

## AVALIAÇÃO DA DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DA REPRESA DE SERRA DA MESA/GO)

Gabrielle de Oliveira Xavier<sup>1</sup>, Larissa Moreira Alves Granado<sup>1</sup>, Carlos Magno Moreira de Oliveira<sup>1</sup>,  
Petrônio Diego Silva de Oliveira<sup>1</sup>, Victor Hugo Barros Costa<sup>1</sup>, Tati de Almeida<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade de Brasília, [gabrielleadm31@gmail.com](mailto:gabrielleadm31@gmail.com); [lary.mooreira@gmail.com](mailto:lary.mooreira@gmail.com); [cmagnoliveira@hotmail.com](mailto:cmagnoliveira@hotmail.com);  
[petroniodiego@gmail.com](mailto:petroniodiego@gmail.com), [victor.barros@gmail.com](mailto:victor.barros@gmail.com); [tati\\_almeida@unb.br](mailto:tati_almeida@unb.br).

### RESUMO

Esse trabalho tem por objetivo avaliar a dinâmica-espaço temporal da área da represa de Serra da Mesa (GO), por meio de imagens orbitais entre 1998 e 2018. Para estimar a área plana da represa foram utilizadas cinco imagens orbitais dos satélites/sensores Landsat 5/ TM e Landsat 8/ OLI nos anos de 1998, 2003, 2013 e 2018. Essas imagens foram processadas a fim de obter a área da represa (km<sup>2</sup>) e relacionar com o volume útil (m<sup>3</sup>) durante os anos. A represa tem apresentando variação constante no volume de água desde sua criação. Os maiores volumes de água foram constatados nos anos de 1998 e 2013, coincidindo com as maiores áreas da represa de 1050,51 km<sup>2</sup> e 1086,01 km<sup>2</sup>, respectivamente. Cerca de 71% da variação do volume de água útil pode ser explicado pela área plana da represa. Informações de sensoriamento remoto mostraram potencial para auxiliar no monitoramento da dinâmica temporal da represa.

**Palavras-chave**— água, índice de vegetação, sensoriamento remoto, geoprocessamento, represa.

### ABSTRACT

*The objective of this work is to determine the temporal space of the Serra da Mesa reservoir area (GO), using orbital images. To estimate the flat area, five orbital images of the Landsat 5 / TM and Landsat 8 / OLI satellites / sensors were used in 1998, 2003, 2013 and 2018. These images were processed with the objective of obtaining a reservoir area (km<sup>2</sup>) and relate to the useful volume (m<sup>3</sup>) over the years. One represents that it has maintained a constant variation without volume of water since its creation. The largest volumes of water were found in 1998 and 2013, coinciding with the reservoir areas of 1050.51 km<sup>2</sup> and 1086.01 km<sup>2</sup>, respectively. About 71% of the water volume variation can be explained by the flat area of the reservoir. Remote sensing information for the unmonitored potential of reservoir time dynamics.*

**Keywords** — water, vegetation index, remote sensing, geoprocessing, reservoir.

### 1. INTRODUÇÃO

A água é o recurso mais importante em todos os aspectos da vida, sua escassez provoca inúmeros danos ao ambiente.

Diversos fatores relacionados as atividades antrópicas e econômicas, podem ser responsáveis pelo aumento da demanda por água e o consumo exacerbado [11]. Portanto, o manejo adequado da água é essencial, pois influi diretamente na vida e o seu mau uso pode provocar degradação do meio físico natural [10].

O Brasil é o país mais rico em água potável, com 8% das reservas mundiais, concentrando 18% do potencial de água de superfície do planeta [7], no entanto, a aquisição de informações sobre volume e qualidade dos recursos hídricos ainda é escassa [10]. A necessidade crescente de recursos hídricos e as diversas mudanças ambientais, aliadas ao ineficiente gerenciamento dos recursos naturais, têm gerado problemas hídricos no Brasil.

