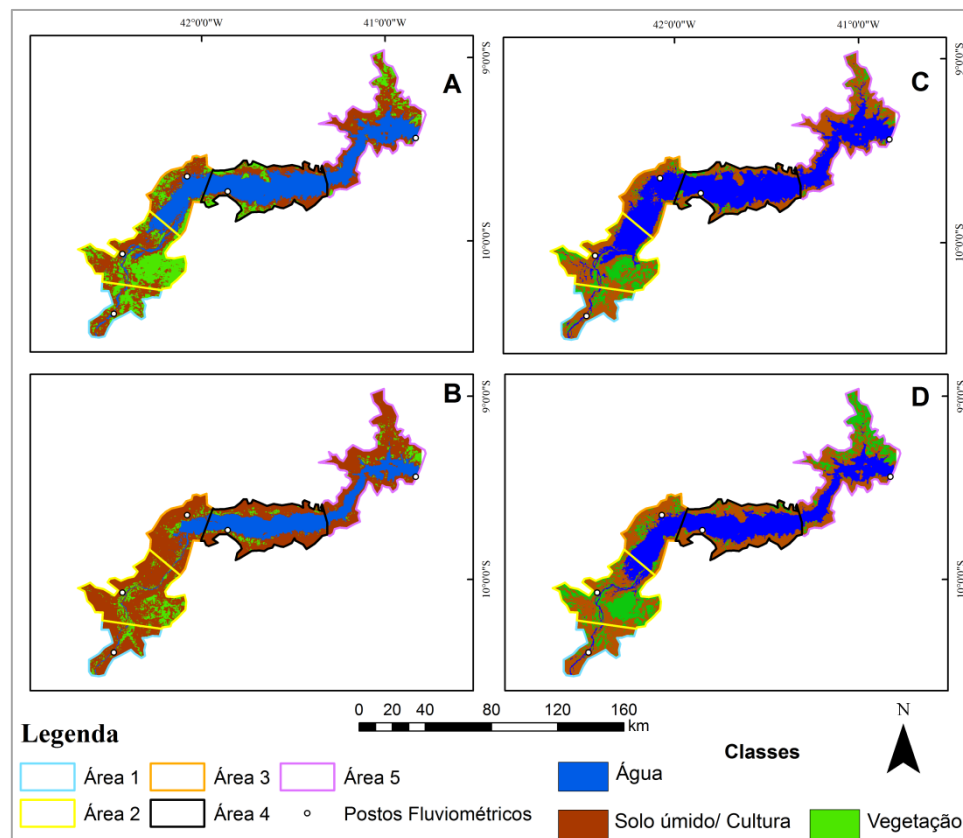


Figura 5. Mapeamento a partir das imagens do NDVI/MODIS pelo classificador KMédias para os dois anos estudados, no período de maior área do espelho d' água, referente a 1 de janeiro de 2001 (A) e 2 de fevereiro de 2010 (C) e de menor área, referente a 30 de setembro de 2001 (B) e 1 de novembro de 2010 (D).

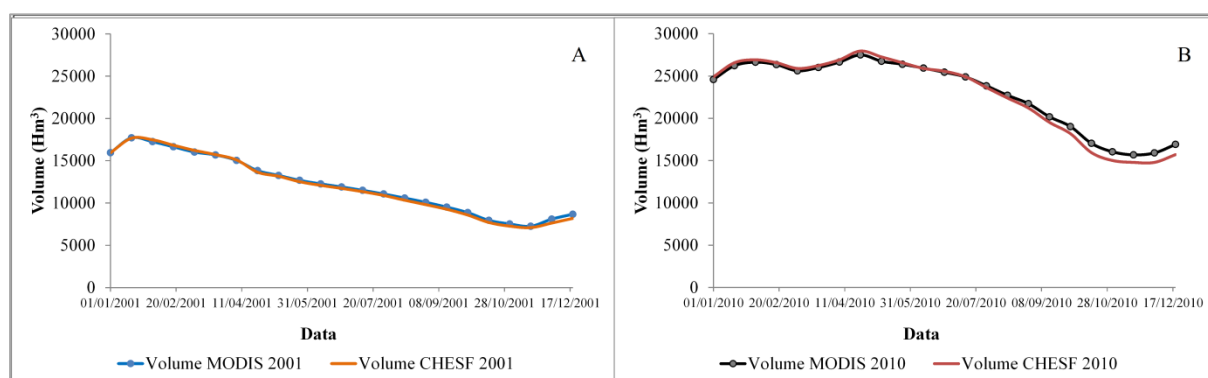


Figura 6. Evolução do volume total do reservatório obtido com base nas áreas mapeadas de imagens NDVI/MODIS e o volume fornecido pela CHESF durante os anos de 2001 (A) e 2010 (B).

