

ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO ESPELHO D'ÁGUA DE UM RESERVATÓRIO SUPERFICIAL NA REGIÃO SEMIÁRIDA USANDO DADOS DA SÉRIE LANDSAT

Julyanne Braga Cruz Amaral¹; Fernando Bezerra Lopes²; Valéria Severo de Noronha³;
Francisco Josivan de Oliveira Lima⁴

(¹) Mestranda, Universidade Federal do Ceará (UFC), julyanne_braga@hotmail.com;

(²) Professor, Universidade Federal do Ceará (UFC), lopesfb@ufc.br;

(³) Graduanda, Universidade Federal do Ceará (UFC), eeepdv.valeriasevero@gmail.com;

(⁴) Doutorando, Universidade Federal do Ceará (UFC), josivan.lima1@gmail.com.

RESUMO: Monitorar a água é uma atividade fundamental para a gestão eficiente dos recursos hídricos. Utilizar imagens de satélite e ferramentas de geoprocessamento contribui para facilitar a tomada de decisão por parte dos gestores. Desse modo, objetivou-se analisar a variabilidade do espelho d'água de um reservatório superficial na região semiárido, utilizando imagens da série Landsat e dados de pluviometria e volume. A área de estudo corresponde ao reservatório Pereira de Miranda, localizado na bacia hidrográfica do rio Curu, Ceará. As imagens utilizadas foram escolhidas considerando a mínima presença de nuvens, nos anos de 2009 a 2019, totalizando 11 imagens. Os dados de pluviometria e volume foram obtidos junto ao Portal Hidrológico da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. Os valores de precipitação pluviométrica, volume e área do reservatório foi crescente ao longo do período analisado. A equação que relaciona área e volume do reservatório apresentou resultados satisfatórios ($R^2=0,97$), indicando um potencial para realizar o monitoramento do corpo hídrico. Foi comprovada a associação entre a precipitação pluviométrica e área do espelho d'água ao longo do tempo e que técnicas de geoprocessamento e Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são ferramentas que auxiliam na tomada de decisões e contribuem para o manejo e gestão dos recursos hídricos.

Palavras-chave: Imagens de satélite, SIG, reservatórios artificiais

SPATIO -TEMPORAL ANALYSIS OF THE WATER SURFACE OF THE PEREIRA DE MIRANDA RESERVOIR USING LANDSAT DATA 8

ABSTRACT: Monitoring water is a fundamental activity for the efficient management of water resources. Using satellite images and geoprocessing tools helps to facilitate decision making by managers. Thus, the objective was to analyze the variability of the water mirror of a superficial reservoir in the semi-arid region, using images from the Landsat series and data of rainfall and volume. The study area corresponds to the Pereira de Miranda reservoir, located in the hydrographic basin of the Curu River, Ceará. The images used were chosen considering the minimum presence of clouds in the years 2009 to 2019, totaling 11 images. The rainfall and volume data were obtained from the Hydrological Portal of the Water Resources Management Company. The values of pluviometric precipitation, volume and area of the reservoir increased during the analyzed period. The equation relating the area and volume of the reservoir showed satisfactory results ($R^2 = 0.97$), indicating a potential for monitoring the water body. The association between rainfall and the water surface area over time has been proven and that geoprocessing techniques and Geographic Information Systems

(GIS) are tools that assist in decision making and contribute to the management and management of water resources

Keywords: Satellite images, GIS, artificial reservoirs

Introdução

A água é o recurso que apresenta maior importância na natureza, uma vez que é necessária para a existência de todas as espécies do planeta. Segundo a ONU (2020), a demanda por água doce continua aumentando. O crescimento populacional, a urbanização acelerada e a expansão dos sistemas municipais de abastecimento são grandes contribuintes dessa crescente demanda, desse modo, sem que haja um controle do que é demandado e ofertado, tal déficit hídrico será cada vez maior (UNESCO, 2015).

No semiárido brasileiro esse cenário é ainda pior, em virtude das suas peculiaridades climáticas. A principal característica da região semiárida brasileira é a escassez hídrica, decorrente da sua pequena quadra chuvosa (3 a 5 meses), além da irregularidade de sua distribuição pluviométrica e altas taxas de evaporação, o que reduz a eficiência nos sistemas de armazenamento de água (LOPES, 2013).

