



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**DADOS ORBITAIS APLICADOS NA VARIABILIDADE
TEMPORAL DO AÇUDE POÇO DA CRUZ - PE**

VITÓRIO ÍTALO CAVALCANTI PAIVA

RECIFE
2021

VITÓRIO ÍTALO CAVALCANTI PAIVA

**DADOS ORBITAIS APLICADOS NA VARIABILIDADE
TEMPORAL DO AÇUDE POÇO DA CRUZ - PE**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) como parte dos requisitos para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profª. D.Sc. Leidjane Maria Maciel de Oliveira

RECIFE

2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Paiva, Vitório Ítalo Cavalcanti .

Dados orbitais aplicados na variabilidade temporal do Açude Poço da Cruz-PE
/ Vitório Ítalo Cavalcanti Paiva. - Recife, 2022.

30 f : il., tab.

Orientador(a): Leidjane Maria Maciel de Oliveira

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de
Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Civil, 2022.

1. Sensoriamento remoto . 2. OLI/Landsat 8. 3. Índice de vegetação por
diferença normalizada. 4. Açude Poço da Cruz - PE. I. Oliveira , Leidjane Maria
Maciel de. (Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)

VITÓRIO ÍTALO CAVALCANTI PAIVA

**DADOS ORBITAIS APLICADOS NA VARIABILIDADE TEMPORAL DO AÇUDE
POÇO DA CRUZ – PE**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) como parte dos requisitos para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Recursos Hídricos

Orientador: Profa. D.Sc. Leidjane Maria Maciel de Oliveira

Recife, 02 de setembro de 2021.

BANCA EXAMINADORA

Profa. D.Sc. Leidjane Maria Maciel de Oliveira (Orientadora)

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Prof. D.Sc. Anderson Luiz Ribeiro de Paiva (Examinador 1)

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

M.Sc. Débora Natália Oliveira de Almeida (Examinadora 2)

Pesquisadora da Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Agradeço a DEUS por ter me dado um rumo enquanto eu estava no “deixa a vida me levar”, por ter me protegido sempre, e pelas pessoas boas que fizeste cruzar meu caminho, as quais desejo que continuem a prosperar em seus caminhos com a graça de DEUS.

RESUMO

A tecnologia do Sensoriamento Remoto possibilitando acessibilidade das imagens orbitais, vem contribuindo cada vez mais com o desenvolvimento de pesquisas ambientais. Redução de custos e agilidade são algumas das vantagens do processamento das imagens de satélite, que ainda permitem análises mais precisas e um maior detalhamento das feições naturais através dos índices espectrais. Com o processamento do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), esta pesquisa objetivou a variabilidade temporal de corpo hídrico e vegetação do Açude Poço da Cruz em Pernambuco e seu entorno. Para tanto, utilizaram-se imagens orbitais do sensor OLI do Landsat 8, datadas de 21/10/2018 e 26/10/2020. Para o processamento do NDVI foi utilizado o software de livre acesso QGIS. Os resultados obtidos permitiram a caracterização da variabilidade temporal das áreas do espelho d'água no período de estudo. Nas cartas georreferenciadas do NDVI no período de estudo, observaram-se classes com variação de pixel de $NDVI < 0,00$ até $NDVI > 0,40$, onde foi possível detectar alvos terrestres configurados como corpo hídrico, vegetação e solo exposto. Também se observou que a geoespacialização dos espelhos d'água ($5,95 \text{ km}^2$ - 21/10/2018) e ($33,03 \text{ km}^2$ – 26/10/2020), conferem com os percentuais dos volumes máximos que variaram de outubro/2018 com 7,24%; e outubro/2020 com 57,78% conforme os dados da ANA. Desta forma, os resultados obtidos do mapeamento constataram a efetiva aplicabilidade do Sensoriamento Remoto na visualização do mosaico ambiental, em destaque de corpos hídricos e vegetação, sendo uma ferramenta aplicável pelos órgãos gestores do meio ambiente.

Palavras-chave: Landsat8; NDVI; Sensoriamento Remoto.