Devido às características hídricas brasileiras, represas foram criadas a fim de abastecer populações e gerar energia. Áreas produtoras de energia elétrica, por meio do represamento de cursos de água, são importantes fontes não só para produção de energia, mas também para outros usos como recreação, pesca, controle de inundações e abastecimento de água para população [10]. A manutenção desses corpos de água, por meio de monitoramentos contínuos, gera informações para gestão dos recursos, o que garante os múltiplos usos da água por parte da população beneficiada por esses sistemas de abastecimento.

O volume de água em um reservatório é regulado pelo balanço hídrico entre os fluxos de entrada (precipitação, descarga de rios, descarga de indústrias e comunidades ribeirinhas) e os fluxos de saída (evapotranspiração, escoamento superficial e percolação para o lençol freático) [5] [1]. Estimativas ao longo do tempo do volume de água em reservatórios podem ser realizadas por meio de modelos matemáticos que relacionam variáveis como área plana, volume e profundidade que podem ser obtidas por meio de informações topográficas subaquáticas, porém tem sua precisão reduzida ao longo do tempo em função da dinâmica do curso de água [5].

O uso de técnicas de baixo custo e alta precisão, como o sensoriamento remoto por meio de imagens orbitais, torna-se ferramenta fundamental para o gerenciamento dos recursos hídricos numa escala espaço-temporal [10] [4] [6]. Dessa forma, dados de sensores remotos orbitais mostram-se como ferramenta potencial para o monitoramento das características qualitativas e quantitativas em reservatórios em face do grande número de reservatórios brasileiros, aliado

ao alto custo de implantação de sistemas de monitoramento contínuos [2]. Assim, esse trabalho objetiva investigar a dinâmica espaço-temporal da área plana do reservatório de Serra da Mesa por meio de imagens orbitais, no período de 1998 a 2018, utilizando técnicas de processamento digital de imagens.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido na Usina Hidrelétrica de Serra da Mesa, situada na bacia hidrográfica do Alto Tocantins no estado de Goiás. A barragem está localizada no município de Minaçu (GO) que fica a 1.790 km de sua foz (Figura 1). Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Minaçu apresentou população de 30.696 habitantes em 2017 e extensão territorial de 2.860,73 km<sup>2</sup>. A Usina Hidrelétrica de Serra da Mesa é considerada a maior represa do Brasil em volume de água, comportando cerca de 54,40 bilhões de m<sup>3</sup> e área de aproximadamente 1.784 km<sup>2</sup>. O clima da região é classificado como Aw, segundo Köppen-Geizer, clima tropical, com a menor temperatura acima de 18°C e verão chuvoso.

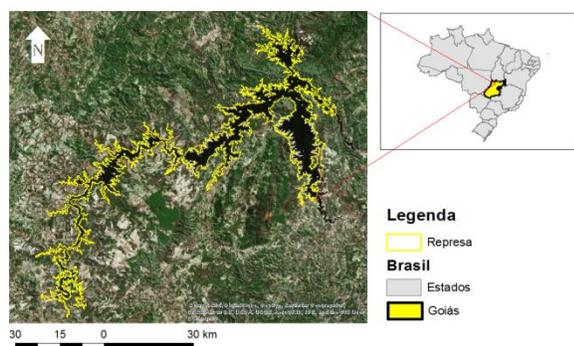


Figura 1. Localização da represa de Serra da Mesa no município de Minaçu (GO).

A bacia hidrográfica do Alto Tocantins apresenta, em sua maior extensão, predominância de neossolos e cambissolos, bem como latossolos em regiões de menor altitude e planas. Segundo Martins et al. (2015) as unidades geomorfológicas predominantes na bacia são a Superfície Regional de Aplainamento (SRA), caracterizado por não respeitar os limites litológicos ou estilos estruturais perfazendo várias unidades geológicas.

