

# ANÁLISE MULTITEMPORAL DA LÂMINA D'ÁGUA DO RESERVATÓRIO GARGALHEIRAS/RN POR MEIO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO E DADOS DE PRECIPITAÇÃO

Diêgo Augusto Costa de Lima<sup>1</sup>

Jairo Rodrigues de Souza<sup>2</sup>

Joana Darc Freire de Medeiros<sup>3</sup>

Silvio Braz de Sousa<sup>4</sup>

Carlos Wilmer Costa<sup>5</sup>

## RESUMO

Para elaboração de políticas públicas capazes de amenizar os efeitos da escassez hídrica, é necessário conhecer a disponibilidade de água superficial e, para isto, estudos de monitoramento na lâmina d'água de reservatórios são indispensáveis. Este trabalho objetiva analisar o espelho d'água entre os anos de 2013 e 2020 do açude Gargalheiras, situado no município de Acari/RN, utilizando dados de Sensoriamento Remoto e de pluviosidade para o período considerado. Durante o período analisado, houve um acréscimo na extensão do espelho d'água e um aumento no volume. Verificou-se que os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) foi eficaz no mapeamento e quantificação das áreas dos espelhos d'água de reservatório artificial, devendo ser aplicado no gerenciamento desses corpos hídricos.

**PALAVRAS-CHAVES:** Sistemas de Informação Geográfica; Semiárido; Pluviosidade.

## MULTITEMPORAL ANALYSIS OF THE AREA FLOODED BY THE GARGALHEIRAS RESERVOIR/RN THROUGH GEOPROCESSING TECHNIQUES AND RAINFALL DATA

## ABSTRACT

To develop public policies capable of mitigating the effects of water scarcity, it is necessary to know the availability of surface water and, for this, monitoring studies on the water surface of reservoirs are indispensable. This work aims to analyze the water surface between 2013 and 2020 of the Gargalheiras reservoir, located in the municipality of Acari/RN, using Remote

<sup>1</sup> Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte. E-mail: diego-augusto91@hotmail.com. Orcid: <https://orcid.org/0009-0009-7856-2138>.

<sup>2</sup> Geólogo. Professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico (EBTT) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN) Campus Natal-Central, Diretoria Acadêmica de Recursos Naturais (DIAREN). Email: jairo.souza@ifrn.edu.br. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9176-1416>

<sup>3</sup> Engenharia Civil, mestrado em Engenharia Civil e doutorado em Engenharia Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Professora da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Departamento de Engenharia Civil e Ambiental (DECAM). E-mail: joana.medeiros@ufrn.br. Orcid: <http://orcid.org/0000-0001-7497-3698>

<sup>4</sup> Geógrafo, doutorado em Geografia. Professor da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Departamento de Geografia (DGE). E-mail: silvio.braz@ufrn.br. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9776-3295>

<sup>5</sup> Geógrafo, mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos, doutorado em Ciências Ambientais. Professor da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Departamento de Engenharia Civil e Ambiental (DECAM). E-mail: wilmer.costa@ufrn.br. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3148-0030>

Sensing and rainfall data for the period considered. During the analyzed period, there was an increase in the extension of the water surface and an increase in volume. It was found that Geographic Information Systems (GIS) were effective in mapping and quantifying the areas of the water surfaces of artificial reservoirs and should be applied in the management of these water bodies.

**KEYWORDS:** Geographic Information Systems; Semi-arid; Rainfall.

## ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA ZONA INUNDADA POR EL EMBALSE DE GARGALHEIRAS/RN MEDIANTE TÉCNICAS DE GEOPROCESAMIENTO Y DATOS DE LLUVIA

### RESUMEN

Para desarrollar políticas públicas capaces de paliar los efectos de la escasez hídrica es necesario conocer la disponibilidad de agua superficial y, para ello, son fundamentales los estudios de seguimiento del calado de los embalses. Este trabajo tiene como objetivo analizar el espejo de agua entre los años 2013 y 2020 de la presa Gargalheiras, ubicada en el municipio de Acari/RN, utilizando datos de Teledetección y precipitaciones para el período considerado. Durante el período analizado se produjo un aumento en la longitud de la superficie del agua y un aumento en el volumen. Se encontró que los Sistemas de Información Geográfica (SIG) eran efectivos para mapear y cuantificar las áreas de cuerpos de agua de embalses artificiales, y deberían aplicarse en la gestión de estos cuerpos de agua.

**PALABRAS - CLAVE:** Sistemas de Información Geográfica; Semiárido; Iluvia.

### INTRODUÇÃO

Com uma área de aproximadamente 1,3 milhão de km<sup>2</sup>, o semiárido brasileiro ocupa cerca de 14% do território nacional e 85% da região Nordeste, compreendendo 1.477 municípios (SUDENE, 2024). Uma característica importante dessa região é o clima, marcado por temperaturas relativamente altas e chuvas irregulares no tempo e no espaço, com precipitações pluviométricas variando entre 300 e 800 mm por ano, contribuindo para longos períodos de estiagem (BAPTISTA; CAMPOS, 2013).

Os impactos provocados pelos longos períodos de seca afetam não somente a disponibilidade hídrica nessa região, mas também as atividades produtivas e a manutenção dos usos da água, sobretudo, para o abastecimento público, a irrigação e a geração de energia hidrelétrica (GONDIM *et al.*, 2017; SANTANA; SANTOS, 2020).

Na tentativa de minimizar esses efeitos, uma prática que vem sendo adotada durante décadas é a construção de reservatórios artificiais d'água, para diversos usos como: consumo humano e animal, irrigação, atividade industrial, entre outros (GONDIM *et al.*, 2017). No entanto, os reservatórios não solucionam totalmente o problema de escassez hídrica na região (SANTOS *et al.*, 2014). Concomitantemente, esse cenário também sinaliza para a necessidade de realizar o acompanhamento espaço/temporal da lâmina d'água nesses locais, com o intuito de garantir maior segurança hídrica.

A Agência Nacional das Águas e Saneamento (ANA), como entidade reguladora desse recurso, coordena mais de 4 mil estações distribuídas por todo país, que juntas são operadas por empresas privadas e órgãos gestores estaduais, as quais monitoram a disponibilidade hídrica desses reservatórios, e maior parte desse acompanhamento é realizado de forma convencional, ou seja, em campo, por meio de coleta de informações registradas diariamente nessas estações (ANA, 2021). Apesar de ser um importante instrumento na caracterização e na avaliação dos corpos hídricos, esse tipo de monitoramento, por outro lado, é bastante trabalhoso, pois demanda tempo, como também necessidade de equipamentos e profissionais qualificados, possibilitando, conseqüentemente, altos custos.

É nesse contexto que o Sistemas de Informação Geográfica (SIG) se estabelece como importante alternativa para se fazer o monitoramento da variação do espelho d'água desses reservatórios. Além de facilitar a visualização das imagens, essa ferramenta permite que os dados, uma vez inseridos no sistema, sejam manipulados com mais rapidez e eficiência, reduzindo o tempo das tomadas de decisões e possibilitando, conseqüentemente, um monitoramento com custo relativamente baixo (BIJU, 2015; VILELA, 2010).