ABSTRACT

The Remote Sensing technology, enabling accessibility of orbital images, has been contributing more and more to the development of environmental research. Cost reduction and agility are some of the advantages of processing satellite images, which also allow for more accurate analysis and greater detailing of natural features through spectral indices. With the processing of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), this research aimed at the temporal variability of the water body and vegetation of the Poço da Cruz Dam in Pernambuco and its surroundings. For this purpose, orbital images from the Landsat 8 OLI sensor, dated 10/21/2018 and 10/26/2020, were used. For the NDVI processing, the QGIS open access software was used. The results obtained allowed the characterization of the temporal variability of the water mirror areas in the study period. In the georeferenced NDVI charts during the study period, classes with pixel variation from $NDVI < 0.00$ to $NDVI > 0.40$ were observed, where it was possible to detect terrestrial targets configured as water bodies, vegetation and exposed soil. It was also observed that the geospatialization of the water mirrors (5.95 km^2 - 10/21/2018) and (33.03 km^2 - 10/26/2020), match the percentages of maximum volumes that varied from October/2018 with 7.24%; and October/2020 with 57.78% according to ANA data. In this way, the results obtained from the mapping verified the effective applicability of Remote Sensing in the visualization of the environmental mosaic, in emphasis of water bodies and vegetation, being an applicable tool by Organs managing agencies of the environment.

Keywords: Landsat8; NDVI; Remote Sensing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processo de aquisição e transmissão de dados	14
Figura 2 - Série histórica de lançamento e período de atividade dos satélites da série Landsat	15
Figura 3 - Gráfico de demanda hídrica do Açude Poço da Cruz.....	19
Figura 4 - Área de estudo em torno do Açude Poço da Cruz	20
Figura 5 - Precipitação dos anos de 2018 e 2020	21
Figura 6 - Cartas georreferenciadas do NDVI em 2018 e 2020	23
Figura 7 - Porcentagem do volume Máximos	25
Figura 8 - Diferenciação da Área hídrica dos períodos	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados do satélite LANDSAT 8.....	16
Tabela 2 - Bandas do satélite LANDSAT 8	17
Tabela 3 - Dado de volume do Açude Poço da Cruz.....	19
Tabela 4 - Dados estatístico NDVI.....	25
Tabela 5 - Área espelho d’água do Açude Poço da Cruz para as datas das imagens de satélite	26

LISTA DESIGLAS

NDVI	ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA
NOAA	NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION
TIRS	THERMAL INFRARED SENSOR
OLI	OPERATIONAL LAND IMAGER
REM	RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA
USGS	UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY
APAC	AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMAS
PINOX	PERÍMETRO IRRIGADO DO MOXOTÓ
ANA	AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA E SANEAMENTO BÁSICO

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Justificativa e motivações	13
1.2 Objetivos gerais e específicos	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 SENSORIAMENTO REMOTO	14
2.2 ÍNDICE NDVI	17
3 MATERIAIS E MÉTODOS	19
3.1 ALGUMAS CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO.....	19
3.2 PRECIPITAÇÃO E VOLUME DE REFERÊNCIA PARA COMPARAÇÃO.....	20
3.3 IMAGENS DE SATÉLITE	21
3.4 APLICAÇÃO DO NDVI.....	22
4 RESULTADOS ESPERADOS	23
5. CONCLUSÃO.....	27
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28

1 INTRODUÇÃO

A água é fundamental recurso de vida em todo espaço mundial. É o tópico de relevante importância na produção agrícola, bem como da sobrevivência humana e dos animais. A disponibilidade da água ocorre de forma não igualitária, tanto no aspecto espacial quanto no temporal. Assim, em alguns locais com evaporação elevada, como no Nordeste brasileiro, os açudes sofrem com a diminuição da água, causando assim o aumento da salinização (MELO, 2010).

O Agreste pernambucano caracteriza-se por longos períodos de estiagem, resultando em um grande estresse hídrico na região, além de sofrer alterações na cobertura da vegetação nativa devido a atividades antrópicas de irrigação. Atualmente, o monitoramento do comportamento hídrico associado a variação da cobertura vegetal por meio de técnicas do sensoriamento remoto encontra-se cada vez mais recorrente no cenário mundial. A principal motivação dos estudos envolvendo a aplicação das técnicas de sensoriamento remoto fundamenta-se na compreensão do comportamento espectral que uma dada cobertura assume em um determinado produto de sensoriamento remoto. Esse produto é fruto de um processamento de imagens de satélite que pode envolver muitos parâmetros e fatores ambientais (PONZONI, 2002 apud FARIA et al., 2017, p. 2).

Também com foco em recursos hídricos, o mapeamento da dinâmica de fenômenos hidrológicos através de técnicas produtos de Sensoriamento Remoto é um método importante para avaliar a área da superfície, coberta por lámina de água, com isso é possível propor o delineamento de áreas inundadas e não inundadas (BAIG et al., 2013 apud MALINCONICO et al., 2020, p. 2).