Desse modo, a construção de açudes é uma das primeiras práticas visando a garantia de água nas regiões semiáridas, diante de sua capacidade de estocar esse recurso (PEREIRA NETO, 2017). Ressalta-se a importância dos reservatórios, uma vez que permitem o armazenamento de água nos períodos chuvosos para utilização nas épocas de estiagem, tornando-a disponível para a população utilizá-la em diversas atividades. No estado do Ceará, especificamente, a açudagem é utilizada pelo governo como política redutora dos efeitos da escassez hídrica (ARAÚJO, 2013; ANDRADE; NUNES, 2014).

O monitoramento dos recursos hídricos é fundamental para tomada de decisões e gestão dos mesmos e com a utilização de técnicas de geoprocessamento e ambientes SIG (Sistema de Informações Geográficas) é possível acompanhar suas alterações em diferentes escalas espaciais e temporais (LOPES *et al.*, 2014; LOPES *et al.*, 2016).

Portanto, objetivou-se analisar a variabilidade do espelho d'água de um reservatório superficial, na região semiárida, utilizando imagens da série Landsat e dados de pluviometria e volume.

Material e métodos

A área de estudo corresponde ao açude Pereira de Miranda, um dos três maiores reservatórios da bacia hidrográfica do rio Curu (Figura 1). A barragem do reservatório está localizada no município de Pentecoste, Ceará, a aproximadamente 85 km da cidade de Fortaleza, capital do estado do Ceará, e foi construída pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) entre os anos de 1950 e 1957. Barrando o rio Canindé, a finalidade da sua construção foi: controlar as cheias do rio Canindé, regularizar o rio Curu, irrigar as terras de jusante, gerar energia elétrica e promover a piscicultura e o aproveitamento para

culturas nas áreas de montante. O açude Pereira de Miranda tem capacidade de armazenamento de 395,638 hm³ e espelho d'água de aproximadamente 50 km².

O clima da região é classificado, segundo Köppen como do tipo BSh'w', semiárido quente, com precipitações pluviométricas predominantemente de outono, temperatura média mensal acima de 18°C, precipitação média anual de 613 mm e evaporação anual de 1.356,6 mm.

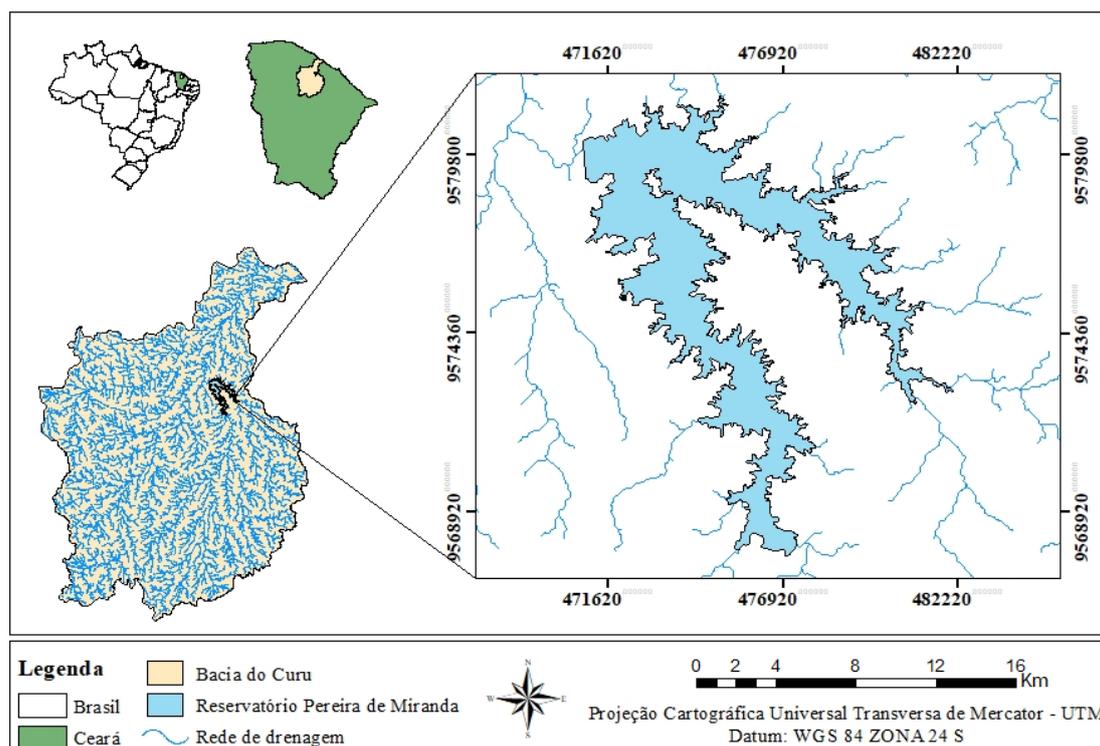


Figura 1. Localização do reservatório Pereira de Miranda.