Dentre os estudos já realizados com a finalidade de monitorar os limites do espelho d'água de açudes, utilizando SIG, destacam-se os conduzidos por Souza *et al.* (2018), que empregaram para observar de forma temporal (2013, 2014, 2015 e 2016) a expansão ou o recuo da lâmina d'água do açude Inganzeiras (PI), utilizando imagens orbitais do satélite Landsat-7 (sensor ETM+) e Landsat-8 (sensor OLI), o de Bezerra *et al.* (2016), que utilizaram em uma análise multitemporal do reservatório Engenheiro Ávidos (PB) para os anos 2009, 2014, 2015 e 2016 e o de Souza *et al.* (2015), que analisaram a redução do espelho d'água dos reservatórios situados no município de Cruzeta (RN) referente aos anos 2008, 2012 e 2015.

Neste caso, o emprego de imagens dos satélites Landsat-8 (sensor OLI), Sentinel-2A (sensor MSI) e o CBERS-4A (WPM), disponibilizadas gratuitamente, tem grande potencial, em especial estes dois últimos, que possuem sensores ópticos de alta qualidade, capazes de produzir imagens com ótima resolução espacial, as quais possibilitam maior nível de detalhamento das áreas de interesse (EMPRAPA, 2020).

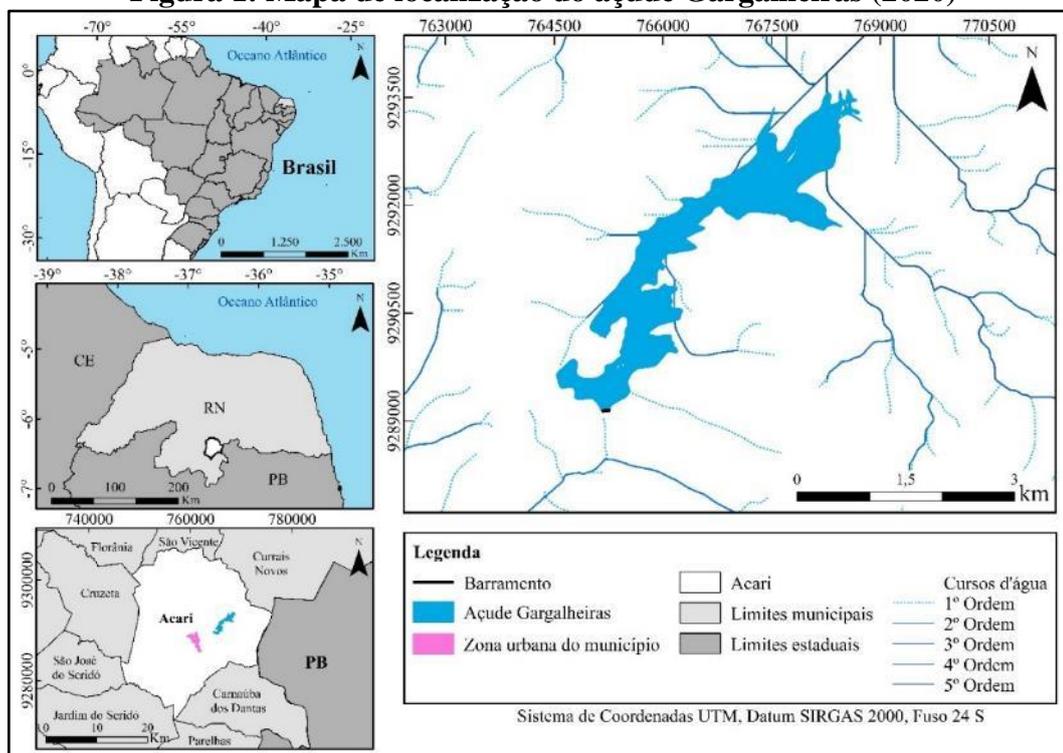
Sendo assim, este trabalho tem como objetivo verificar, por meio do emprego de SIG, a variação do espelho d'água, referente aos anos 2013, 2015, 2017 e 2020, do açude Gargalheiras, localizado na região do Seridó Potiguar, município de Acari, e comparar com os dados de precipitação pluviométrica para cada ano considerado.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

O açude Gargalheiras está localizado na porção nordeste do município de Acari (RN), distante, aproximadamente 228 km de Natal. Construído em 1959 pelo Departamento Nacional de Obras Contra Secas (DNOCS), tem o importante papel de garantir o abastecimento hídrico das cidades de Acari e Currais Novos (DNOCS, 2021; DUARTE, 2011; IBGE, 2021) (Figura1).

O reservatório está inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Piranhas-Açu, tem uma capacidade de armazenamento de 44.421.480,38 m<sup>3</sup> e uma bacia hidráulica de 805,67 ha. A barragem é construída em concreto armado, com altura de 26,5 m e extensão de 174 m, e barra o rio Acauã, com boqueirão entre serras, o que representou condições adequadas para a sua construção (SEMARH, 2015).

**Figura 1: Mapa de localização do açude Gargalheiras (2020)**



Fonte: GADM (2018) e IBGE (2020). Elaborado pelo autor (2021).

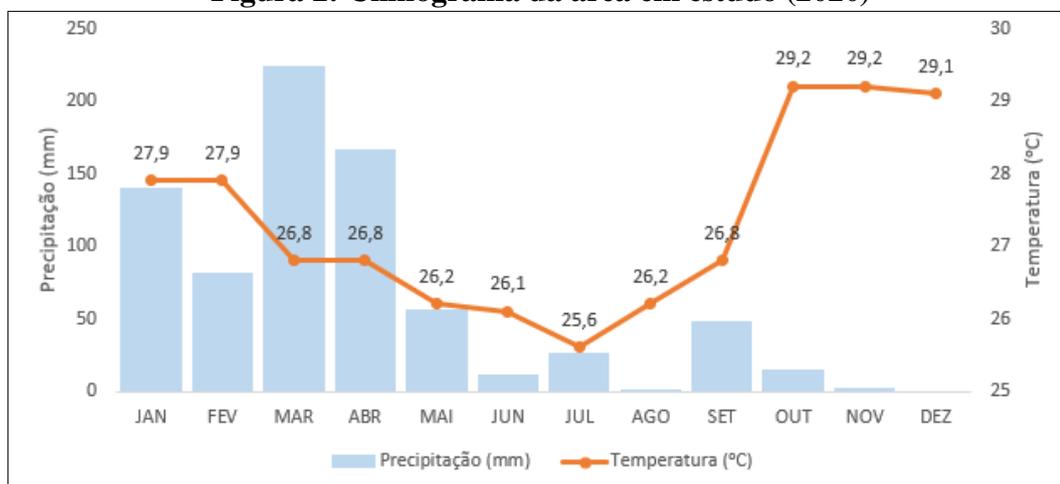
Geologicamente, o manancial encontra-se disposto sobre unidades Pré-Cambrianas Neoproterozóicas, correspondentes aos Domínios Rio Piranhas-Seridó e Jaguaribeano, constituídos, respectivamente, pelas rochas Suíte Intrusiva Itaporanga, Formação Seridó, e Suíte Intrusiva Dona Inês (ANGELIM *et al.*, 2006). Quanto a geomorfologia, este apresenta duas áreas de diferenciação associadas à Depressão Sertaneja Setentrional e à Serras Ocidentais do Planalto da Borborema (IBGE, 2009). A classe de solo, tomando como base o Sistema de Classificação de Solos da EMBRAPA (2006), é do tipo Neossolo Litólico Eutrófico, assentado diretamente sobre o embasamento cristalino (BEZERRA JÚNIOR E SILVA, 2007; SANTOS *et al.*, 2018).

