

## **Image processing techniques as subsidy for the monitoring of water volume in reservoirs: a case study Ibimirim-PE, Brazil**

Evely F. Nascimento<sup>\*</sup>, Laízy de S. Azevedo<sup>\*\*</sup>, Ana Lúcia B. Candeias<sup>\*\*\*</sup>

<sup>\*</sup>Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação-PPGCGTG/UFPE.  
E-mail: evelyfnascimento@hotmail.com (autor correspondente)

<sup>\*\*</sup>Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação-PGCGTG/UFPE.  
E-mail: laizy\_azevedo@hotmail.com

<sup>\*\*\*</sup> Professora Associada III no Departamento de Engenharia Cartográfica - UFPE. E-mail: analucia@ufpe.br

Received 9 July 2019; accepted 6 December 2019

### **Abstract**

The dynamic constant of the volume of water in Reservoirs implies the need for continuous monitoring. Remote sensing in conjunction with geoprocessing and digital image processing are important tools in providing information that facilitates management and decision making in water resource management. The present work presents a methodology applied in images of the satellite Landsat 8, to verify the contribution of some image processing techniques, such as fusion and water index by normalized difference (NDWI), in the estimation of the volume of water in reservoirs. The study was carried out in the reservoir Engenheiro Francisco Saboia in the municipality of Ibimirim-PE, Brazil. The results were validated based on data provided by the Pernambuco Water and Climate Agency (APAC) and the National Water Agency (ANA). The methodology proved to be efficient in the monitoring of the volume of water in the reservoir, with the fusion of images and the NDWI a positive contribution in improving the accuracy of the results.

Keywords: image processing, monitoring of water volume, remote sensing.

## **Técnicas de processamento de imagem como subsidio para o monitoramento do volume de água em reservatórios: estudo de caso Ibimirim-PE, Brasil**

### **Resumo**

A constante dinâmica do volume de água em Reservatórios implica na necessidade de um monitoramento contínuo. O sensoriamento remoto em conjunto com o geoprocessamento e processamento de imagens digitais constituem-se como ferramentas importantes no fornecimento de informações que facilitam o gerenciamento e a tomada de decisão na gestão dos recursos hídricos. O presente trabalho apresenta uma metodologia aplicada em imagens do satélite Landsat 8, para verificar a contribuição de algumas técnicas de processamento de imagem, como fusão e índice de água por diferença normalizada (NDWI), na estimativa do volume de água em reservatórios. O estudo foi realizado no Reservatório Engenheiro Francisco Saboia no município de Ibimirim-PE, Brasil. Os resultados foram validados com base em dados disponibilizados pela Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) e Agência Nacional de águas (ANA). A metodologia mostrou-se eficiente no monitoramento do volume de águas em reservatório, tendo a fusão de imagens e o NDWI uma contribuição positiva na melhora da precisão dos resultados.

Palavras-chave: processamento de imagem, monitoramento do volume de água, sensoriamento remoto.

### **1. Introdução**

No Brasil, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), instituiu a Divisão Hidrográfica Nacional em doze Regiões Hidrográficas (RH): Amazônica, Tocantins-Araguaia, Atlântico NE Ocidental, Parnaíba, Atlântico NE Oriental, São

Francisco, Atlântico Leste, Atlântico Sudeste, Paraná, Paraguai, Uruguai e Atlântico Sul (ANA, 2018a).

Grupo de bacias, bacias ou sub-bacias hidrográficas próximas, com aspectos econômicos, naturais e sociais semelhantes são consideradas regiões hidrográficas. Esse critério de divisão das regiões tem por objetivo orientar o planejamento e gerenciamento

dos recursos hídricos em todo o Brasil.

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2018b), a Região Hidrográfica do São Francisco ocupa 7,5% do território brasileiro, abrangendo sete estados: Bahia, Minas Gerais, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Goiás e Distrito Federal. A precipitação média anual nesta região é muito abaixo da média nacional, apresentando frequentes situações de escassez de água.

O Comitê da Bacia Hidrográfica do São Francisco (CBHSF, 2013) afirma que cerca de 58% do seu território localiza-se no Semiárido, com registro de períodos críticos de estiagem. Porém a diversidade ambiental é expressiva, abrangendo quatro biomas: a Caatinga, o Cerrado, fragmentos de Mata Atlântica, além do ecossistema estuarino do rio.

Também é importante salientar que esta RH destaca-se na geração de energia para a região nordeste do país. Entre os principais reservatórios existentes no rio São Francisco, para controle de sua vazão e/ou geração de energia hidroelétrica, estão: Três Marias, em Minas Gerais, Sobradinho, Paulo Afonso e Itaparica, na Bahia e Xingó, localizado entre os estados de Alagoas e Sergipe.

A ANA juntamente com agências e instituições estaduais realizam o monitoramento e acompanhamento de reservatórios não só da região Nordeste como também de todo Brasil.