As imagens utilizadas neste estudo foram escolhidas considerando a mínima presença de nuvens, nos anos de 2009 a 2019. As datas das cenas foram as seguintes: 20/06/2009, 09/07/2010, 07/04/2011, 06/07/2012, 07/06/2013, 13/08/2014, 13/06/2015, 20/04/2016, 26/06/2017, 13/06/2018 e 02/07/2019. As cenas foram obtidas junto ao Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) captadas pelos satélites Landsat 5 (2009-2011), Landsat 7 (2012-2015) e Landsat 8 (2016-2019) e o produto utilizado foi Landsat Collection 1 Level-1, ou seja, imagens sem correção prévia. Realizou-se a correção atmosférica das imagens, utilizando-se o algoritmo Fast Line-of-Sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes (FLAASH) do software ENVI 5.3, e o modelo utilizado foi o Moderate Resolution Atmospheric Radiance and Transmittance (MODTRAN), em que os dados de entrada utilizados foram o de radiância e o modelo atmosférico foi o tropical.

Utilizando o software Envi 5.3 realizou-se a classificação supervisionada de todas as imagens (método da Máxima Verossimilhança), em seguida foi feita a vetorização da classe que representasse a água. Uma vez vetorizados, os corpos hídricos foram convertidos em arquivos shapefile. Utilizando o software ArcMap 10.3 foram extraídos os arquivos shapefile

do reservatório Pereira de Miranda em todas as 11 cenas, permitindo a quantificação das áreas dos espelhos d'água e análise visual preliminar a respeito da redução e aumento do corpo hídrico ao longo dos dez anos estudados.

Foram utilizados dados de pluviometria (precipitação diária e precipitação acumulada anual) e volume de água armazenado no reservatório coincidentes ao período das imagens orbitais. Os dados de pluviometria e volume foram obtidos junto Portal Hidrológico da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos.

Realizou-se uma análise de regressão entre os valores de área e volume de água armazenado no reservatório ao longo dos anos, a fim de verificar se a relação entre essas duas unidades de medida é pertinente para realizar o monitoramento de reservatórios superficiais.

Resultados e discussão

Os dados de precipitação pluviométrica e volume de água no reservatório Pereira de Miranda (Figura 2) comprovam a associação entre essas informações e a área do espelho d'água do reservatório no decorrer dos anos do estudo. Os maiores índices pluviométricos ocorreram no ano de 2009, onde houve uma melhor distribuição da precipitação ao longo da quadra chuvosa, com precipitação diária máxima de $61,60 \text{ mm.dia}^{-1}$, para o mês de abril. A pluviometria acumulada desse ano foi de 1266 mm.ano^{-1} . Em 2009, na data imageada, o reservatório Pereira de Miranda encontrava-se com 100% da sua capacidade máxima (360 hm^3), devido à regular distribuição pluviométrica que contribuiu para a maior precipitação acumulada do estudo.

Nos anos de 2010 e 2011 houve uma redução da quantidade precipitada, bem como a distribuição irregular de chuva. Em 2010 a precipitação diária máxima foi de $55,60 \text{ mm.dia}^{-1}$, para o mês de janeiro. A pluviometria acumulada desse ano foi de $447,17 \text{ mm.ano}^{-1}$. Já em 2011, a precipitação diária máxima de $47,00 \text{ mm.dia}^{-1}$, para o mês de janeiro. A pluviometria acumulada desse ano foi de $606,80 \text{ mm.ano}^{-1}$. A redução da precipitação no ano de 2010 acarretou na redução do volume do reservatório nesse ano, sendo de 266 hm^3 no início do ano e 133 hm^3 no fim. Em 2011 houveram precipitações bem distribuídas no início do ano, elevando o volume do reservatório para 200 hm^3 no final do ano.

Para o ano de 2012 os eventos pluviométricos foram praticamente inexistentes, com precipitação diária máxima de $32,4 \text{ mm.dia}^{-1}$, para o mês de março, assim como todo o evento pluviométrico desse ano. A pluviometria acumulada desse ano foi de apenas $117,10 \text{ mm.ano}^{-1}$. O volume do reservatório na data imageada nesse ano foi de $137,5 \text{ hm}^3$.