Pela classificação climática de Köepen-Geiger, o reservatório está totalmente inserido no clima semiárido do tipo BSh (Figura 2) com forte insolação, altos índices de evaporação e regime pluviométrico inferior a 800 mm (ALVARES *et al.*, 2013; EMPARN, 2024).

A bacia hidrográfica, com drenagem dendrítica, possui uma extensão de 2.122 km<sup>2</sup> e abrange nove municípios, cinco deles localizados no RN (Acari, Carnaúba dos Dantas, Cerro

Corá, Currais Novos e Lagoa Nova) e quatro na Paraíba (Frei Martinho, Nova Palmeira, Pedra Lavrada e Picuí) (BELTRÃO *et al.*, 2005; CHRISTOFOLETTI, 1980).

**Figura 2: Climograma da área em estudo (2020)**



Fonte: AESA (2024) e EMPARN (2024). Elaborado pelo autor (2024).

A amplitude altimétrica encontra-se entre 264 e 741m, e decresce à medida que se aproxima do vertedor do reservatório, cuja a cota é de aproximadamente 277m (INPE, 2002). Quanto a cobertura vegetal, a maior parte é ocupada pela savana-estépica parque (55,6%), seguida da savana-estépica arborizada (26,9%), agropecuária (12,5%) e agricultura (3,4%) (IBGE, 2020).

## METODOLOGIA

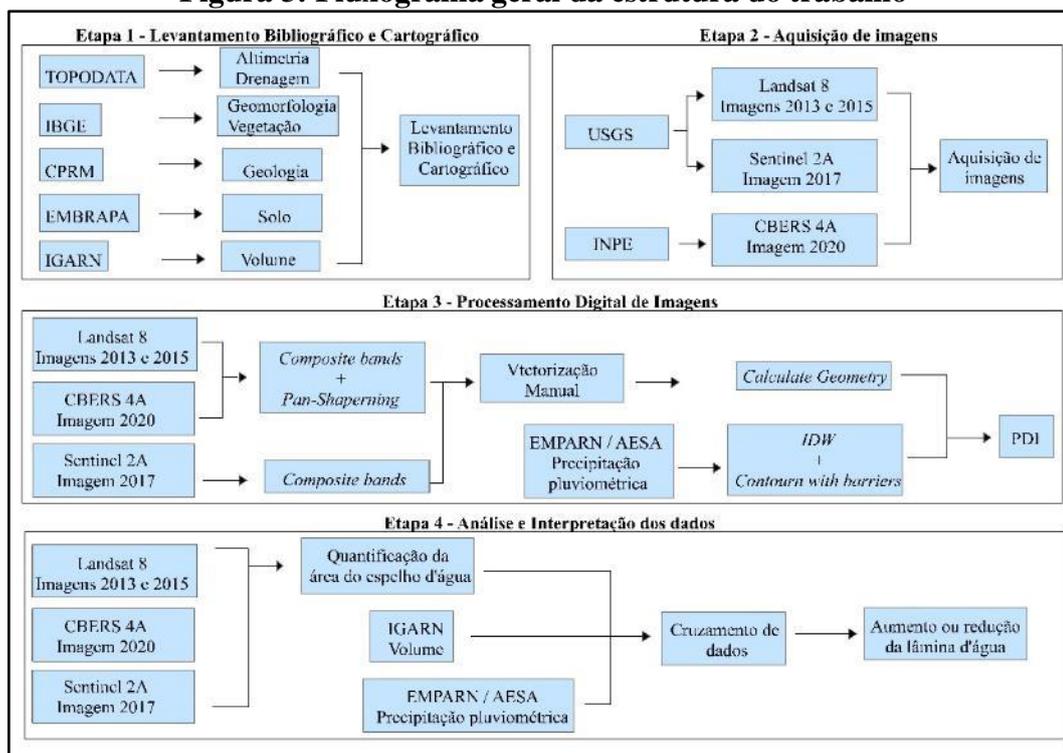
A metodologia é sintetizada em quatro etapas: 1) Levantamento bibliográfico e cartográfico; 2) Aquisição de imagens orbitais; 3) Processamento Digital de Imagens e 4) Análise e Interpretação dos dados. Na figura 3 é apresentado o fluxograma geral.

Inicialmente, para se obter uma visão abrangente das características naturais da área e o entendimento da relação entre os atributos dos meios físico, biótico e antrópico, realizou-se o levantamento bibliográfico e cartográfico da Geologia, Geomorfologia, Cobertura vegetal, entre outros (Tabela 1). Os planos de informação foram reprojeto para o sistema de projeção UTM, no Datum SIRGAS 2000, georreferenciados no Fuso 24S. Os dados foram manuseados e integrados no *software* ArcGis 10.5 (ESRI, 2017).

Os dados matriciais adquiridos por Sensoriamento Remoto consistiram em imagens orbitais multitemporais de três satélites com diferentes instrumentos imageadores: sensor OLI,

do Landsat-8; sensor MSI, do Sentinel-2A e o sensor WPM, do CBERS-4A. As imagens foram adquiridas, gratuitamente, nos sites da *United States Geological Survey* (USGS) e do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Optou-se por imagens com menor quantidade de nuvens e captadas em período de estiagem na região (Tabela 2).

**Figura 3: Fluxograma geral da estrutura do trabalho**



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

**Tabela 1: Características das informações geográficas utilizadas na organização do banco de dados secundários.**

Planos de Informação	Descrição	Fonte	Resolução espacial/Escala
Clima	Classificação climática	Alvares <i>et al.</i> (2013) e EMPARN (2024)	
Geologia	Formações geológicas	CPRM (2006)	1:100.000
MDE	Hipsometria/Drenagem	TOPODATA (2002)	
Geomorfologia	Compartimentos de relevo	IBGE (2020)	1:250.000
Vegetação	Cobertura vegetal		
Pedologia	Tipos de solo	EMPRAPA (2006)	1:5.000.000

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

**Tabela 2: Características das imagens de satélites orbitais.**

Satélites orbitais	Sensor	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Resolução Radiométrica	Faixa Imageada	Data
*LANDSAT 8	OLI	30/15 m	16 dias	16 bits	185/180 km	23/10/2013 29/10/2015
**SENTINEL 2A	MSI	10 m	5 dias	12 bits	290 km	12/11/2017
***CBERS- 4A	WPM	8/2m	31 dias	10 bits	92 km	08/10/2020

Fonte: \*USGS (2017), \*\*ESA (2021) e \*\*\*INPE (2019). Elaborado pelo autor (2021).