Para caracterização do regime de chuvas da região de estudo, bem como a variação das temperaturas máximas ( $T_x$ , °C) e mínimas ( $T_n$ , °C), foram adquiridos valores médios entre os anos de 1998 e 2018 por meio de estações meteorológicas automáticas (EMA) pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Como o município de Minaçu, onde está localizada a represa não possui EMA, foram utilizados os dados da EMA localizada no município de Pirinópolis (GO) em função da proximidade com a represa de Serra da Mesa.

Nesse estudo, optou-se por trabalhar com os limites das cenas dos satélites Landsat 5 – TM e Landsat 8 – OLI pertencentes a órbita 222 e ponto 070 que recobrem a barragem da represa Serra da Mesa. As imagens foram adquiridas em 28/08/1998; 11/09/2003; 28/09/2008; 22/09/2013 e 02/07/2018, totalizando 5 imagens processadas. As imagens dos satélites Landsat 5 – TM e Landsat 8 – OLI foram obtidos do repositório de imagens EarthExplorer (USGS) em reflectância de superfície.

A partir das imagens orbitais foi calculado o índice de vegetação por diferença normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI) para cada data a fim de extrair a região de inundação da represa e posteriormente verificar a variação da área inundada por meio da subtração das imagens. O NDVI foi escolhido entre os índices espectrais do *software* ENVI para extração da lâmina d'água pois, devido a preservação da área que margeia a represa, o mesmo apresenta um alto contraste entre vegetação/ água. Esses dados foram comparados com o volume de água da represa por meio dos dados informados pelo Sistema de Acompanhamentos de Reservatórios (SAR) gerenciado pela Agência Nacional de Águas (ANA) no período de 1998 a 2018. A relação estatística entre o volume de água e a área plana estimado por meio de imagens foi avaliado por meio do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), desvio padrão ( $S_{yx}$ ) e coeficiente de variação ( $CV\%$ ):

$$R^2 = 1 - \left( \frac{SQ_{res}}{SQ_t} \right)$$

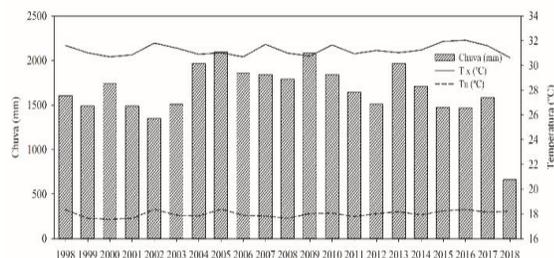
$$S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n-p-1}} \therefore S_{yx} \% = \frac{S_{yx}}{\bar{O}} * 100$$

em que,  $P_i$  é o i-ésimo valor estimado pela regressão,  $O_i$  é o i-ésimo valor observado no monitoramento da ANA,  $\bar{O}$  é a média aritmética da variável observada,  $SQ_{res}$  é a soma dos quadrados dos resíduos,  $SQ_t$  é a soma total dos quadrados,  $n$  é o número de dados observados.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

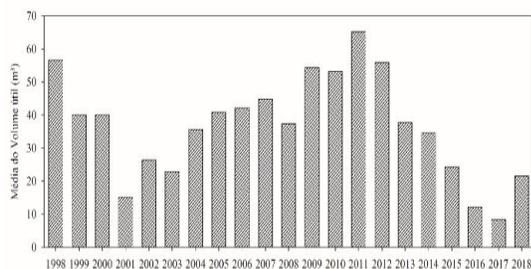
Os dados meteorológicos mostram que no período de 20 anos, entre 1998 e 2018, o maior volume de chuva ocorreu em dezembro de 2013 com aproximadamente 501 mm. Porém, quando se avalia a média de chuvas entre os 20 anos, em 2005 ocorreu a maior precipitação, com aproximadamente 174 mm, sendo também o ano com maior valor acumulado de chuvas (2095,10 mm). Com relação aos anos de menor precipitação, observa-se que em 2002, quatro anos após a construção da represa, houve o menor valor médio de precipitação no ano (112,57 mm) e, coincidindo, com o ano de menor valor de chuva acumulada (1350,90 mm). Com relação aos valores médios para temperatura, foi observado que o ano de 2000 apresentou os menores valores