Embora a precipitação pluviométrica entre os anos de 2013 e 2016 tenha sido maior que o anos de 2012, não se verificou aumento no volume do reservatório nesses anos (2013-2016). Nos anos de 2017 a 2019 houve aumento da quantidade precipitada, bem como a distribuição mais regular de chuva. Em 2017 a precipitação diária máxima foi de $106,9 \text{ mm.dia}^{-1}$, para o mês de fevereiro. A pluviometria acumulada desse ano foi de $729,3 \text{ mm.ano}^{-1}$. Já em 2018, a precipitação diária máxima foi de $82,2 \text{ mm.dia}^{-1}$, para o mês de fevereiro. A pluviometria acumulada desse ano foi de $1136,5 \text{ mm.ano}^{-1}$. Em 2019 a precipitação diária foi de máxima de $82,2 \text{ mm.dia}^{-1}$, para o mês junho. A pluviometria acumulada desse ano foi de $891,7 \text{ mm.ano}^{-1}$. O aumento da precipitação acarretou no aumento do volume do reservatório, sendo de $8,3 \text{ hm}^3$, $31,8 \text{ hm}^3$ e $75,6 \text{ hm}^3$ para as datas imageadas nos anos de 2017, 2018 e 2019, respectivamente.

Como característica da região semiárida, observa-se que no segundo semestre de cada ano as precipitações diárias são reduzidas ou cessadas, provocando uma redução também, do volume do reservatório.

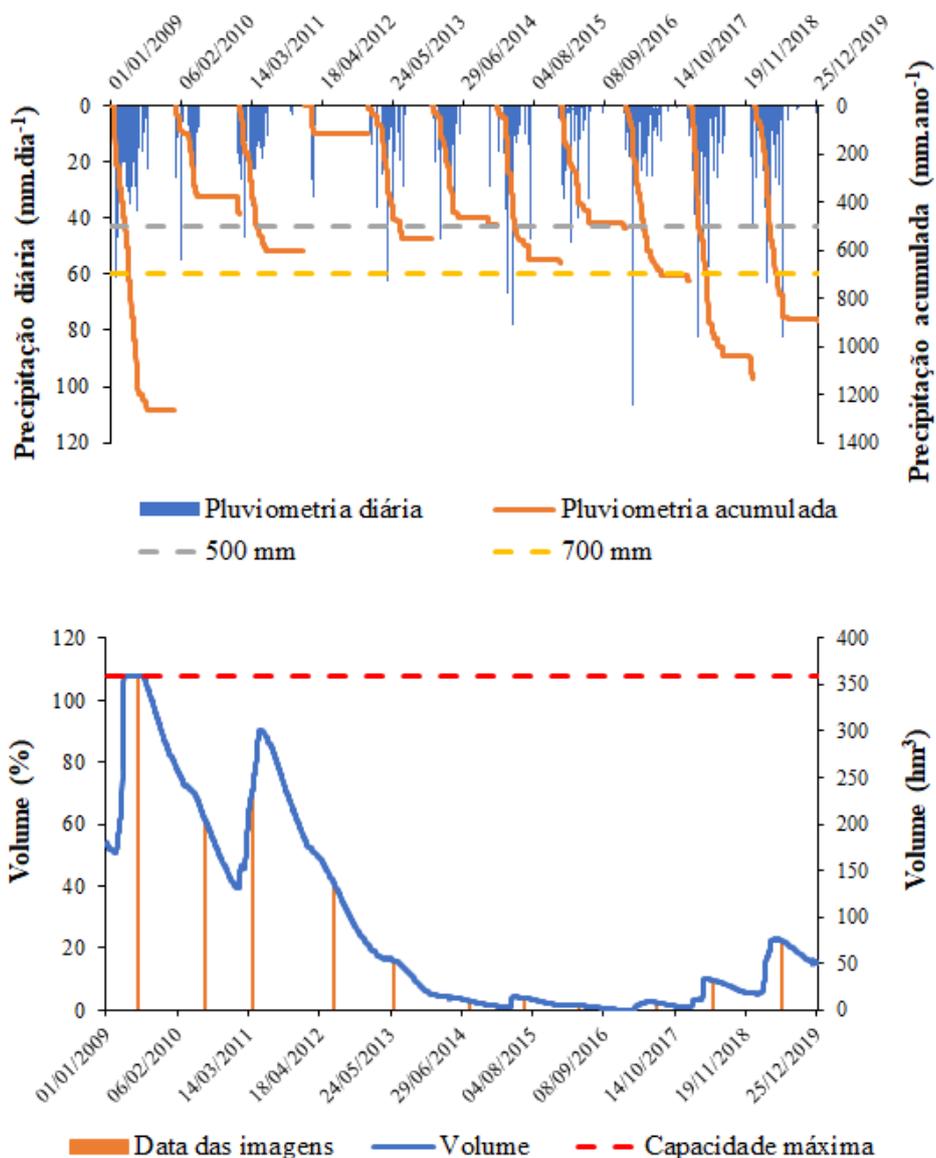


Figura 2. Precipitação pluviométrica diária e acumulada e volume armazenado do reservatório Pereira de Miranda para os anos em estudo