Para análise temporal das variações do espelho d'água, empregou-se as técnicas de Processamento Digital de Imagens (PDI) nas imagens selecionadas, visando reparar os erros e os ruídos que estas pudessem apresentar, transformando-se em imagens digitais com melhores qualidades espectrais e espaciais (MENESES; ALMEIDA, 2012). A plataforma utilizada para o PDI das imagens de satélite foi o ArcGis 10.5.

Com a finalidade de obter melhores visualizações dos limites do espelho d'água do reservatório, foram geradas composições de bandas espectrais nas imagens, sendo utilizada para este fim a ferramenta “*composite bands*”. Em seguida, com o auxílio da ferramenta “*pan-shapening*”, cada composição espectral gerada, com exceção a do Sentinel -2A cuja resolução espacial foi de 10 m, foi combinada com a respectiva banda pancromática de cada sensor por meio do processo de fusão de bandas, objetivando produzir imagens com melhores resoluções espaciais. As combinações de bandas, que tiveram melhores resultados, como também suas respectivas fusões estão descritas na Tabela 3.

**Tabela 3 – Listas das combinações de bandas utilizadas nas imagens de satélites e suas respectivas fusões.**

Satélites	Bandas espectrais	Fusão	Resolução espacial
LANDSAT-8	R- Banda 5 (0,85-0,88 $\mu\text{m}$ )	(R-5 G-4 B-3)	15 metros
	G- Banda 4 (0,64-0,67 $\mu\text{m}$ )	+	
	B- Banda 3 (0,53-0,59 $\mu\text{m}$ )	Pan (8) (0,50-0,68 $\mu\text{m}$ )	
SENTINEL-2A	R- Banda 8 (0,842 $\mu\text{m}$ )	-	10 metros
	G- Banda 4 (0,665 $\mu\text{m}$ )		
	B- Banda 3 (0,56 $\mu\text{m}$ )		
CBERS-4A	R- Banda 3 (0,63-0,69 $\mu\text{m}$ )	(R-3 G-2 B-1)	2 metros
	G- Banda 2 (0,52-0,59 $\mu\text{m}$ )	+	
	B- Banda 1 (0,45-0,52 $\mu\text{m}$ )	Pan (0) (0,45-0,90 $\mu\text{m}$ )	

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Finalizada a fusão, realizou-se a vetorização poligonal manual em tela (*heads-up*) (JENSEN 2009; LONGLEY *et al.*, 2013) do espelho d'água para cada imagem multitemporal,

e, em seguida, para cada polígono vetorizado, quantificou-se a área por meio da ferramenta “*calculate geometry*”, e o volume de água, cujos dados foram retirados diretamente do *site* do Instituto de Gestão das Águas do Rio Grande do Norte (IGARN). Posteriormente, objetivando verificar as áreas que tiveram expansão ou recuo da lâmina d'água, referentes ao espelho d'água dos anos 2013, 2015, 2017 e 2020, realizou-se a interseção de cada polígono, por meio da ferramenta “*intersect*” do ArcGis 10.5.

Para estimar a precipitação média, em mm, da bacia hidráulica do açude, foram geradas interpolações sobre os dados de precipitações mensais, obtidas diretamente de nove postos pluviométricos instalados nos respectivos municípios, que encontram-se situados na sua bacia hidrográfica, são eles: Acari, Carnaúba dos Dantas, Cerro Corá, Currais Novos, Lagoa Nova, Frei Martinho, Nova Palmeira, Pedra Lavrada e Picuí, referentes aos anos de 2011 a 2020, sendo aplicado para isto o algoritmo *Inverse Distance Weighted* (IDW) (da ferramenta “*Interpolation*”). Depois, usando o algoritmo “*Contour with barriers*” (da ferramenta “*Surface*”), traçou-se as isoietas, estimando, assim, os valores das precipitações médias na bacia. De posse a esses valores de precipitação média para a bacia, foi efetuada a confecção de gráficos das precipitações mensais e anuais.

E, por fim, com todas as informações digitalizadas, prosseguiu-se a última etapa da elaboração deste trabalho, análise e interpretação de dados, permitindo analisar o comportamento do reservatório no período estudado, avaliando se houve redução ou aumento gradual do espelho d'água e de seu volume, relacionando com os dados de precipitação, concluindo-se, assim, a produção deste artigo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Análise temporal da lâmina d'água

O uso das imagens de satélites aliado as técnicas de PDI permitiram a realização do mapeamento do açude Gargalheiras nos períodos 2013, 2015, 2017 e 2020. Com base nas informações geradas, em escala média, e na vetorização, que ocorreu em cenas imageadas entre os anos 2013 e 2020, observou-se uma forte variação na área do espelho d'água como também no volume armazenado do açude ao longo dos anos.

Em 2013, o reservatório apresentava um espelho d'água com área de 245,60 ha e um volume de 7.883.230,68 m<sup>3</sup>, reduzindo-se em 2015, respectivamente, para 8,19 ha (-96,7%) e 20.430,83 m<sup>3</sup> de volume acumulado. Em 2017, a área do espelho d'água foi reduzida ainda mais, chegando a 0,369 ha (-95,5%), sem nenhum volume acumulado. Em 2020, a área do espelho d'água chegou a 366,88 ha (+99.325,47%) alcançando um volume de 11.716.970,30 m<sup>3</sup>. Entre os anos de 2013 e 2020, o açude de Gargalheiras apresentou um crescimento de 121,28 ha e 3.883.739,62 m<sup>3</sup> de água, correspondendo a 49,3% de acréscimo em 7 anos (Tabela 4).

Ao comparar os valores das extensões do espelho d'água obtidos com os valores estimados em campo pelo IGARN, verifica-se que houve diferenças percentuais. Para o ano de 2013, a diferença foi de 3,4%, 2015 (57,2%), 2017 (aproximadamente 1%) e 2020 (7,9%). Estas discrepâncias estão associadas à capacidade que o sensor possui em identificar o objeto na superfície terrestre em função do seu tamanho, isto é, sua resolução espacial. Dentre os sensores, utilizados no presente trabalho, que teve alta capacidade de observar o alvo escolhido foi o WPM (CBERS-4A, 2,5 m de resolução espacial), permitindo nesta, maior nível de detalhamento, ao contrário do sensor OLI (Landsat-8, 15 m de resolução espacial), a qual não apresentaram tanta riqueza de detalhes como na imagem anterior. Já com relação ao sensor MSI (Sentinel-2A, 10 m de resolução espacial), sendo esta intermediária entre as outras duas imagens analisadas.