de  $T_x$  e  $T_n$  com  $30,69\text{ }^\circ\text{C}$  e  $17,56\text{ }^\circ\text{C}$ , respectivamente. Já no ano de 2002 houve aumento nos valores de  $T_x$  e  $T_n$ , com valores médios de  $31,80\text{ }^\circ\text{C}$  e  $18,38\text{ }^\circ\text{C}$ , respectivamente, apresentando os maiores valores no intervalo de 20 anos avaliados (Figura 2).



**Figura 2. Dados de chuva (mm), temperatura máxima ( $T_x$ ,  $^\circ\text{C}$ ) e temperatura mínima ( $T_n$ ,  $^\circ\text{C}$ ) obtidas por meio de estação meteorológica automática (EMA) situada no município de Pirenópolis (GO).**

O reservatório de Serra da Mesa, construído em 1997, tem apresentado variações consideráveis no volume de água útil nos últimos anos. Os três menores volumes médios de água útil ocorreram nos anos de 2001 ( $15,06\text{ m}^3$ ), 2016 ( $12,18\text{ m}^3$ ) e 2017 ( $8,49\text{ m}^3$ ). Após o represamento, o maior volume médio de água ocorreu em 2011, com aproximadamente  $65,24\text{ m}^3$  de água útil (Figura 3).



**Figura 3. Valores médios do volume útil da represa Serra da Mesa obtidos do Sistema de Acompanhamento de Reservatórios (SAR)/ Agência Nacional de Águas (ANA).**

Por meio dos dados obtidos do SAR, observa-se que nos anos avaliados houve variação do volume de água útil presente na represa. Apesar de consideramos a obtenção dos dados no período que se caracteriza pelo baixo índice pluviométrico (entre os meses de agosto e setembro), o volume chegou a  $58,87\%$  do seu volume total, como no ano de 1998, e teve anos com baixo percentual de volume útil, com  $21,51\%$  do volume total, como em 2018 (Figura 3).

Esses dados mostram que o sistema se comporta de maneira diferente durante os anos, mesmo considerando que a região tem apresentado regimes pluviométricos similares. Os maiores percentuais de volume útil foram observados nos anos de 1998 e 2013, corroborando com os maiores valores de área plana estimada por meio das imagens orbitais,  $1050,51$  e  $1086,01\text{ km}^2$ , respectivamente (Tabela 2). Porém, há uma diferença de quase 20% entre os volumes de 1998 e 2013 e a diferença entre as áreas planas, no mesmo período,

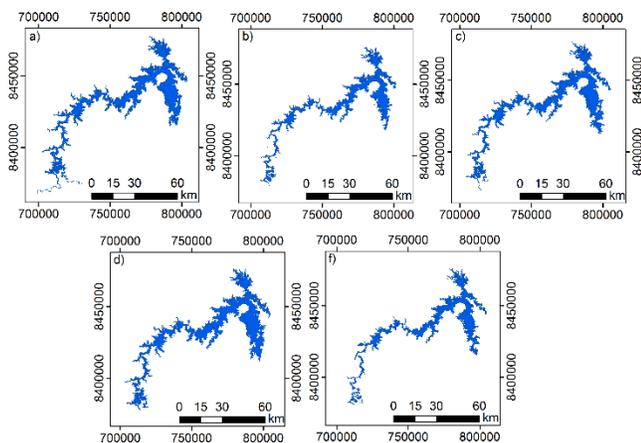
chegam a ser  $3,26\%$  aproximadamente. Essa diferença pode estar relacionada a variáveis como profundidade da calha do rio que tem constante mudança em função de sólidos carregados pelos leitos dos cursos de água a monte da barragem. Com relação aos menores volumes de água, observa-se que nos anos de 2003 e 2018 o sistema teve considerável redução no seu volume, sendo proporcionais aos valores de área plana encontrado,  $676,23\text{ km}^2$  e  $632,68\text{ km}^2$ . Em estudo realizado nos reservatórios de Barra Bonita, Ibitinga e Promissão, localizados no estado de São Paulo e classificados como reservatórios de acumulação, foi constatado que estes apresentaram menor espelho d'água no período de seco, diferente dos reservatórios do tipo filme líquido que apresentaram comportamento inverso [2].