No Nordeste do brasileiro tem sido desenvolvidos diversos estudos com dados extraídos sensores orbitais para caracterização e monitoramento de mudanças ocorridas na cobertura da vegetação por conta da complexidade do bioma caatinga (ALBUQUERQUE et al., 2014). Também para coberturas hídricas com detalhamento de espelhos de água dos corpos hídricos é destaque com o Sensoriamento Remoto (JENSEN, 2011). Pois o cenário da seca vem causando impactos negativos na população devido à ausência de recurso hídrico provocado por período prolongado de precipitações deficientes na região (BACALHAU et al., 2017).

A ferramenta do Sensoriamento Remoto (SR) vem se fazendo presente no estudo da seca. A detecção de alterações na cobertura do solo e presença de água através de parâmetros biofísicos, são alguns dos usos que pode se fazer da técnica do SR, o que proporciona o diagnóstico e planejamento socioambiental (BACALHAU et al., 2017). Em estudo com dados orbitais aplicados na variabilidade temporal geoespecializada de corpos hídricos e coberturas vegetais, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é retratado como uma das ferramentais amplamente usa para o monitorar de recursos naturais que permite uma análise dinâmica espacial e temporal, tratando de um índice obtido a partir do comportamento espectral

extraído de dados de sensores orbitais, com representação numérica variando no intervalo de -1 a 1 (ALBUQUERQUE *et al.*, 2014).

Utilizar a tecnologia do Sensoriamento Remoto para análise de espacialização hídrica da superfície terrestre é de fundamental importância, a exemplo do açude público Engenheiro Francisco Sabóia, comumente chamado por Poço da Cruz. Esse açude é o maior reservatório do estado de Pernambuco e a principal fonte hídrica para a irrigação do Perímetro Irrigado Moxotó - PIMOX. Ele está inserido como um dos reservatórios contemplados no Projeto de Integração do Rio São Francisco (ANA, 2021).

1.1 JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO

O acompanhamento remoto da área superficial hídrica do reservatório Poço da Cruz se faz necessário como subsídio na gestão desse recurso hídrico considerando a sua variação sazonal geoespecializada. O Reservatório Poço da Cruz sendo o maior reservatório de Pernambuco, considerado o grande suporte hídrico para população local contribuindo para irrigação, dessedentação animal, e abastecimento urbano e rural.

1.2 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

Esta pesquisa tem como objetivo utilizar dados orbitais aplicados na variabilidade temporal do açude Poço da Cruz – PE, conforme o mapeamento do parâmetro biofísico NDVI. São objetivos específicos os tópicos a seguir:

- Verificar o comportamento do NDVI espacialmente por imagens multiespectrais para 21/10/2018 e 26/10/2020 avaliando as alterações ocorridas;
- Quantificar a variação temporal do espelho d'água para os períodos em questão;
- Comparar os dados obtidos do processamento do índice com dados pluviométricos e de volume.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

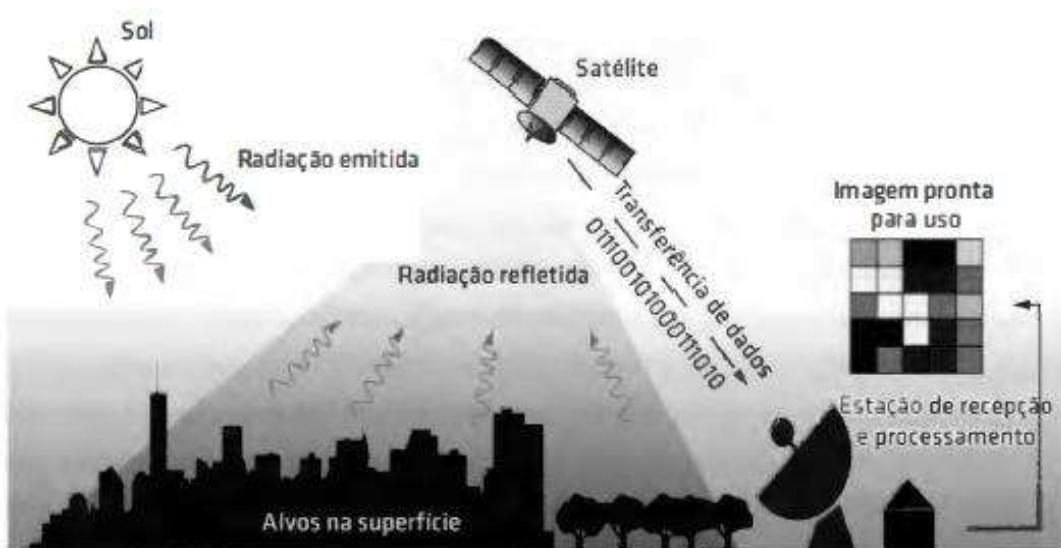
2.1 SENSORIAMENTO REMOTO

Segundo Novo e Ponzoni (2001), a Radiação Eletromagnética (REM) é a base das técnicas de Sensoriamento Remoto, e relata algumas das características dela como o seu espalhamento no vácuo na velocidade da luz e seu comportamento físico dual, o corpuscular (quântico) e o ondulatório.