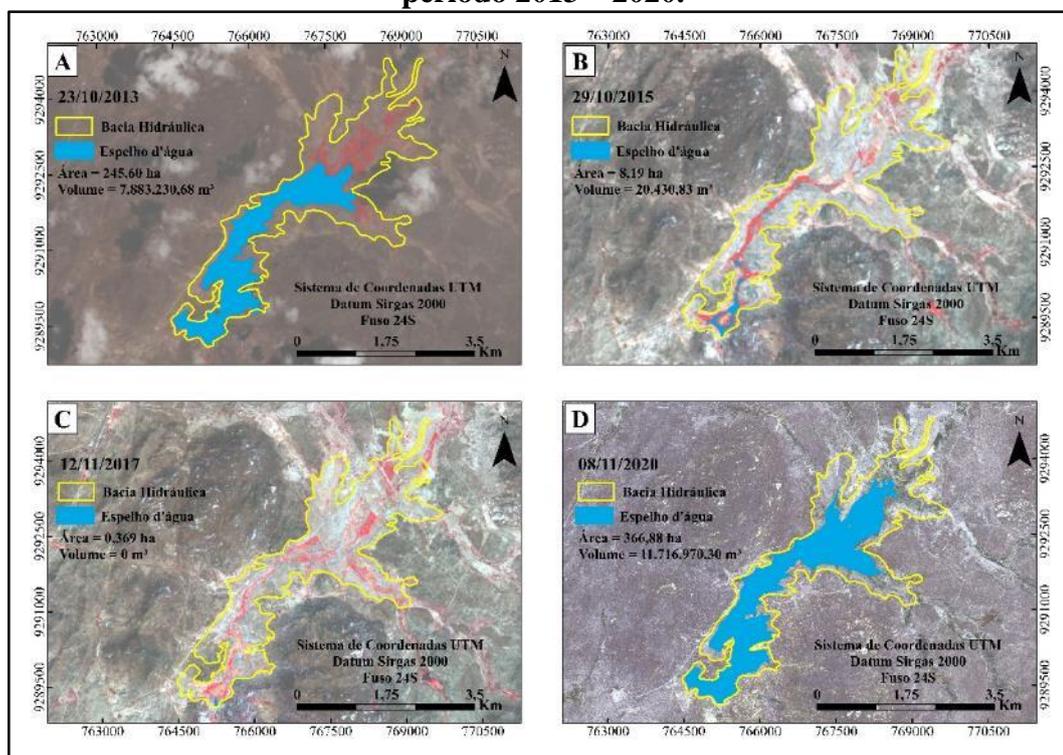
**Tabela 4 – Resultados da análise da área e do volume do espelho d'água do açude Gargalheiras.**

Anos	*Área do espelho d'água (ha): SIG e (IGARN) [diferença %]	Aumento ou redução (ha) SIG	Mudança relativa	*Volume Total de água (m <sup>3</sup> )	Aumento ou redução do volume de água (m <sup>3</sup> )
2013	245,60 (237,2) [3,4]			7.883.230,68	
2015	8,19 (3,5) [57,2]	-	-96,7%	20.430,83	-
2017	0,369 (seco)	- 7,82	-95,5%	-	-
2020	366,88 (338) [7,9]	366,51	+99.325,47%	11.716.970,30	11.716.970,3

Fonte: \*IGARN (2021). Elaborado pelo autor (2021).

Verifica-se pela Figura 4 os perímetros do açude, como também a variação significativa da área do espelho d'água na sua bacia hidráulica.

**Figura 4: Variação do espelho d'água na bacia hidráulica do açude Gargalheiras, no período 2013 – 2020.**

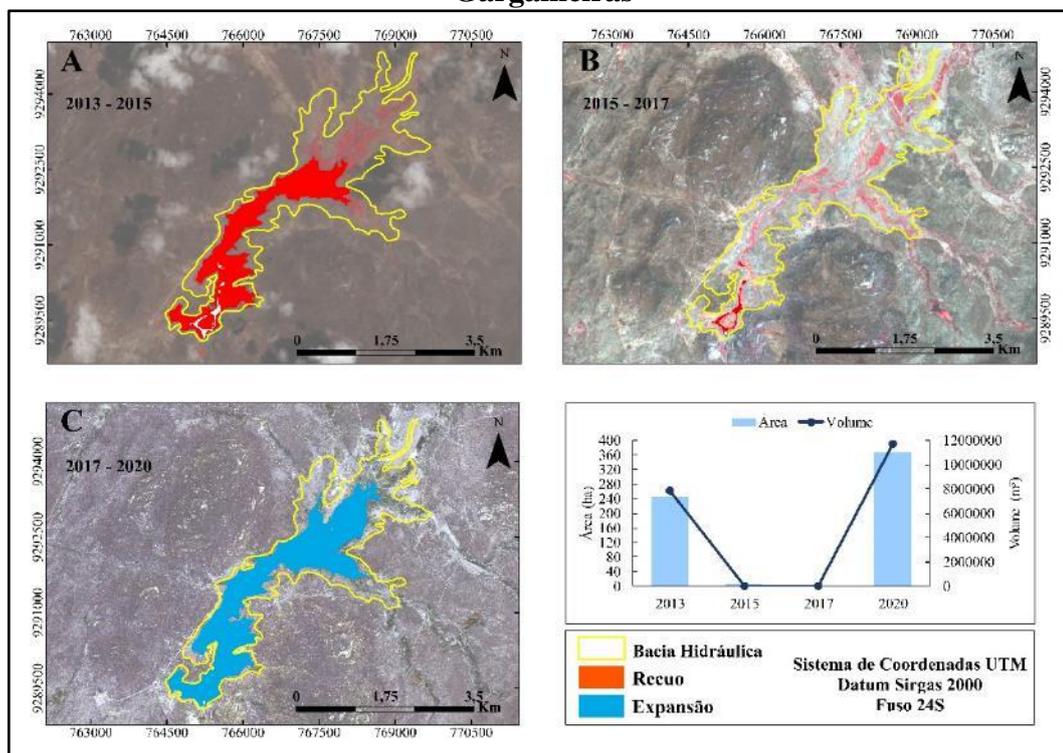


Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

### Áreas de expansão ou recuo do espelho d'água

A ferramenta “*intersect*” do software ArcGis 10.5 permitiu verificar as áreas do açude Gargalheiras, nas quais houve expansão ou recuo da lâmina d'água para cada período estudado (Figura 5).