De acordo com dados fornecidos nos boletins quinzenais emitidos pela ANA, o ano de 2017 foi o sexto ano consecutivo em que os açudes da Região Nordeste do Brasil se encontravam em situação crítica, em termos de disponibilidade hídrica.

Albuquerque et al. (2014) afirmam que as técnicas de sensoriamento remoto têm sido fundamentais para realizar o monitoramento e mapeamento dos recursos naturais. Através de imagens de satélite, é possível ter uma visão ampla de uma região, permitindo a análise da dinâmica da paisagem em diferentes escalas espacial e temporal, variando conforme a configuração do sensor. Sensores remotos podem imagear grandes áreas auxiliando na estimativa do armazenamento de água em grandes reservatórios (Gao et al., 2012).

Conforme Barbosa (2012), considerando-se que a água é 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 e geração de energia, existe a necessidade de que eles mantenham um volume útil e que haja um monitoramento constante desses valores para que atendam as demandas necessárias e auxiliem no processo de gerenciamento e

tomada decisão sobre a utilização dos recursos hídricos.

Pequenos reservatórios são importantes para a subsistência em regiões semiáridas rurais. Para gerenciar e planejar esses reservatórios e avaliar seu impacto hidrológico em uma escala de bacia hidrográfica, é importante monitorar sua dinâmica de armazenamento de água (Eilander et al., 2014).

Em muitos casos, o monitoramento dos recursos hídricos é feito através de observações in loco, ou através da combinação desta com técnicas de processamento de imagens e geoprocessamento.

Collischonn e Clarke (2016) afirmam que o sensoriamento remoto vem sendo crescentemente usado como ferramenta em recursos hídricos, havendo tecnologias atualmente para a estimativa de várias componentes do ciclo hidrológico, como: precipitação, variação do armazenamento na superfície e nível d'água em rios e reservatórios. Muitas pesquisas propõem que esse controle seja feito aliando-se algumas técnicas de sensoriamento remoto como em Anjos et al. (2017) e Abreu (2016).

Neste trabalho foram avaliadas a contribuição da fusão de imagens e do índice de Água por diferença Normalizada (NDWI) no monitoramento do volume de água do Reservatório Engenheiro Francisco Saboia, Ibimirim, Pernambuco-Brasil que tem como função principal prover o abastecimento de água para consumo e irrigação.

## 2. Material e métodos

### *Caracterização da Área de Estudo*

Conforme o Plano Estadual de Recursos Hídricos (1998), o estado de Pernambuco é dividido em 29 Unidades de Planejamento (UP) Hídrico, sendo elas: 13 Bacias Hidrográficas, seis Grupos de Bacias de Pequenos Rios Litorâneos, nove Grupos de Bacias de Pequenos Rios Interiores e uma bacia de pequenos rios que compõem a rede de drenagem do arquipélago de Fernando de Noronha.

Segundo a Agência Pernambucana de Águas e Climas (APAC, 2018), as grandes bacias hidrográficas de Pernambuco possuem duas vertentes: o rio São Francisco e o Oceano Atlântico. As bacias que escoam para o rio São Francisco formam os chamados rios interiores sendo os principais: Pontal, Garças, Brígida, Terra Nova, Pajeú, Moxotó, Ipanema, além de grupos de pequenos rios interiores. As bacias que escoam para o Oceano Atlântico, constituem os chamados rios litorâneos, e os principais são: Goiana, Capibaribe, Ipojuca, Sirinhaém, Una e Mundaú

Quase todas as bacias hidrográficas pernambucanas situam-se dentro dos limites do Estado,

exceto as bacias dos rios Una, Mundaú, Ipanema e Moxotó que possuem parte de sua área de drenagem no Estado de Alagoas. Além destas, há pequenas bacias compartilhadas com os Estados do Ceará.

Para esta pesquisa foi utilizado como estudo de caso o Reservatório Engenheiro Francisco Saboia localizado no Município de Ibimirim, Pernambuco.

Este reservatório também é conhecido como açude Poço de Cruz e é considerado o maior

reservatório de água de Pernambuco, com capacidade superior a 500 milhões de metros cúbicos. Por este motivo ele foi utilizado nesta pesquisa como estudo de caso.

Foi construído no ano de 1957, faz parte da bacia hidrográfica do Moxotó e da região hidrográfica do São Francisco. Está localizado em Poço de Cruz no Município de Ibimirim-PE (Figura 1).