Parte do conceito que um determinado fluxo radiante atinge uma superfície, ele sofre três fenômenos: reflexão, transmissão e absorção. Estes fenômenos são dependentes das características físico-químicas do próprio objeto, que definem as intensidades de reflexão, transmissão e absorção da REM em cada comprimento de onda incidente no objeto (NOVO; PONZONI, 2001).

Segundo Zanotta, Ferreira e Zortea (2019), as imagens digitais que são produzidas no sensoriamento remoto são originadas dos sensores que estão localizados em satélites e aéreos, sendo que recebem a radiação refletida da terra, e que no caso dos satélites os dados adquiridos são transferidos por telemetria a terra a estações de recepção como mostra na Figura 1.

Figura 1- Processo de aquisição e transmissão de dados.



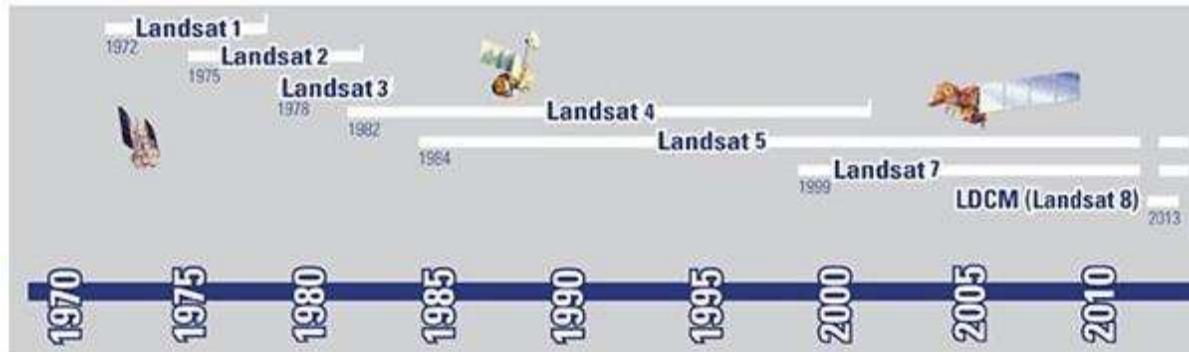
Fonte: Zanotta, Ferreira e Zortea (2019).

Cada fonte de REM possui aspectos próprios de radiação. Assim, a radiância medida por um sensor pode ser determinada para um intervalo específico de comprimentos de onda (região ou banda espectral) (NOVO; PONZONI, 2001).

Produtos do sensoriamento remoto, as imagens digitais são formadas por conjuntos de pixels (*pictureelements*) que descrevem a quantidade de energia que deixa uma porção definida da superfície (ZANOTTA; FERREIRA; ZORTEA, 2019)

Desde meados do século passado são lançados satélites com finalidades ambientais, com destaque à família de satélites *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) lançados a partir de 1970 e a família de satélites Landsat, iniciando com o *Earth Resources Technology Satellite* (ERTS-A) com lançamento da série em 1972 (Figura 2). Os satélites da família Landsat são equipados com sensores multiespectrais de 4 a 8 bandas ou mais, nas quais são armazenadas comprimentos de onda de azul ($0,452\mu\text{m}$) até o infravermelho termal ($12,42\mu\text{m}$),

Figura 2 - Série histórica de lançamento e período de atividade dos satélites da série Landsat.



Fonte: Teixeira *et al.* (2012).

As imagens do LANDSAT-8, o mais recente da série, utilizam os sensores OLI (Operational Land Imager) e TIRS (Thermal Infrared Sensor) com resolução de 15 a 30 metros de dados multiespectrais, são ortoretificadas e todos os produtos do catálogo estão em formato GeoTIFF, onde são disponibilizados de forma gratuita via internet, cujas características estão detalhadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Dados do satélite LANDSAT 8.