**Tabela 2. Volume útil (%) e área plana ( $\text{km}^2$ ) para a Represa Serra da Mesa -GO no período de 20 anos.**

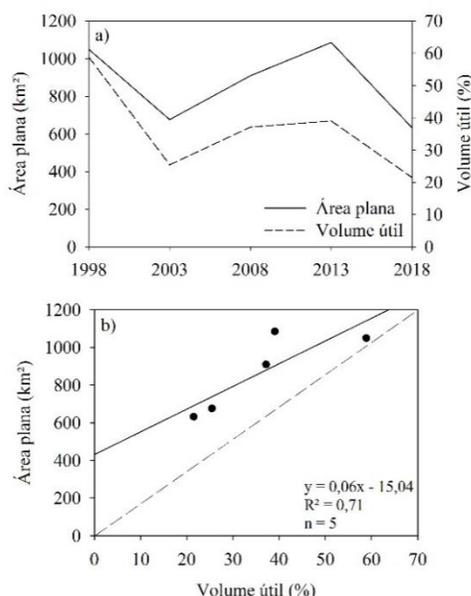
| Ano  | Data       | Volume Útil (%) | Área plana ( $\text{km}^2$ ) |
|------|------------|-----------------|------------------------------|
| 1998 | 28/08/1998 | 58,87           | 1050,51                      |
| 2003 | 11/09/2003 | 25,45           | 676,23                       |
| 2008 | 28/09/2008 | 37,18           | 909,68                       |
| 2013 | 22/09/2013 | 39,07           | 1086,01                      |
| 2018 | 02/07/2018 | 21,51           | 632,68                       |

Por meio da Figura 4, percebe-se forte relação entre a variação da área plana e o volume útil da represa. Segundo estudo realizado por Galo et al. (2002), em reservatórios classificados como de acumulação, esses tendem a variar o espelho d'água de acordo com o regime de chuvas na bacia hidrográfica da represa, ou seja, maior área plana no período de chuvas e redução da área no período seco. A represa de Serra da Mesa, inicialmente, apresentou um alto volume de água que estava relacionada a uma área plana de aproximadamente  $1050,51\text{ km}^2$  no ano de 1998. Em 2013 a represa alcançou volume próximo ao ano de 1998, porém com menor área plana, demonstrando que há forte dinâmica na altimetria do reservatório, ou seja, houve um aumento da profundidade do reservatório em detrimento da área plana o que ajudou o sistema a comportar o volume de água próximo ao encontrado em 1998.

A dinâmica espaço-temporal entre a área plana e o volume útil, demonstra que essa característica vem ocorrendo ao longo dos últimos anos na represa devido ao distanciamento entre as curvas de volume útil e área plana (Figura 5a). A relação entre as variáveis área e volume apresentaram coeficiente de determinação de  $0,71$ , indicando que setenta por cento da variação da variável dependente é explicado pela variável independente (Figura 5b). Os outros vinte e nove por cento da variação dos dados são explicados por outras variáveis como profundidade do reservatório como menciona Gupta e Banerji (1985).