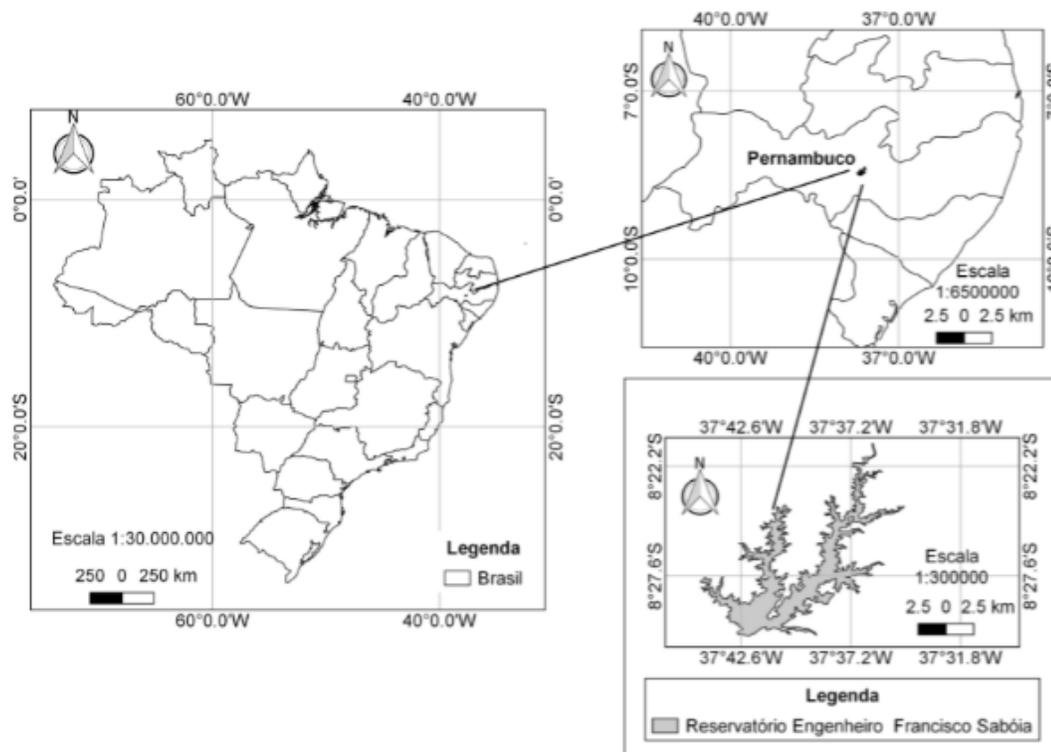


Figura 1 – Localização do Reservatório Engenheiro Francisco Saboia. Fonte: os autores (2018).

### Fusão de Imagens e NDWI

A fusão de imagens é uma das técnicas de realce com transformações espectrais. Meneses e Almeida (2012) dizem que seu principal objetivo é aumentar a resolução espacial das imagens multiespectrais de baixa resolução espacial, utilizando-se de uma imagem de alta resolução espacial, tal como a banda pancromática que atualmente diversos sensores possuem, ou então usando uma imagem de radar.

Existem várias técnicas de fusão de imagens, dentre elas: IHS, Componentes Principais, Gram-Schmidt e Brovey. Neste caso, destacou-se a IHS por ser de fácil execução e atender os requisitos desejados.

Na fusão IHS, a Intensidade (I), Matiz (H) e Saturação(S) são atributos da cor, fortemente, percebidos pela visão. O sistema IHS não é uma teoria de cor, e sim uma outra maneira de modelar igualmente uma representação espacial desses três

atributos, para a mesma cor obtida pelo espaço de cubo de cor. Ou seja, é uma transformação numérica do espaço de cor RGB para o espaço IHS.

A intensidade (I) é definida como a quantidade de brilho de uma cena. A Saturação (S) é o grau de diluição de uma cor pura por luz branca, e por isso é também chamada de pureza da cor. E Hue (H) ou matiz define a cor espectral dominante.

Para execução desta técnica, deve-se seguir as etapas descritas na Figura 2. Seleciona-se três bandas e executa-se a transformação do espaço cúbico RGB para IHS obtendo-se separadamente as componentes intensidade (I), matiz (H) e saturação (S). Substitui-se a componente I pela banda pancromática e preserva-se as componentes H e S. Aplica-se a transformação inversa do IHS para espaço de cores RGB.

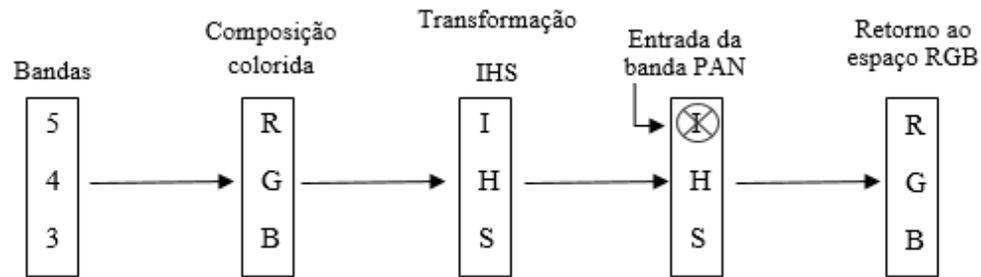


Figura 2 – Etapas do processo de transformação do espaço RGB para IHS. Fonte: Adaptado Meneses e Almeida (2012)

Um dos satélites imageadores que fornece dados para o sensoriamento remoto é o Landsat (Land Remote Sensing Satellite). A série Landsat teve início na segunda metade da década de 60, a partir de um projeto desenvolvido pela Agência Espacial Americana e dedicado exclusivamente a observações dos recursos naturais terrestres. Desde do início da missão foram lançados 8 satélites denominado de Landsat 1 até Landsat 8.