Instrumento/Sensor	OLI e TIRS
Operadora/Instituição Responsável	NASA (<i>National Aeronautics and Space Administration</i>)
País	Estados Unidos
Situação Atual	Ativo
Lançamento	02/11/2013
Altitude	705 Km
Inclinação	98,2°
Órbita	Circular, Polar, Heliosíncrona
Faixa Imageada	185 km
Tempo de Duração da Órbita	99 min.
Horário da Passagem	10h / 12h
Período de Revisão	16 dias
Resolução Espacial	Pancromático: 15 m Multiespectral: 30 m Termal: 100 m reamostrada para 30 m

Fonte: INPE (2021).

O satélite LANDSAT-8 opera com dois sensores imageadores, sendo o primeiro, Operational Land Imager (OLI), com nove bandas espectrais incluindo a banda pancromática e, o segundo, é o Thermal Infrared Sensor (TIRS) com duas bandas de pixel de 100 metros, processadas e disponibilizadas em 30 metros (Tabela 2).

Tabela 2 - Bandas do satélite LANDSAT 8.

Banda	Comprimento de Onda (μm)	Resolução Espacial (m)
Banda 1 - Visível Ultra-Azul	0,43 – 0,45	30
Banda 2 - Visível Azul	0,45 – 0,51	30
Banda 3 - Visível Verde	0,53 – 0,59	30
Banda 4 - Visível Vermelho	0,64 – 0,67	30
Banda 5 - Infravermelho Próximo	0,85 – 0,88	30
Banda 6 - Infravermelho Médio/SWIR 1	1,57 – 1,65	30
Banda 7 - Infravermelho Médio/SWIR 2	2,11 – 2,29	30
Banda 8 - Pancromática (PAN)	0,50 – 0,68	15
Banda 9 – Cirrus	1,36 – 1,38	30
Banda 10 – Infravermelho Termal/TIRS 1	10,60 – 11,19	Adquiridas com 100 m de resolução e reamostradas para 30 m.
Banda 11 - Infravermelho Termal/TIRS 2	11,50 – 12,51	Adquiridas com 100m de resolução e reamostradas para 30 m.

Fonte: USGS (2021).

2.2 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI)

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é uma aplicação dos processos de realce por operações matemáticas entre bandas de sensores satelitários (MELO; SALES; OLIVEIRA, 2011). A normalização consiste numa relação entre as medidas espectrais de duas bandas, a infravermelho próximo e a vermelha (PONZONI; SHIMABUKURO, 2012).

Onde os valores do NDVI são classificados, de acordo com Ponzoni, Shimabukuro & Kuplich (2012), como a água para valores negativos, superfícies sem alguma vegetação para valores iguais a zero e superfícies com densa vegetação para valores próximos a 1.

Bacalhau *et al.* (2017) quando estudaram o Açude Algodões – PE e processaram o NDVI, detectaram que a perda do vigor vegetativo está relacionada a ausência de precipitação,

onde pode contribuir para a possibilidade do risco de desertificação. Também, os autores detectaram a redução na lâmina d'água do açude entre os anos de 2011 (ano chuvoso) e 2016 (ano seco). A redução do espelho de água do açude foi evidenciada, onde a análise dos dados hidrológicos permitiram concluir que, a referida redução foi decorrente da escassez hídrica pluviométrica na região.

Silva Junior *et al.* (2021), quando pesquisaram os índices de vegetação (IVs) NDVI e EVI, consideraram uma análise espaço temporal (1985 a 2019) na circunvizinha do Reservatório de Serrinha II – PE – Brasil, e utilizaram imagens dos satélites TM - Landsat 5, OLI - Landsat 8 e MSI - Sentinel 2. Os IVs foram validados comparando perfis espectrais e correlação dos produtos gerados pelo Landsat 8 e Sentinel 2. A validação dos índices de vegetação foi pela comparação dos perfis espectrais e correlação dos produtos produzidos pelo Landsat 8 e Sentinel 2. Da classificação dos índices, foi identificado as alterações na cobertura vegetal, para o período de 1996 a 2019. O resultado evidenciado foi uma perda de 55,40% de vegetação. Sobre o efeito de seca foi observado o reservatório no período de 2012 a 2019 uma redução do espelho d'água de 32, 36%.