**Figura 5: Expansão e/ou recuo do espelho d'água na bacia hidráulica do açude Gargalheiras**



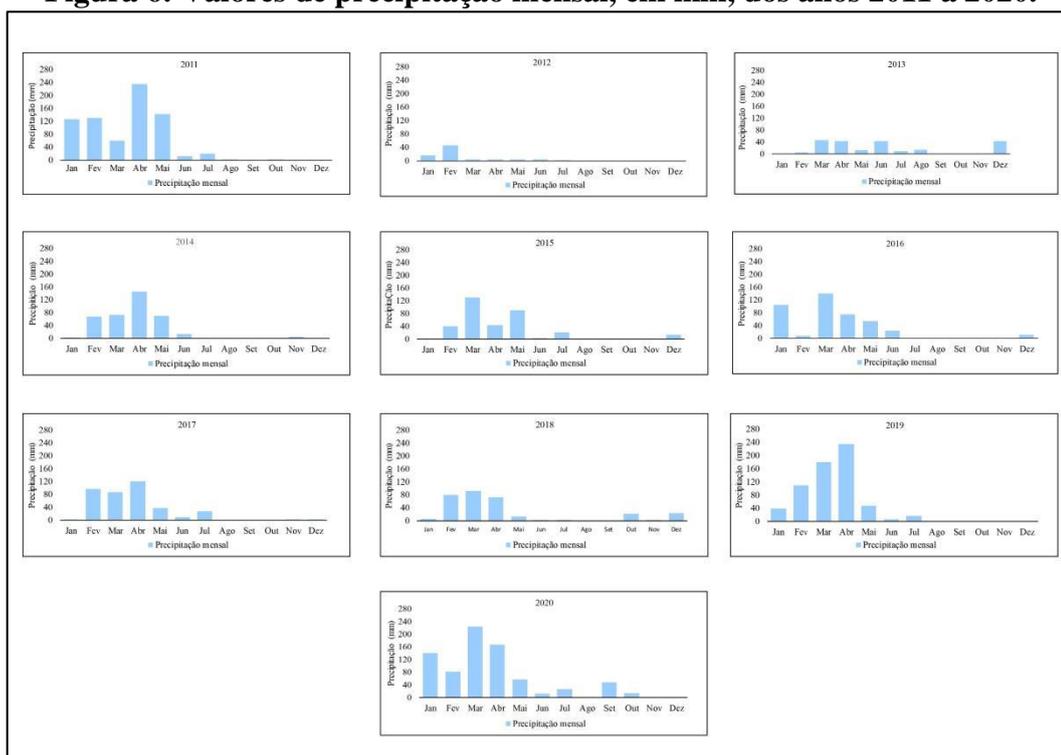
Verifica-se pela Figura 5A que entre os anos de 2013 e 2015, houve um forte recuo da lâmina d'água, provocado pela escassez de chuva na região, reduzindo cerca de 237,41 ha de área, além do volume, que apresentou uma redução de 7.862.799,85 m<sup>3</sup>, correspondendo a 96,7% de decréscimo durante esse período. Entre 2015 e 2017 (Figura 5B), o recuo da lâmina d'água se manteve em quase todo o reservatório, em virtude da estiagem prolongada na região, reduzindo num total de 7,82 ha de água, bem como a capacidade, que teve uma redução de 20.430,83 m<sup>3</sup>(95,7%) de água. E, por último, entre os anos de 2017 e 2020 (Figura 5C), verificou-se uma expansão significativa na lâmina d'água do açude, expansão esta associada, provavelmente, às fortes chuvas que precipitaram sobre a região, resultando num aumento de, aproximadamente, 366,51 ha, como também o volume, que apresentou uma elevação de 11.716.970,30 m<sup>3</sup> de água.

### Dados de precipitação pluviométrica

Ao realizar a interpolação dos dados de pluviosidade dos referidos postos pluviométricos, obtidos diretamente nos sites da Agência Executiva de Gestão das Águas da Paraíba (AESA) e da Empresa de Pesquisa e Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN), foi possível estimar, para cada mês dos anos considerados, o quanto de chuva precipitou sobre a bacia hidráulica.

Observa-se que o mês que teve maior contribuição pluviométrica foi abril, com média de 114 mm, sendo a mínima de 4 mm e a máxima de 236 mm, seguido do mês de março, com média de 103,4 mm, mínima de 3 mm e máxima de 223,5 mm, enquanto que os meses menos chuvosos foram agosto e novembro, que tiveram médias, respectivamente, de 1,87 mm e 0,78 mm (Figura 6).

**Figura 6: Valores de precipitação mensal, em mm, dos anos 2011 a 2020.**

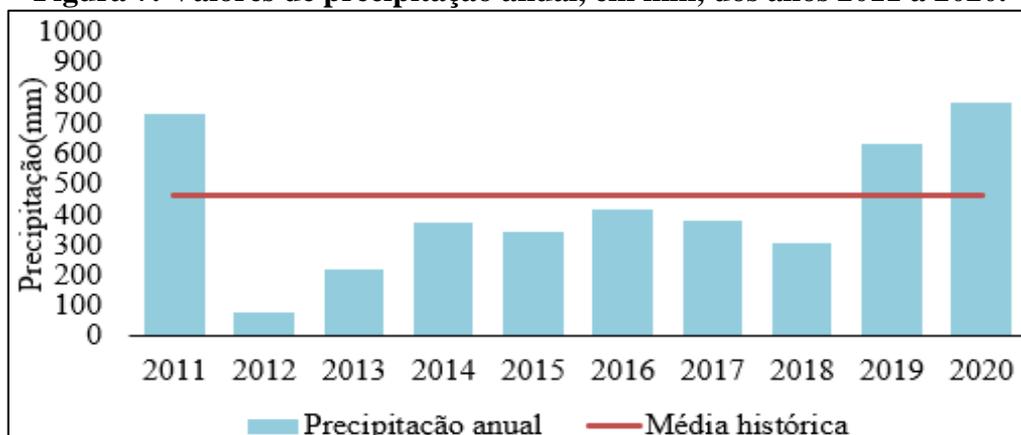


Fonte: AESA (2024) e EMPARN (2024). Elaborado pelo autor (2024).

As precipitações médias anuais no reservatório, geraram acumulados pluviométricos em torno de 730 mm (2011), 79 mm (2012), 217,8 mm (2013), 374 mm (2014), 341,8 mm (2015),

416,8 mm (2016), 379 mm (2017), 308,7 mm (2018), 635,4 mm (2019) e 766,5 mm (2020), com média histórica (1992-2020) estimada total de 464,17 mm (Figura 7).

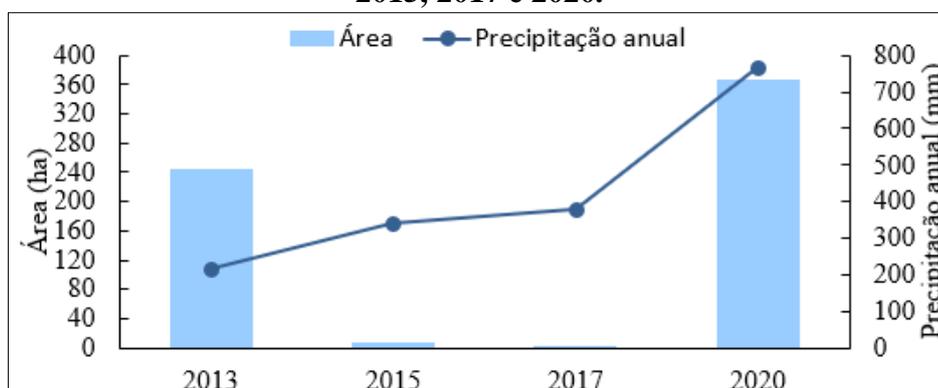
**Figura 7: Valores de precipitação anual, em mm, dos anos 2011 a 2020.**



Fonte: AESA (2024) e EMPARN (2024). Elaborado pelo autor (2024).

Os valores apresentados apontam que os anos 2011, 2019 e 2020 foram os que tiveram maiores acumulados de chuvas acima da média histórica ao longo dos anos, com destaque para o ano 2020, onde verificou-se o maior valor de precipitação, com aproximadamente 65,1% acima da média. Por outro lado, entre os anos 2012 e 2018, os valores das precipitações pluviométricas ficaram abaixo da média. Deste intervalo, sobressai-se 2012, onde constatou-se o menor volume pluviométrico, com cerca de 17 % abaixo da média.