O Landsat 8 tem Resolução espacial de 15 metros para a banda Pancromática e 30 metros para as bandas multiespectrais, permitindo gerar imagens de 15 metros coloridas por fusão de imagens. Sua

Dados desse satélite podem ser utilizados para realização de operações aritméticas. Dentre essas operações, através da divisão de bandas, chega-se a um índice denominado NDWI (índice água por diferença normalizada). Conforme Meneses e Almeida (2012), esse índice requer o uso de uma banda situada na região do comprimento de onda próxima da cor verde e de uma banda situada no comprimento de onda do infravermelho próximo -ivp (Equação 1).

$$NDWI = (\text{verde} - \text{ivp}) / (\text{verde} + \text{ivp}) \quad (1)$$

Segundo McFeetrs (1996), a seleção desses comprimentos de onda foi feita para:

- (1) maximizar a refletância típica das características da água usando comprimentos de onda da luz verde;
- (2) minimizar a baixa refletância dos corpos de água no infravermelho próximo; e
- (3) Realçar o contraste entre a água e a cobertura vegetal, proporcionada pelo infravermelho próximo.

Para Guasselli (2014) este índice foi concebido com a finalidade de delinear ambientes de águas abertas, automatizando a determinação do limiar entre água e terra.

É possível determinar áreas de superfícies

de água, utilizando abordagens baseadas no limiar do índice NDWI, como mostram Lu et al., 2011 e Wu e Liu, 2014.

Essa metodologia tem se mostrado eficiente e apresenta vantagem de estimar a área da superfície da água com pouca computação. Como exemplo, o valor do NDWI de um pixel é negativo ou próximo de zero. Sendo assim, pode-se definir um limite para diferenciar pixels de água e de outros alvos em uma imagem de sensoriamento remoto (Islam et al., 2010).

#### Curva Cota X Área X Volume

A Curva Cota X Área X volume é uma curva que relaciona cota (termo utilizado para definir altitude, relacionada a profundidade relativa a um marco de referencial altimétrico conhecido em relação ao nível do mar), a área do espelho d'água e o volume associado.

De acordo com Collischonn e Clarke (2016), num reservatório já existente, a determinação desta curva é feita convencionalmente por meio de batimetria do manancial, levantando-se as profundidades em vários pontos da área inundada e fazendo-se a devida integração do volume. Caso o reservatório não esteja cheio no momento da batimetria, estima-se o volume adicional acima do nível d'água por aerofotogrametria.

Nem todos os reservatórios do Brasil dispõem de uma sistemática contínua para estimativa de sua batimetria. Muitas vezes, a informação disponível é referente a curvas cota-área-volume estimadas na época do projeto do açude, o que pode levantar dúvida sobre a consistência da informação.

Informações a respeito dessa curva referente a reservatórios no Brasil podem ser obtidas no site da ANA e das agências e instituições estaduais como a APAC, no caso do estado de Pernambuco (Tabela1).

Tabela 1 – Cota x área x volume referentes a reservatórios no Brasil.

Cota	Área	Volume
398	0	0
400	12.250,00	12.250,00
402	117.750,00	142.250,00
404	294.000,00	554.000,00
406	519.500,00	1.367.500,00
408	842.500,00	2.729.500,00
410	1.462.750,00	5.034.750,00
412	2.319.500,00	8.817.000,00
414	3.600.750,00	14.737.250,00
416	5.307.500,00	23.645.500,00
418	7.552.250,00	36.505.250,00
420	10.465.750,00	54.523.250,00
422	14.172.750,00	79.151.750,00
424	18.621.000,00	111.955.500,00
426	24.025.750,00	154.602.250,00
428	29.542.000,00	208.170.000,00
430	36.037.000,00	273.749.000,00
432	43.230.000,00	353.016.000,00
434	51.747.500,00	447.993.500,00
436	60.427.750,00	560.168.750,00
438	69.483.000,00	690.079.500,00

Fonte: APAC (2018).

Também é possível obter o histórico dos volumes dos reservatórios com dados praticamente diários de cota e volume.

O Reservatório Engenheiro Francisco Saboia apresenta informações de cota x área x volume conforme Tabela 2 (APAC, 2018). Através dessas informações pode-se obter dados por meio de interpolação e até mesmo validar resultados de pesquisas, por exemplo.

#### *Processamento dos dados*

Através do site do USGS foi possível obter imagens do satélite Landsat 8 para a região de Ibimirim-PE, Brasil. Vale salientar que as imagens disponibilizadas são no formato geotiff e por isso já estavam georreferenciadas.