Malinconico *et al.* (2020) analisaram as configurações hídrica e vegetal, através do índice de vegetação NDVI para certa parte da Bacia Hidrográfica do Capibaribe, considerando o espaço temporal de 2015 a 2019 para análise, período este com registros de baixa pluviométrica. Para tanto, utilizaram imagens do satélite OLI - Landsat 8, para a produção de cartas imagem com a distribuição espacial dos *pixels* para os índices. O monitoramento dos recursos hídricos e vegetais, que é permitido a partir de uma análise dinâmica espacial e temporal com o uso do NDVI, se mostrou uma ferramenta importante para a gestão de bacias hidrográficas, nas análises da influência de fatores antrópicos nos ecossistemas e mapeamento do mosaico terrestre.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

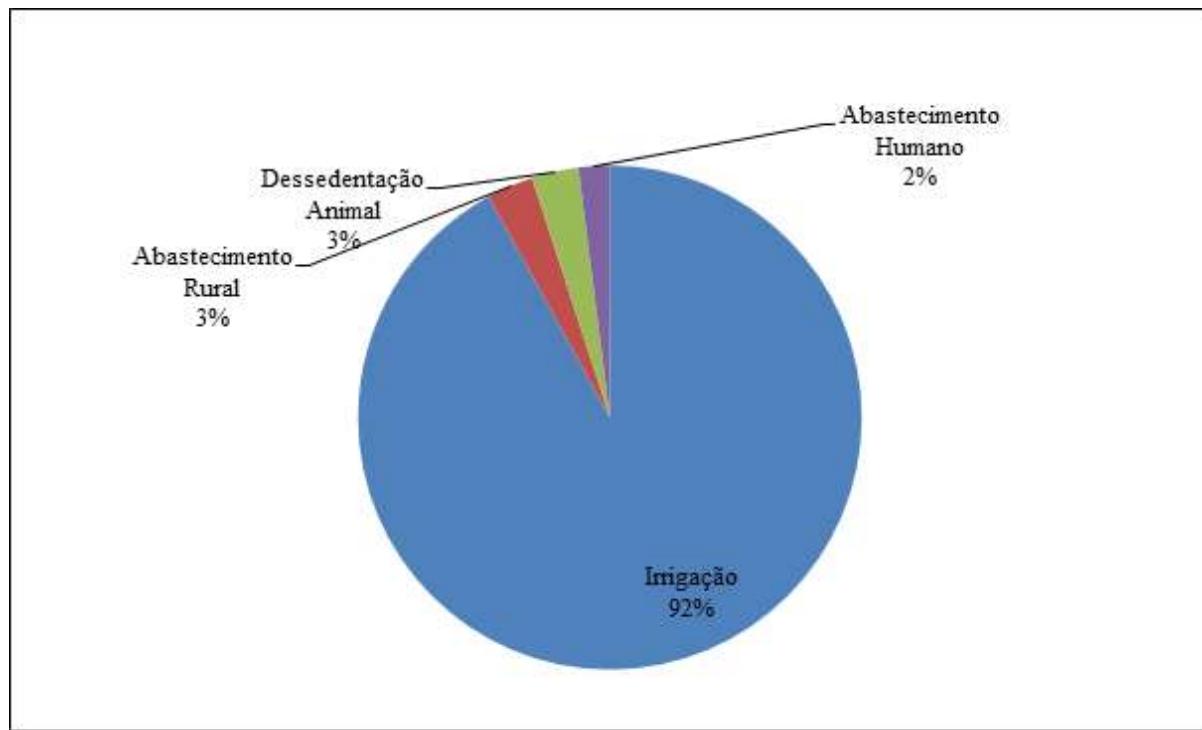
O reservatório Engenheiro Francisco Sabóia, conhecido também como Açude Poço da Cruz, localiza-se no município de Ibimirim - Pernambuco, inserido na bacia do rio Moxotó. O reservatório, segundo dados Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), possui uma área de drenagem incremental e total de 4.481,50 km² e 4.680,10 km²; com os seguintes volumes e demandas apresentados na Tabela 3 (anos de 2016) e na Figura 3.

Tabela 3 - Dados de volume do Açude Poço da Cruz – PE.

Máximo	504,00 hm ³
Mínimo	75,60 hm ³
Útil	435,00 hm ³

Fonte: ANA (2016)

Figura 3 - Gráfico de demanda hídrica do Açude Poço da Cruz – PE.