Analisando a Figura 2, verificou-se o aporte hídrico no reservatório desde o primeiro dia do ano até que fosse atingida a precipitação acumulada de 500 mm.ano⁻¹. O ano de 2009 foi o que garantiu maior aporte entre o início do ano até ser atingida a precipitação acumulada de 500 mm, garantindo um aumento de 52,33% no volume do reservatório, visto que os eventos pluviométricos foram bem distribuídos ao longo da quadra chuvosa e a intensidade de chuvas foi regular, desse modo, rapidamente obteve-se 500 mm de precipitação acumulada. Os anos de 2010, 2012 e 2014 não atingiram a precipitação acumulada de 500 mm.ano⁻¹.

O ano de 2011 apresentou um aumento de 30,66% no volume do reservatório. De maneira geral, a precipitação nesse ano foi bem distribuída, com alguns picos de intensidade, verificando-se um acúmulo maior de chuva no dia da precipitação máxima. A distribuição e intensidade de chuvas nos anos de 2013 e 2016 foi semelhante, chuvas mais intensas no início do ano que provocaram rapidamente o acúmulo de 500 mm de precipitação sem que interferisse no volume do reservatório, devido ao acúmulo de água, inicialmente nos microporos do solo, desse modo não houve aporte hídrico nesses anos (MEDEIROS *et al.*, 2018).

Houve aumento na intensidade das chuvas nos anos de 2017, 2018 e 2019 e uma distribuição regular dos eventos pluviométricos. Verifica-se que em cada pico de precipitação diária mais intensa há um aumento mais rápido da precipitação acumulada, garantindo um aumento no volume do reservatório de 1,9; 2,35 e 10,1% nos anos de 2017, 2018 e 2019, respectivamente.

A mesma verificação de aporte foi realizada considerando a precipitação acumulada de 700 mm.ano⁻¹, entretanto, apenas os anos de 2009, 2017, 2018 e 2019 alcançaram esse valor acumulado de chuvas, havendo um aporte de, respectivamente, 49,6; 2,2; 8,0 e 16,2% do volume do reservatório. No início do ano de 2009 o reservatório encontrava-se com 50,4% da sua capacidade e em decorrência da boa distribuição de chuvas (praticamente todos os dias da quadra chuvosa) esse volume aumentou rapidamente, encontrando-se na capacidade máxima do reservatório quando acumularam-se 700 mm de chuva. Os anos de 2017, 2018 e 2019, por virem sucedentes à um grande período de estiagem demoraram mais tempo para armazenar água no reservatório, embora tenham apresentado boas quadras chuvosas, com isso, obtiveram um menor aporte hídrico.

Observa-se a redução do volume do reservatório com o passar dos anos, coincidindo com a redução das precipitações pluviométricas. Depois do período de estiagem, o ano de 2018 apresentou o maior índice pluviométrico acumulado, entretanto, verifica-se que o maior aporte hídrico no reservatório foi no ano de 2019. Araújo (2012) afirma que os reservatórios artificiais recebem o excedente hídrico escoado nos eventos pluviométricos, o que explica o aporte no volume em 2018 e 2019, proveniente do acúmulo da precipitação dos anos anteriores, além de que, desde o ano de 2012 a região passava por um período crítico de estiagem, com isso, o solo encontrava-se seco e com alta capacidade de absorção hídrica. Desse modo, inicialmente o solo absorve a precipitação em seus microporos, posteriormente, a água abastece o lençol freático e por fim ocorre o escoamento superficial, gerando o excedente necessário para abastecer os reservatórios artificiais (MEDEIROS *et al.*, 2018).

A evolução quantitativa do espelho d'água do reservatório Pereira de Miranda no período de 2009 a 2019 está disposta na Figura 3. É perceptível que, de maneira geral, houve uma redução da área do reservatório, por outro lado, confirmando os dados de precipitação e volume, é observada a redução desses espelhos entre os anos de 2009 e 2016, período em que houve uma grande estiagem na região. A partir do ano de 2016 observam-se precipitações diárias mais constantes e elevação nas curvas de precipitação acumulada, contribuindo para aumento do volume e área do reservatório até o ano de 2019.