Foram escolhidas imagens de duas épocas distintas levando em consideração a presença mínima de nuvens nas proximidades do Reservatório Engenheiro Francisco Saboia.

As datas da imagem foram 10 de dezembro de 2013 e 14 de janeiro de 2015 e possuem órbita 215 e ponto 66.

Em uma primeira etapa, as imagens foram importadas no Software Spring para a realização da fusão de imagens através da técnica IHS conforme

procedimento mostrado na Figura 2. Em seguida, no software QGIS, versão 2.8.9, através da calculadora raster, foram realizadas operações aritméticas com as imagens. Fazendo uso da Equação 1 obteve-se o NDWI.

Identificou-se os valores dos pixels de água no reservatório e a partir disso estabeleceu-se um limiar com o objetivo de identificar apenas a feição água. Com base nessas observações, escolheu-se como limite valores maiores que -0.147 para as imagens de 10 de dezembro de 2013 e -0.150 para as de 14 de janeiro de 2015. Esse cálculo também foi feito através da calculadora raster do QGIS.

Desta forma obtivemos uma imagem binária onde a feição água tinha cor branca e outros alvos tinham cor preta.

Em seguida foi feito o recorte da cena selecionando-se apenas o trecho de interesse abrangendo o Reservatório e o seu entorno. Na Figura 3 podem ser vistas algumas das etapas realizadas na execução desta pesquisa.

Foi feita uma vetorização automática do raster recortado por meio da ferramenta 'raster para vetor'. Uma vez que o vetor já tinha sido extraído,

obteve-se a área através da calculadora de campo na tabela de atributos.

Essa metodologia foi aplicada nas imagens das duas datas distintas. Para os testes sem a fusão de imagens seguiu-se exatamente a metodologia descrita anteriormente. Já para os testes com as imagens fusionadas, aplicou-se esta técnica no início do processo antes mesmo do cálculo do NDWI fazendo-se a composição colorida R(5), G(4), B(3) e seguindo-se as etapas descritas na Figura 2.

É importante ressaltar que para os testes

sem a fusão, a imagem de entrada e de saída possuíam a mesma resolução espacial de 30 metros. Já nos testes com imagens fusionadas, a imagem de entrada possuía resolução espacial de 30 metros e a de saída resolução espacial de 15 metros.

As áreas obtidas foram interpoladas linearmente com dados da curva cota x área x volume a fim de obtermos o volume do Reservatório Engenheiro Francisco Saboia no dia correspondente a data das imagens.