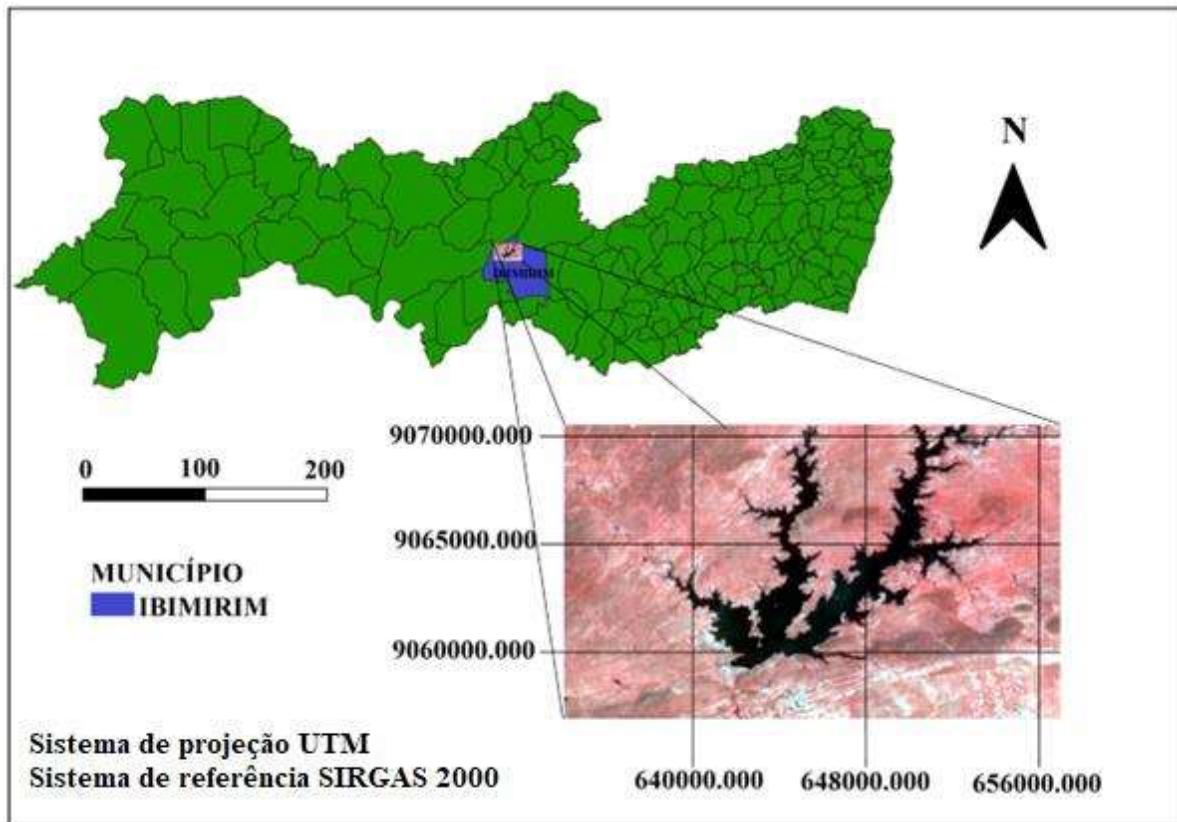


Fonte: ANA (2016).

Como se observa (Figura 3), a grande demanda da água do reservatório (92%) se concentra na irrigação que é feita aos produtores rurais do vale do Moxotó, enquanto o abastecimento humano é o que tem a menor demanda, isso até em comparação a demanda do abastecimento rural e dessedentação, demonstrando que quase toda a demanda é para a área

rural. A área de estudo, corresponde ao polígono de coordenadas (em metros): (634065;9056935), (634065;9070531,65), (656985;9056935) e (656985;9070531,65), conforme a Figura 4.

Figura 4 - Área de estudo entorno do Açude Poço da Cruz – PE.



Fonte: Autor (2021).