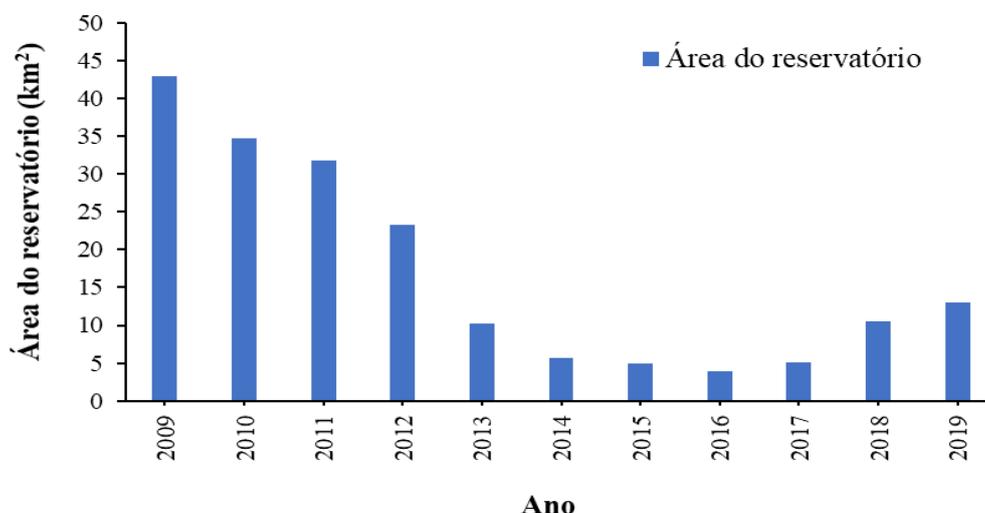


Figura 3. Área do espelho d'água do reservatório Pereira de Miranda.

Os mapas temáticos (Figura 4) exibem o reservatório Pereira de Miranda no decorrer do período estudado, evidenciando sua evolução espaço-temporal.

No ano de 2009 (Figura 4A), o reservatório encontrava-se em sua capacidade máxima (360 hm^3), onde observa-se a maior área durante o período estudado. A partir de então houve redução da área do reservatório, decorrente da drástica diminuição pluviométrica que ocorreu no ano de 2012 e prosseguiu pelos demais anos de estudo. Características da região semiárida como a escassez hídrica, decorrente da sua curta quadra chuvosa (3 a 5 meses), irregularidade de sua distribuição pluviométrica e altas taxas de evaporação contribuiram para a redução do espelho d'água do açude Pereira de Miranda.

Embora a precipitação tenha reduzido nos anos de 2010 e 2011, foi no ano de 2012 (Figura 4D) que houve o maior déficit hídrico do período estudado, onde praticamente não ocorreram eventos pluviométricos, contudo não foi o ano que apresentou menor lâmina d'água armazenada no reservatório. A redução do espelho nos anos seguintes é reflexo de uma seca extrema proveniente desde de 2012 e que foi considerada a mais grave dos últimos anos (FUNCEME, 2015). Além das poucas precipitações pluviométricas e alta evaporação na região, também existe a dificuldade de abastecimento do lençol freático, o que, segundo Medeiros (2018), detém o escoamento superficial e abastecimento do reservatório, contribuindo para que ano de 2016 (Figura 4H) apresentasse menor área ($3,95 \text{ km}^2$).

A recarga que ocorreu no reservatório no ano de 2015 proporcionou o aumento da área nos anos seguintes até o fim do estudo. Analisando as Figuras 4A e 4K, referentes aos anos inicial e final, respectivamente, verifica-se a contribuição dos eventos pluviométricos para o aumento e redução da área do reservatório.

Estudos realizados tanto na região semiárida quanto em outras regiões brasileiras obtiveram resultados semelhantes quanto a relação da pluviometria para o aporte hídrico nos

reservatórios e aumento do espelho d'água (NAMIKAWA, 2015; PINTO; CENTENO, 2016; BARBOSA *et al.*, 2019; MESQUITA *et al.*, 2019).