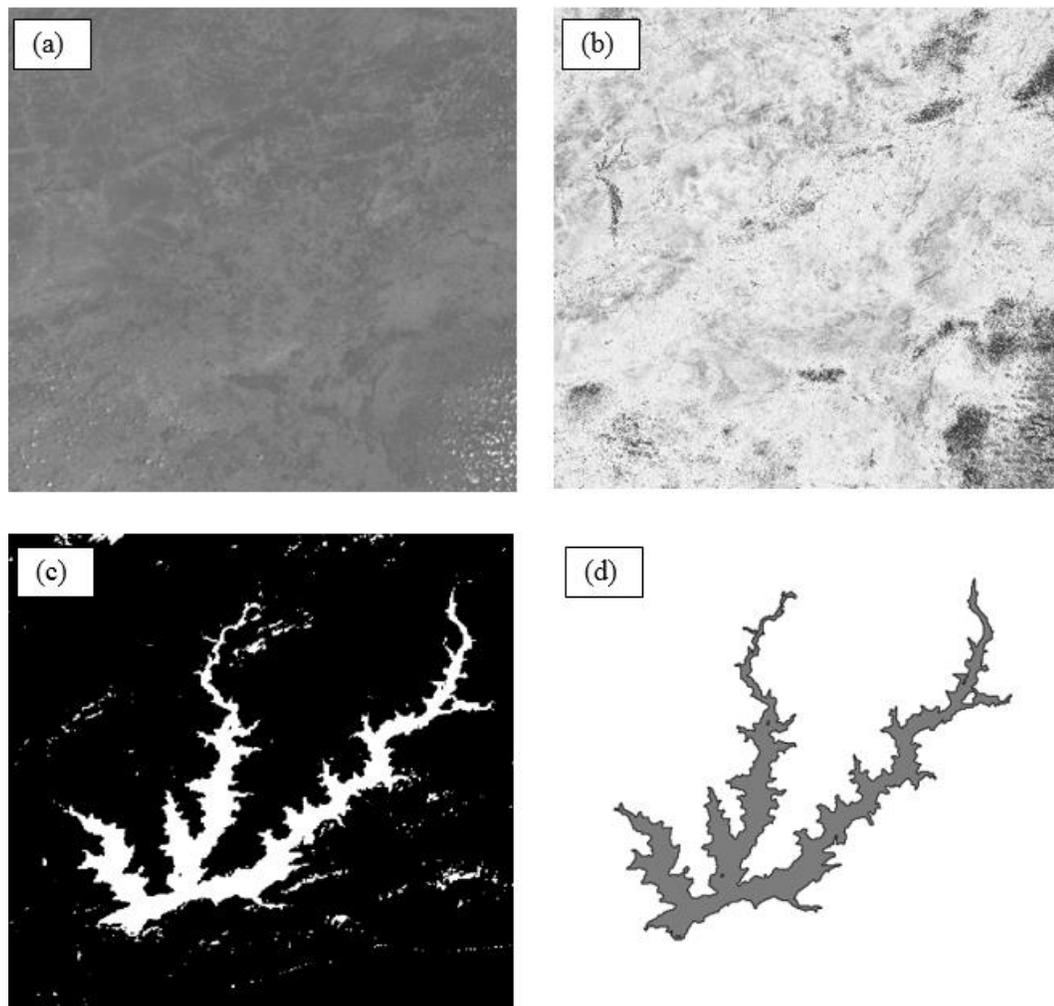


Figura 3 - Etapas envolvidas na metodologia (a) composição R(5), G(4), B(3), (b) índice NDWI, (c) imagem binária com destaque do alvo de interesse, (d) vetor da superfície da água. Fonte: os autores (2018).

Também foram gerados perfis das imagens com e sem a fusão destacando a borda do Reservatório. Para isto, foi utilizada a ferramenta Terrain profile do QGIS.

### 3. Resultados e discussão

Na tabela 2, são apresentados os resultados das áreas detectadas através do processamento das imagens com e sem a fusão. Neste caso foi feita uma comparação entre as áreas detectadas nas imagens de satélite a as áreas estimadas para as datas de aquisição das imagens.

Tabela 2 – Comparação das áreas detectadas e estimadas.

Imagens	Área detectada (m <sup>2</sup> )		
	Antes da fusão	Após a fusão	Área estimada
Data 10 de dezembro de 2013	11779657,49	11789235,56	11800270,00
Data 14 de janeiro de 2015	7030726,05	7042375,49	7058405,00

Fonte: os autores (2018).

A área estimada foi calculada por interpolação linear entre dados diários, a respeito do reservatório Engenheiro Francisco Saboia, da curva cota x área x volume disponibilizados pela APAC. Através do quadro acima percebe-se uma melhora no resultado de área do reservatório obtido a partir da imagem fusionada quando comparado com os dados da APAC. Segundo Rodrigues et al. (2007) um dos problemas na obtenção do contorno do espelho d'água com base em imagem de satélite é a dificuldade em associar os pixels que compõe o contorno a uma categoria específica, ou seja, associar um determinado pixel como água ou como solo e vice-versa. Essa dificuldade está relacionada a resolução espacial do satélite, quanto menor a área do reservatório, maior será o erro cometido por associar um determinado

pixel da imagem a uma categoria a que ele não pertence.

Os resultados da fusão foram compatíveis com o de Teixeira (2016), no qual detectou uma melhor identificação dos detalhes no Reservatório de Itaparica-PE após a fusão e os valores de áreas e volumes encontrados comprovam que a melhora na resolução espacial da imagem através da fusão torna os resultados mais semelhantes aos dados oficiais disponibilizados pela APAC.

A partir das áreas detectadas nas imagens de datas distintas, obteve-se o volume em m<sup>3</sup> por meio de interpolação linear. Esse volume foi comparado com o volume publicado nos relatórios diários da APAC para as mesmas datas de aquisição das imagens (Tabela 3).

Tabela 3 – Comparação dos volumes detectados e o volume publicado pela APAC.

Imagens	Volume detectado (m <sup>3</sup> )		
	Antes da fusão	Após a fusão	Área estimada
Data 10 de dezembro de 2013	63252564,96	63316199,57	63389510,00
Data 14 de janeiro de 2015	33517537,67	33584274,96	33676105,00

Fonte: os autores (2018).

A discrepância no volume do reservatório de acordo com os dados publicados é menor quando obtido a partir de informações das imagens após a fusão. Analisando a Tabela 3, percebe-se uma melhora de 0,1% nos volumes calculados após a fusão de imagens. Apesar de ser um percentual pequeno, esse valor representa uma grande significância no volume do reservatório em m<sup>3</sup>.

Alguns perfis podem ser vistos na Figura 4. Por meio deles é possível perceber a variação dos valores do NDWI para corpos hídricos, destacando as

bordas no trecho AB onde se observa maior suavidade do perfil antes da fusão, indicando menor nível de detalhe devido à baixa resolução espacial da imagem. Ao passo que o perfil da imagem fusionada apresenta um detalhamento maior. Também é possível observar que houve uma redução significativa no volume do reservatório para o trecho observado, e isso pode ser comprovado com os dados da ANA, que indicam redução no volume de água de quase 50% entre as datas observadas.