**Figura 4. Variação da área plana da represa de Serra da Mesa (GO) nos anos de a) 1998, b) 2003, c) 2008, d) 2013 e e) 2018.**



**Figura 5. Variação entre o volume útil e área plana entre os 1998 e 2018; e b) regressão linear simples entre o volume útil e área plana para a represa de Serra da Mesa (GO).**

## 5. CONCLUSÕES

O sensoriamento remoto apresenta-se como uma alternativa de monitoramento hídrico eficiente, pois é possível inferir a partir de imagens de satélite informações proporcionais as séries históricas de monitoramento de volume hídrico ao longo de 20 anos, para a represa de Serra da Mesa (GO).

A partir da análise temporal feita com as imagens da represa de Serra da Mesa é possível observar que existe um padrão de cheias e secas ao longo dos anos, no entanto, as máximas de cheias têm sido reduzidas ao longo dos anos, o que evidencia a redução do volume hídrico da represa e

disponibilidade de água para geração de energia e consumo humano.

Diante das variações climáticas, são necessários monitoramentos contínuos dos níveis das represas a fim de mitigar possíveis impactos nos múltiplos usos da água e encontrar possíveis alternativas para perenizar o abastecimento de água com mínimo de impacto decorrente do alagamento de áreas.

## 6. REFERÊNCIAS

- [1] Busker, T.; Roo, A.; Gelati, E.; Schwatke, C.; Adamovic, M.; Bisselink, B.; Pekel, J.; Cottam, A. A global lake and reservoir volume analysis using a surface water dataset and satellite altimetry. *Hydrology Earth System Sciences Discussions*, v. 21, p. 1-32, 2018.
- [2] Galo, M. L. B. T.; Velini, E. D.; Trindade, M. L. B.; Santos, S.C.A. Uso do sensoriamento remoto orbital no monitoramento da dispersão de macrófitas nos reservatórios do complexo tietê. *Planta Daninha*, v. 20, p. 7-20, 2002.
- [3] Gupta, R. P.; Banerji, S. Monitoring of reservoir volume using landsat data. *Journal of Hydrology*, v. 77, p. 159-170, 1985.
- [4] Lopes, F. B.; Barbosa, C. C. F.; Novo, E. M. L. M.; Andrade, E. M.; Chaves, L. C. G. Modelagem da qualidade das águas a partir de sensoriamento remoto hiperespectral. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 18, p. S13-S19, 2014.
- [5] Lu, S.; Ouyang, N.; Wu, B.; Wei, Y.; Tesemma, Z. Lake water volume calculation with time series remote-sensing images. *International Journal of Remote Sensing*, v. 34, n. 22, p. 7962-7973, 2013.
- [6] Machado, T. M. S.; Baptista, G. M. M. Sensoriamento remoto como ferramenta de monitoramento da qualidade da água do Lago Paranoá (DF). *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 21, n. 2, p. 357-365, 2016.
- [7] Maia Neto, R.F. Água para o desenvolvimento sustentável. *A Água em Revista*, Belo Horizonte, n.9, p.21-32, 1997.
- [8] Martins, P. T. A.; Matos, R. M. P.; Bueno, A. F.; Paixão, A. C. A. S. S. Alteração na cobertura vegetal e uso da terra da bacia hidrográfica do Alto Rio Tocantins (Goiás): Influência das características físicas e a relação com as comunidades indígenas. *Ciência e Natureza*, v. 37, n. 4, p. 392-404, 2015.
- [9] Mendonça, Fernando Campos. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.*, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 465-473, Dec. 2000.
- [10] Paz, Vital Pedro da Silva; Teodoro, Reges Eduardo Franco; Pinto, Carlos & H B J Menezes, Paulo & Martinez, Jean & Roig, Henrique & Villar, Raúl & E Villar, A. Uso de imagens MODIS no monitoramento do fluxo de sedimentos no reservatório de Três Marias. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 2014.
- [11] Silva, J. S. Água e Agricultura Irrigada. *Palestra-Seminário Agricultura Irrigada Com Desenvolvimento Sustentável-Universidade Federal De Uberaba*. 2009.