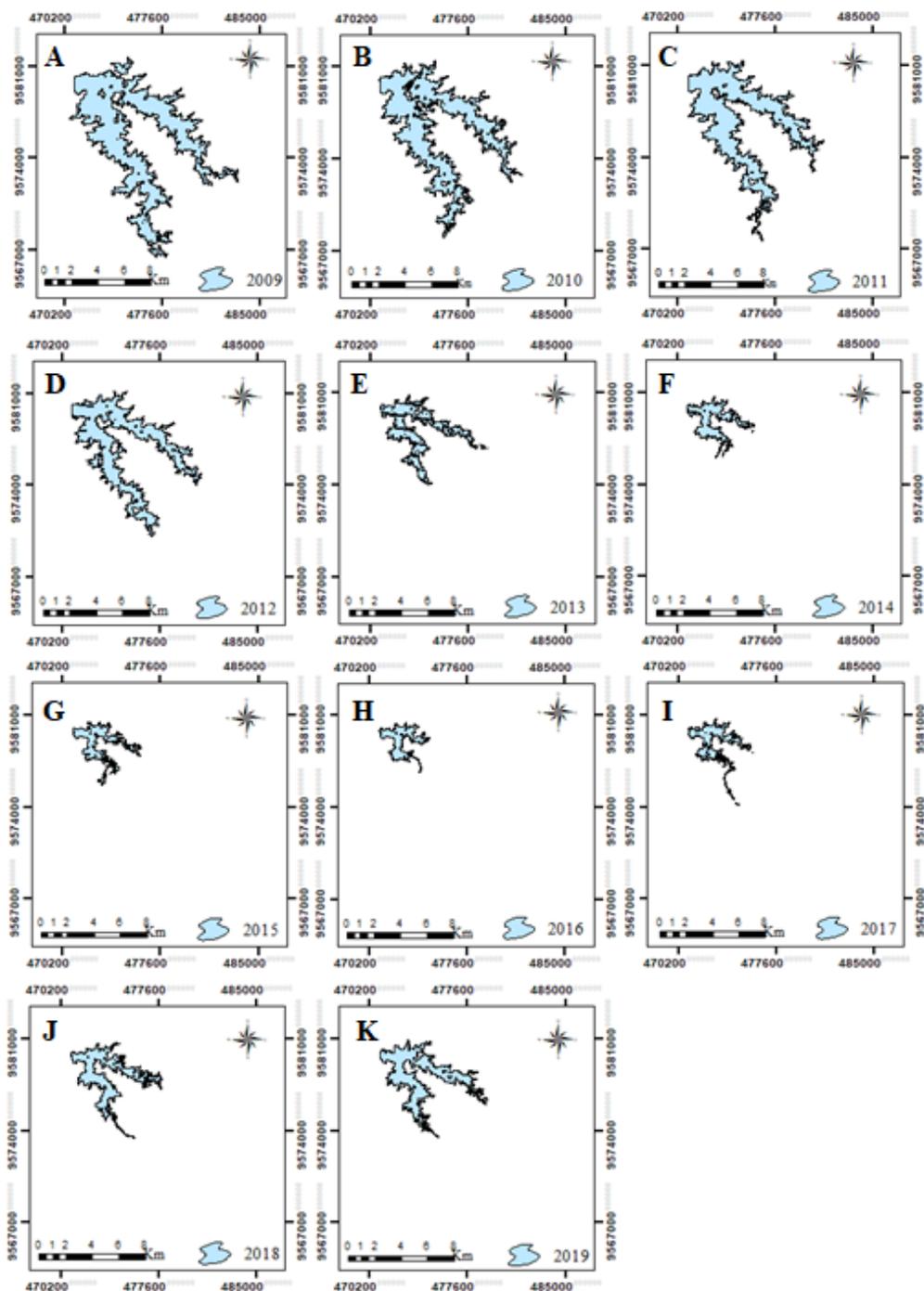


Figura 4. Representação das áreas do reservatório Pereira de Miranda em cada ano avaliado.

Comparando a área do reservatório Pereira de Miranda obtida utilizando dados de satélite com o volume do mesmo no decorrer dos anos de estudo, obteve-se um alto valor de

coeficiente de determinação ($r^2 = 0,97$). Esse valor indica que a relação entre os valores de área e volume do reservatório ao longo dos anos tem potencial para realizar o monitoramento desse corpo hídrico.

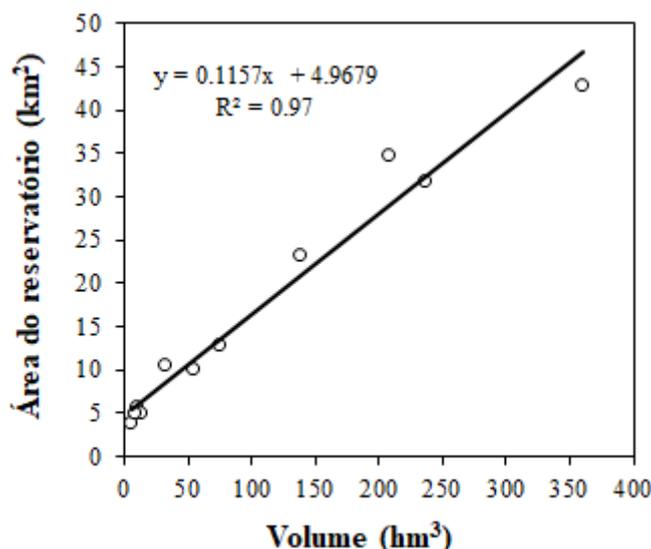


Figura 5. Relação entre área de espelho d'água e volume do reservatório.