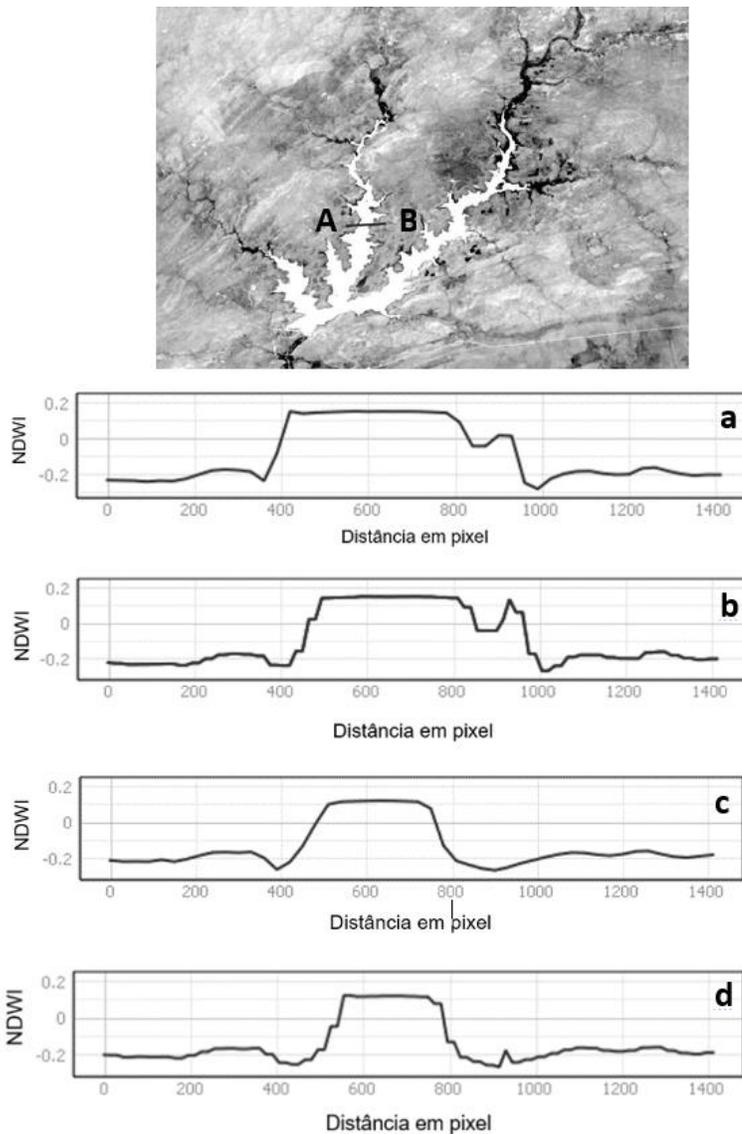


Figura 4 - Perfil AB destacando a borda do reservatório (a) imagem de 10 de dezembro de 2013 antes da fusão, (b) imagem de 10 de dezembro de 2013 após a fusão, (c) imagem de 14 de janeiro de 2015 antes da fusão, (d) imagem de 14 de janeiro de 2015 após a fusão. Fonte: os autores (2018).

#### 4. Conclusões

As regiões semiáridas do Brasil são caracterizadas por recursos hídricos limitados e secas recorrentes. Sendo assim, é necessário um bom planejamento e gestão da água nesta região, visto que, ela é caracterizada como um recurso escasso.

Em uma análise feita com imagens de dezembro de 2013 e janeiro de 2014, considerando-se como referência dados publicados pela APAC, nota-se uma redução de quase 50% no volume do reservatório Engenheiro Francisco Saboia.

Também foi possível verificar que as imagens fusionadas apresentaram um resultado quantitativamente mais confiável que as imagens não fusionadas, mostrando dessa forma uma contribuição positiva para a problemática proposta neste trabalho.

O índice NDWI também apresenta uma contribuição significativa na delimitação do espelho de água do reservatório.

Através da metodologia utilizada para monitoramento de água em reservatórios, destaca-se que as informações disponibilizadas pela ANA e pela APAC, serviram como ferramenta fundamental para a

validação dos resultados obtidos.

Entretanto são poucos os reservatórios de regularização do semiárido que dispõem de dados atualizados. Em grande parte dos casos, eles apenas possuem curvas cota x área x volume estimadas na época do projeto de sua construção, o que gera dúvidas sobre a consistência das informações

Muitos questionamentos ainda precisam ser analisados e respondidos no que se refere ao diagnóstico e temas ligados ao monitoramento de água em reservatórios.

Com base no conhecimento da realidade encontrada nos reservatórios do semiárido brasileiro e na revisão da literatura sugere-se alguns pontos que podem ser abordados em futuros trabalhos, de maneira a dar continuidade no assunto proposto, sendo assim indica-se ampliar a área de estudo utilizando outros reservatórios como teste e aplicar outras técnicas de fusão de imagens digitais e outros índices físicos.