Quando comparado a obtenção de volume proposto por este trabalho e os fornecidos pela CHESF verificou-se que em 2001 (Figura 6 A) os resultados apresentaram-se bem próximos diferindo um pouco no período de menor volume do reservatório. Já em 2010 (Figura 6 B), ano chuvoso para região, também se apresentou coerente com o volume fornecido pela CHESF diferindo mais quando o reservatório também atingiu sua menor capacidade e essa diferença foi mais expressiva em 2010 do que em 2001.

4 Conclusões

A utilização das imagens NDVI/MODIS permitiu um acompanhamento mais detalhado das áreas e volumes do reservatório de Sobradinho. Os volumes calculados a partir dessas imagens para os anos de 2001 e 2010, como proposto no artigo, mostraram-se coerentes com os volumes fornecidos pela CHESF apresentando maior diferenciação quando o reservatório atingiu menor capacidade de armazenamento, esse resultado foi observado nos dois anos estudados evidenciando a eficiência do método para o monitoramento da capacidade de armazenamento de reservatórios.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo apoio financeiro fornecido à primeira autora, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – (CNPq) pela concessão de bolsa de iniciação científica ao segundo autor, à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE) pelo apoio financeiro fornecido à terceira autora e a CHESF pelo fornecimento dos dados.

Referências Bibliográficas

- BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME). **Descrição do Aproveitamento de Sobradinho**. Disponível em: <<http://www.chesf.gov.br/SistemaChesf/Pages/SistemaGeracao/Sobradinho.aspx>>. Acesso 01 de novembro de 2016.
- CASADO, G. W. *et al.* Polígonos de Thiessen para a bacia hidrográfica do rio da Várzea, no Rio Grande do Sul. In: III Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente. 2012.
- CRÉTAUX, J. F., *et al.* (2011), SOLS: A lake database to monitor in the Near Real Time water level and storage variations from remote sensing data, **Adv. Space Res.**, 47(9), 1497–1507, doi:10.1016/j.asr.2011.01.004. 2011.
- FLORENZANO, T. G. Geotecnologias na geografia aplicada: Difusão e acesso. **Revista do Departamento de Geografia**, 17, 24-29. 2005.
- GAO, H. *et al.*, *Global monitoring of large reservoir storage from satellite remote sensing*. **Water Resources Research**, VOL. 48, W09504, doi:10.1029/2012WR012063, 2012.
- JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos naturais**. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.
- NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 3 ed. São Paulo: Blucher, 2008.
- OLIVEIRA, L. C. B.; GUASSELLI, L. A.; ANTUNES, R. L. S. Variação espaço-temporal de NDVI no rio Madeira, na área de aproveitamento hidrelétrico da UHE Santo Antônio-RO. **Revista Geonorte**, Edição Especial, v.2, n.4, p.1823-1832, 2012.
- ROSENDO, J. S.; ROSA, R. **Exemplo de aplicação do Produto MOD13Q1 disponibilizado pelo sensor MODIS/Terra**. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiânia. 3285 -3292p. 2005.
- RUDORFF, B. F. T.; SHIMABUKURO, Y. E.; CEBALLOS, J. C. (Orgs.). **O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil**. São José dos Campos, SP: Ed. Parêntese, 2007.
- SANTOS, J. G. dos. **Investigação metodológica de detecção de bordas de reservatório. Estudo de caso: reservatório de Sobradinho – BA**. 2012. Mestrado (Dissertação em Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação). Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife-PE. 117p. 2012.
- SAWUNYAMA, T., *et al.*, *Estimation of small reservoir storage capacities in Limpopo River Basin using geographical information systems (GIS) and remotely sensed surface areas: Case of Mzingwane catchment*, **Phys. Chem. Earth**, 31(15–16), 935–943. 2006.