CONCLUSÃO

Com a utilização de imagens oriundas do satélite Landsat foi possível mapear e quantificar a área do espelho d'água do reservatório Pereira de Miranda ao longo do período de estudo. Foi observado o aumento da área do reservatório conforme houve incremento da precipitação, comprovando a associação entre a precipitação pluviométrica e área do espelho d'água ao longo do tempo, contudo, fatores como intensidade e distribuição das chuvas ao longo da quadra chuvosa também interferem na recarga hídrica nos reservatórios

O estudo confirma que técnicas de geoprocessamento e SIG são ferramentas que auxiliam na tomada de decisões e contribuem para o manejo e gestão dos recursos hídricos.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, J. A.; NUNES, M. A. Acesso à água no Semiárido Brasileiro: uma análise das políticas públicas implementadas na região. **Revista espinhaço**, Diamantina, v. 3, n. 2, p. 28-39, 2014.

ARAÚJO, J. C. Recursos hídricos em regiões semiáridas: estudos e aplicações. 1.ed. Campina Grande, **In: Recursos hídricos em regiões semiáridas: estudos e aplicações**. PB: Instituto Nacional do Semiárido, Cruz das Almas, BA: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2012. 282P.

ARAÚJO, E. M. **Investigação do processo de geração de escoamento usando análise estatística multivariada em uma grande bacia semiárida: o caso do Orós**. 87 f. 2013.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

BARBOSA, A. H. S. Sensoriamento Remoto Aplicado a Análise dos Espelhos D'água dos Principais Reservatórios do Rio Grande do Norte. *In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 19. (SBSR), 2019, Santos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2019.

LOPES, Fernando Bezerra. **Uso de sensoriamento remoto como suporte ao monitoramento da qualidade das águas superficiais da região semiárida do Brasil**. 2013. 202 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2013.

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. 13-19, 2014.

LOPES, F. B.; NOVO, E. M. L. M.; BARBOSA, C. C. F.; ANDRADE, E. M.; FERREIRA, F. D. Simulation of spectral bands of the MERIS sensor to estimate chlorophyll-a concentrations in a reservoir of the semi-arid region. **Agro@mbiente On-line**, v. 10, p. 96-

MEDEIROS, F. J.; LIMA, K. C.; CAETANO, D. A.; SILVA, F. J. O.; Impacto da Variabilidade Interanual da Precipitação nos Reservatórios do Semiárido do Nordeste do Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ** ISSN 0101-9759 e-ISSN 1982-3908 - Vol. 41 - 3 / 2018 p. 731-741.

MESQUITA, Francisca. Análise multitemporal da variação do espelho d'água do açude Malcozinhado (Cascavel, Ce), através de imagens de satélite. *In: PINHEIRO, L. S.; GORAYEB, A. Geografia Física e as Mudanças Globais*. Fortaleza: Editora UFC, 2019. P. 1-5.

NAMIKAWA, L. M. Imagens landsat 8 para monitoramento de volume de água em reservatórios: estudo de caso nas barragens Jaguari e Jacareí do Sistema Cantareira. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 17. (SBSR), 2015, João Pessoa. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2017.

PEREIRA NETO, M. C. Perspectivas da açudagem no semiárido brasileiro e suas implicações na região do Seridó potiguar. **Sociedade & Natureza**, [s. l.], v. 29, n. 2, p. 285–294, 2017.

ONU. **Declaração da ONU e a Água**. Disponível em: > <https://nacoesunidas.org/acao/agua>. Acesso em: 02 abr. 2020.

PINTO, G. D. R. M.; CENTENO, J. A. S. Monitoramento do espelho d'água da represa do Vossoroca entre 2010-2015 usando dados Landsat. **Revista Brasileira de Geomática**, v. 4, n. 3, p. 163, 2016.

UNESCO. **ÁGUA PARA UM MUNDO SUSTENTÁVEL**. Relatório Mundial das Nações

Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos, 2015. Acesso em: 02 abr. 2020.

USGS, **Landsat Missions – Landsat 8**, Disponível em: < https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-8?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con>, Acesso em: 15 abr, 2020.