Ao relacionar o somatório dos valores das chuvas acumuladas com as áreas do espelho d'água (Figura 8), pode-se afirmar que de 2013 a 2015 houve um aumento de 124 mm das chuvas acumuladas, entre 2015 e 2017, um aumento de 37,2 mm, e de 2017 a 2020, um aumento significativo em 387,5 mm, aumento este que interferiu positivamente na recarga hídrica do reservatório. Já com relação ao período estudado (2013-2020), um aumento foi de 548,7 mm.

**Figura 8: Valores de precipitação anual e da área do espelho d'água para os anos 2013, 2015, 2017 e 2020.**

Fonte: AESA (2024) e EMPARN (2024). Elaborado pelo autor (2024).

Apesar do aumento do volume pluviométrico ocorrido nos períodos: 2013-2015 e 2015-2017, observa-se, mesmo assim, uma redução bastante expressiva no espelho d'água do Gargalheiras (Figura 4B e 4C). Para Santana e Santos (2020), esse fenômeno está relacionado com o último ciclo de seca, ocorrido entre 2012 e 2017, enfrentada na região, que aliado as altas taxas de evaporação fez com que grande parte da água precipitada durante esse período fosse evaporada, influenciando, na redução da área do espelho d'água desse açude.

Ressalta-se que durante os períodos de estiagem, conforme o espelho d'água do açude diminui, diversas atividades econômicas dominantes na região como: a agricultura e a pecuária, se desenvolvem na sua bacia hidráulica, que associadas a elevadas temperaturas, aumentam a concentrações de sais e de nutrientes, assim provocando a eutrofização nos períodos chuvosos (FERNANDES, 2020), o qual acaba interferindo consequentemente na redução e na deterioração da quantidade e qualidade da água, respectivamente (PAIVA *et al.*, 2022).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Constatou-se que entre os anos de 2013 e 2020, o açude Gargalheiras apresentou uma variação significativa quanto a extensão de seu espelho d'água. No computo geral, o volume pluviométrico no período estudado demonstrou um acréscimo de 548,7 mm, consequentemente, houve um acréscimo de 121,28 ha de extensão do espelho d'água entre 2013 e 2020, assim como o volume, que obteve uma elevação de 3.883.739,62 m<sup>3</sup> (49,3%).

Observando as taxas das chuvas acumuladas anual entre 2012 e 2018, verificou-se uma forte redução na área do espelho d'água, principalmente entre 2013 e 2015 e 2015 e 2017, em

virtude da estiagem, evidenciando, desta forma, que a irregularidade pluviométrica foi a principal responsável pelas oscilações na lâmina d'água do reservatório ao longo dos anos.

Diante da moderada diferença nos dados de área registrado por meio de medição e dos verificados por meio das imagens orbitais, verificou-se que a metodologia empregada neste trabalho pode servir de exemplo para estudos de monitoramento de espelho d'água em outros reservatórios, como também, na avaliação dos efeitos das estiagens prolongadas.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DA PARAÍBA. **Meteorologia – chuvas**. João Pessoa, PB: AESA. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas/>. Acesso em 22 de set. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS E SANEAMENTO. **Catálogo de metadados daANA – Massas d'água**. Brasília, DF:ANA. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/7d054e5a-8cc9-403c-9f1a-085fd933610c>. Acesso em 16 de fev. 2021.

ANGELIN, Luiz Alberto de Aquino *et al.* Unidades Litoestratigráficas. *In*: ANGELIN, Luiz Alberto de Aquino (org.). **Geologia e recursos minerais do estado do Rio Grande do Norte** – Escala 1:500.000. Recife: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2006. p. 15-52. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/10234>. Acesso em 07 de maio. 2021.

ALVARES, Clayton Alcarde *et al.* Köppen's climate classification map for brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n 6, p. 711-728, 2013. Disponível em: [http://www.lerf.eco.br/img/publicacoes/Alvares\\_etal\\_2014.pdf](http://www.lerf.eco.br/img/publicacoes/Alvares_etal_2014.pdf) . Acesso em: 04 de maio. 2021.

A REDE hidrometeorológica nacional. [Brasília, DF: ANA], 2014. 1 vídeo (4 min). Publicado pelo canal anagovbr. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Fy01u64qt8&t=29s>. Acesso em: 03 de abr. 2021.

BAPTISTA, Naidison de Quintella; CAMPOS, Carlos Humberto. Caracterização do semiárido brasileiro. *In*: CONTI, Irio Luiz; SCHROEDER, Edni Oscar (orgs.). **Convivência com o semiárido brasileiro: autonomia e protagonismo social**. Brasília: Editora IABS, 2013. p. 55-60. Disponível em: <http://editora.iabs.org.br/site/index.php/portfolio-items/convivencia-com-o-semiarido-brasileiro-autonomia-e-protagonismo-social-vol-2/>. Acesso em: 29 de mar. 2021.

BELTRÃO, Breno Augusto *et al.* **Diagnóstico do município de acari**. Recife: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2005. Disponível em: [https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/16102/1/rel\\_acari.pdf](https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/16102/1/rel_acari.pdf) . Acesso em: 06 de maio. 2021.

BEZERRA, Ulisses Alencar *et al.* Análise temporal do espelho d'água do açude engenheiro ávidos (pb) usando imagens de satélites. *In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM CIÊNCIAS*, 2016, Campina Grande. **Anais** [...]. Campina Grande: Realize Editora, 2016. Disponível em: <https://www.editorarealize.com.br/artigo/visualizar/17800>. Acesso em: 05 de abr. 2021.

BEZERRA JÚNIOR, José Gilberto Olímpio; SILVA, Nubelia Moreira da. Caracterização geoambiental da microrregião do Seridó oriental do rio grande do norte. **Holos**. Natal, ano 23, v.2, p. 78-91, 2007. Disponível em: <http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/102/104>. Acesso em: 12 de maio. 2021.

BIJU, Bárbara Pavani. **Utilização do sistema de informação geográfica (SIG) na indicação de possíveis áreas aptas à disposição de resíduos de construção civil**. 2015. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015. Disponível em: [http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1328/1/CT\\_PPGEC\\_M\\_Biju,%20B%C3%A1rbara%20Pavani\\_2015.pdf](http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1328/1/CT_PPGEC_M_Biju,%20B%C3%A1rbara%20Pavani_2015.pdf). Acesso em: 20 de out. 2021.

CENTER FOR SPACE SCIENCE AT THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA. **Database of Global Administrative Areas**. Berkeley: GADM, 2018. Disponível em: <https://gadm.org/>. Acesso em: 14 de abr. 2021.