Outra perspectiva seria a utilização de dados de outros satélites com resolução espacial maior que a do Landsat 8

## Referências

- Abreu, L.G.A.C., 2016. Determinação de Variação de Volume na Represa de Três Marias com o uso de Radar Altimétrico e Imagens Orbitais. Dissertação (Mestrado). Belo Horizonte, UFMG.
- Albuquerque, E.M., Andrade, S.C.P., Morais, H.F., Diniz, J.M.T., Santos, C.A.C., 2014. Análise do comportamento do NDVI e NDWI sob diferentes intensidades pluviométricas no município de Sousa-PB. *Revista de Estudos Geoambientais* 1, 1-11.
- ANA. Agência Nacional de Águas, 2018a. Divisões Hidrográficas do Brasil. Disponível: <https://www.ana.gov.br/panorama-das-aguas/divisoes-hidrograficas>. Acesso: 20 set. 2018.
- ANA. Agência Nacional de Águas, 2018b. Região Hidrográfica São Francisco. Disponível: <https://www.ana.gov.br/as-12-regioes-hidrograficas-brasileiras/sao-francisco>. Acesso: 20 set. 2018.
- Anjos, D.M., Soares, D.M.A., Simões, E.M., Leite, A.C.P., Ramos, T.M., Bakke, I.A., 2017. Temporal analysis of water volume at Capoeira Reservoir Mãe d'água, Paraíba, Brazil. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento sustentável* 12, 132-137.
- APAC. Agência Pernambucana de Águas e Climas, 2018. Ficha técnica com cota e volume de reservatórios. Disponível: [http://200.238.109.99:8080/apacv5/fichareservatorio\\_web/fichareservatorio\\_web.php](http://200.238.109.99:8080/apacv5/fichareservatorio_web/fichareservatorio_web.php). Acesso: 26 set. 2018.
- Barbosa, I.M.B.R., 2012. Planejamento da operação de reservatório objetivando a melhoria da qualidade da água: estudo de caso no agreste pernambucano. Tese (doutorado). Recife, UFPE.
- CBHSF. Comitê da Bacia Hidrográfica do São Francisco, 2013. Usos múltiplos na bacia hidrográfica do Rio São Francisco políticas e prioridades. Disponível: [http://arquivos.ana.gov.br/saladesituacao/ReducaoTemporaria/RelatoriosCHESF/2015/UsosMultiplosBaciaHidrograficaRioSaoFrancisco\\_PoliticasPrioridades.pdf](http://arquivos.ana.gov.br/saladesituacao/ReducaoTemporaria/RelatoriosCHESF/2015/UsosMultiplosBaciaHidrograficaRioSaoFrancisco_PoliticasPrioridades.pdf). Acesso: 26 set. 2018.
- Collischonn, B., Clarke, R.T., 2016. Estimativa e incerteza de curvas cota-volume por meio de Sensoriamento Remoto. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 21, 719-727.
- Eilander, D., Annor, F.O., Iannini, L., Giessen, N.V., 2014. Remotely sensed monitoring of small reservoir dynamics: a bayesian approach. *Remote Sensing* 6, 1191-1210.
- Gao, H., Birkett, C., Lettenmaier, D.P., 2012. Global monitoring of large reservoir storage from satellite remote sensing. *Water Resources Research* 48, 1-12.
- Guasselli, L.A., 2014. Urbanização na planície de inundação do Rio Gravataí-RS. Dissertação (Mestrado). Porto Alegre, UFRGS.
- Islam, A.S., Bala, S.K., Haque, M.A., 2010. Flood inundation map of Bangladesh using MODIS time-series images. *Journal of Flood Risk Management* 3, 210-222.
- Lu, S., Wu, B., Yan, N., Wang, H., 2011. Water body mapping method with HJ-1A/B satellite imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 13, 428-434.
- McFeeters, S.K., 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing* 17, 1425-1432.
- Meneses, P., Almeida, T., 2012. Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto. UNB, Brasília.
- Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco, 1998. Disponível: [http://www.apac.pe.gov.br/down/PERHPE\\_volu-me8.pdf](http://www.apac.pe.gov.br/down/PERHPE_volu-me8.pdf). Acesso: 26 set. 2018.
- Rodrigues, L.N., Sano, E.E., Azevedo, J.A., Silva, E.M., 2007. Distribuição espacial e área máxima do espelho d'água de pequenas barragens de terra

da bacia do Rio Preto. Espaço & Geografia 10, 379-400.

Teixeira, A.M.A, 2016. Método de atualização nas escalas 1:100000 e 1:250000 do mapeamento sistemático a partir de imagem de sensoriamento remoto: reservatório de Itaparica. Dissertação

(Mestrado). Recife, UFPE.

Wu, G., Liu, Y., 2014. Satellite-based detection of water surface variation in China's largest freshwater lake in response to hydro-climatic drought. International Journal of Remote Sensing 35, 4544-4558.