CONSELHO DELIBERATIVO DA SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. Resolução Condel/Sudene nº 176, de 3 de janeiro de 2024. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 5, p. 946,8 jan. 2024. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-condel/sudene-n-176-de-3-de-janeiro-de-2024-536223462>. Acesso em: 15 de set. 2024.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. A análise de bacias hidrográficas. *In: CHRISTOFOLETTI, Antônio. Geomorfologia*. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1980. p. 102-127.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA SECA. **Ficha técnica dos reservatórios**: estado rn. Fortaleza, CE: DNOCS, 2021. Disponível: [https://www.dnocs.gov.br/php/canais/recursos\\_hidricos/fic\\_tec\\_estado.php?sigla\\_estado=RN](https://www.dnocs.gov.br/php/canais/recursos_hidricos/fic_tec_estado.php?sigla_estado=RN). Acesso em: 02 de maio. 2021.

DUARTE, Marco Antonio Calazans. Características do manancial. *In: DUARTE, Marco Antonio Calazans. Tratamento da água para consumo humano de reservatório eutrofizado através de pré e interoxidação, adsorção em carvão ativado e dupla filtração*. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. f. 58-61. Disponível em: [https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-05052011-085250/publico/Duarte\\_Marco.pdf](https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-05052011-085250/publico/Duarte_Marco.pdf). Acesso em: 02 de maio. 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA E AGROPECUÁRIA. **Mapas de solos do Brasil**. Rio de Janeiro, RJ: EMBRAPA, 2006. Disponível em: [http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3ABrasil\\_solos\\_5m\\_20201104](http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3ABrasil_solos_5m_20201104). Acesso em: 11 de maio. 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA E AGROPECUÁRIA. **Satélites de Monitoramento**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento>. Acesso em 05 de abr. 2021.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO RIO GRANDE DO NORTE. **Monitoramento das variáveis meteorológicas**. Natal, RN: EMPARN, 2024. Disponível em: <https://meteorologia.emparn.rn.gov.br/monitoramento/var-meteorologicas>. Acesso em: 22 de set. 2024.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE (ESRI). ArcGIS for the desktop 10.5, 2017.

EUROPEAN SPACE AGENCY. **Sentinel 2 – Colour vision for Copernicus**. Paris: ESA, 2021. Disponível em: [https://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus/Sentinel-2](https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2). Acesso em: 28 de jun. 2021.

FERNANDES, Luana Silvestre. **Dinâmica nictemeral das variáveis limnológicas de um reservatório da região do semiárido (Gargalheiras/RN)**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020.

GONDIM, Joaquim *et al.* A seca atual no semiárido nordestino: impactos sobre os recursos hídricos. **Parcerias Estratégicas**. Brasília, v. 22, n.44, p. 277-300, jan./jun. 2017. Disponível em: [http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias\\_estrategicas/article/viewFile/856/784](http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/viewFile/856/784). Acesso em: 31 de mar. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades e Estados**. Rio de Janeiro, RJ: IBGE, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados.html?view=municipio>. Acesso em: 06 de abr. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Banco de informações ambientais**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/home>. Acesso em: 28 de abr. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Malha municipal**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/15774-malhas.html?=&t=acesso-ao-produto>. Acesso em: 09 de abr. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de geomorfologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv66620.pdf>. Acesso em: 09 de maio. 2021.

INSTITUTO DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO RIO GRANDE DO NORTE. **Situação volumétrica dos reservatórios do rn**. Natal, RN: IGARN, 2021. Disponível em: <http://sistemas.searh.rn.gov.br/MonitoramentoVolumetrico/Monitoramento/FiltroEvolucaoVolumetricaDetalhada?idReservatorio=1065> . Acesso em: 12 de nov. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Câmeras imageadoras do CBERS 4A**. São José dos Campos: INPE, 2019. Disponível em: <http://www.cbears.inpe.br/sobre/cameras/cbers04a.php>. Acesso em 28 de jun. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA ESPACIAIS. **Divisão de geração de imagens – CBERS 4A WPM**. São José dos Campos: INPE, 2020. Disponível em: <http://www2.dgi.inpe.br/catalogo/explore>. Acesso em: 9 de abr. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **TOPODATA – Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil**. São José dos Campos: INPE, 2002. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>. Acesso em: Acesso em 20 de abr. 2021.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: Uma perspectiva em recursosterrestres**. São José dos Campos, SP. 598p., 2009.

LONGLEY, PAUL A. ET AL. **Sistemas e ciência da informação geográfica**. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 540 p. ISBN: 9788565837699.

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati de. Distorções e correções dos dados da imagem. *In*: MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati de (orgs.). **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: Universidade de Brasília, 2012. p. 82.

PAIVA, Arthur Miranda Lobo de *et al.* Fragilidade ambiental aplicada em área de manancial no nordeste brasileiro. **Revista de Geociências do Nordeste**. Caicó, v.8, n.1, p. 128-147, 14 abr. 2022. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/24368/15609>. Acesso em 17 de abr. 2022.

RIO GRANDE DO NORTE. Secretaria de meio ambiente e recursos hídricos. **Ficha técnica do reservatório marechal Dutra**. Natal, RN: SEMARH, 2015. Disponível em: <http://sistemas.searh.rn.gov.br/MonitoramentoVolumetrico/Monitoramento/FichaTecnica?idReservatorio=1065>. Acesso em 02 de maio. 2021.

SANTANA, Adrielli Santos de; SANTOS, Gesmar Rosa dos. Impactos da seca de 2012-2017 na região semiárida do nordeste: notas sobre a abordagem de dados quantitativos e conclusões qualitativas. **Boletim Regional, Urbano e Ambiental**. Brasília, n.22, p. 120-129, jan./jun. 2020.

SANTOS, Valterlin da Silva; FARIAS, Camilo Allyson Simões de; REIS, Cristiane Queiroz Reis. Análise do atendimento às demandas dos reservatórios engenheiro ávidos e são gonçalo

no semiárido paraibano. *In*: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 12., 2014, Natal. **Anais** [...]. Natal: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2014. p. 2. Disponível em: <http://eventos.abrh.org.br/xiisrhn/anais/papers/PAP018200.pdf>. Acesso em: 02 de abr. 2021.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Dados, informações e produtos do serviço geológico do brasil**. Recife: CPRM, 2006. <http://geosgb.cprm.gov.br/geosgb/downloads.html>. Acesso 25 de abr. 2021.

SOUZA, Gilvania Maria de *et al.* Análise multiemporal da redução do espelho d'água nos reservatórios do município de cruzeta rn, através de imagens de satélite. *In*: WORKSHOP INTERNACIONAL SOBRE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO, 2., 2015, Campina Grande. **Anais** [...]. Campina Grande: Realize Editora, 2015. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/17196>. Acesso em: 05 de abr. 2021.

SOUZA, Jairo Rodrigues de; PAIXÃO, Mariana Sousa; CARVALHO, Josilândia dos Santos. Avaliação multitemporal do espelho d'água do açude ingazeiras usando processamento digital de imagens e dados de pluviosidade. **Revista Connexio**. Natal, v. 7, n. 2, p. 42-55, 2018.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **EarthExplorer** – Landsat 8 OLI. Reston: USGS, 2013, 2015, 2017. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 09 de abr. 2021.

VILELA, Marcos Augusto Macedo Araújo. **Metodologia para monitoramento da qualidade da água de reservatórios utilizando sensoriamento remoto**. 2010. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2010.