3.2 PRECIPITAÇÃO E VOLUME DE REFERÊNCIA PARA COMPARAÇÃO

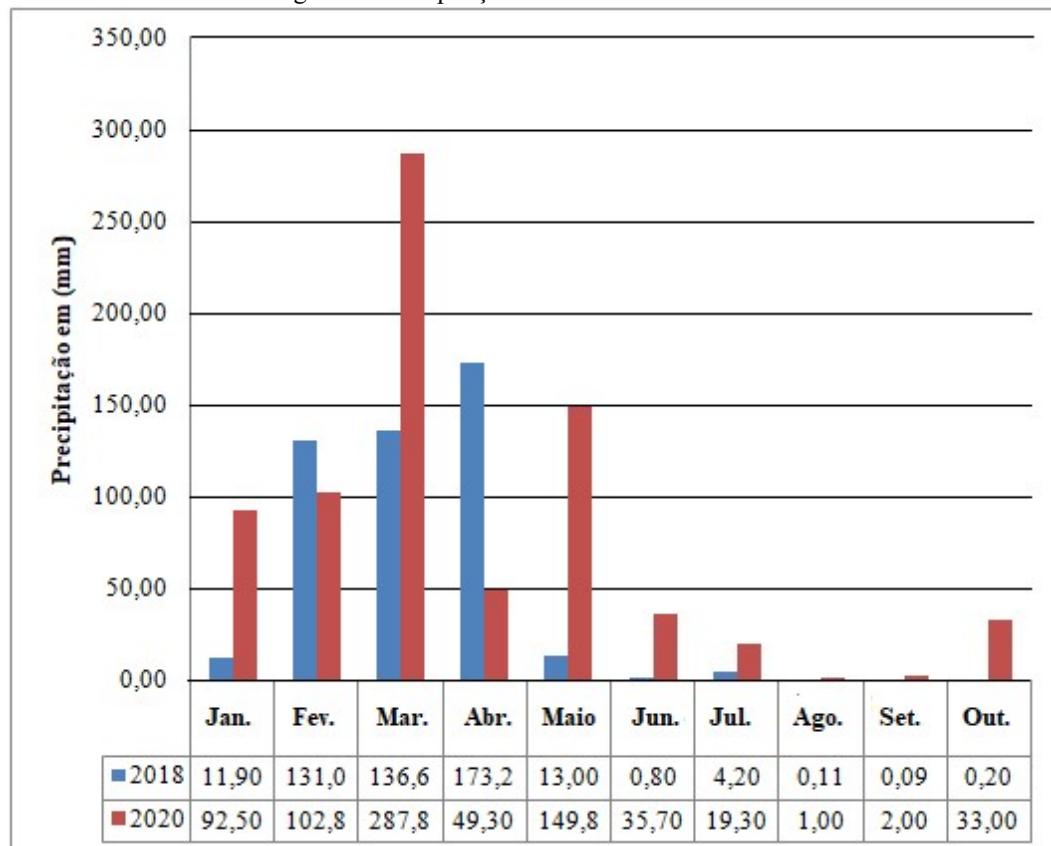
As precipitações ocorridas foram tomadas como referências para as escolhas das imagens de satélite e para as comparações lógicas com os resultados processados do NDVI. Desta forma, para o processamento final das imagens de satélite escolhidas foram os dias 21/10/2018 e 26/10/2020. O referido banco de dados hidrológicos foram oriundos da APAC (2021), conforme representação gráfica na Figura 5.

Foi executado o preenchimento de falhas pelo método de Ponderação Regional dos meses de agosto e setembro que não foram registrados pela APAC no ano de 2018, nenhum outro método de análise foi aplicado porque não foi visto a necessidade, já que o objeto de estudo é o processamento do NDVI. Os dados pluviométricos utilizados para o preenchimento foram os dos municípios de Inaja (CHESF), Betânia, e Sertânia em conjunto com o de Ibimirim (IPA). Também, foi pesquisado o volume de água do reservatório Engenheiro Francisco Sabóia

para próximo as datas das imagens, obtidos dos registros da ANA (2021). Na data de 26/10/2018 o reservatório apresentava 7,09% da capacidade máxima e, na data de 06/11/2020 o volume era 57,78% do máximo.

As precipitações de referência é a do posto Ibimirim (IPA) já com o preenchimento das falhas, conforme a Figura 5.

Figura 5 - Precipitação dos anos 2018 e 2020.



Fonte: APAC (2021).

As precipitações anuais de 2018 e 2020 foram, respectivamente, 526,7 mm e 798,4 mm. Observou-se que as maiores precipitação se localizou entre fevereiro a abril e, as menores de junho até novembro para o ano de 2018. Já para o ano de 2020 observou-se um comportamento similar, porém havendo o maior índice em março e tendo como mês de menor precipitação o de agosto.

3.3 IMAGENS DE SATÉLITE

As imagens de satélite que foram utilizadas são referentes as datas de 21/10/2018 e 26/10/2020 do OLI/Landsat 8, obtidas do site do *United States Geological Survey* (USGS) tendo como critério de haver cobertura de nuvem menor ou igual a 10%, para a refração das

nuvens a interferir na qualidade das imagens, podendo assim ter uma melhor representação do corpo hídrico da região.

3.4 PROCESSAMENTO DO NDVI

O processamento das imagens se deu em conformidade com Silva *et al.* (2016). Para a conversão dos valores em nível de cinza (ND) do sistema sensor OLI Landsat 8 para reflectância espectral, utilizou-se coeficientes radiométricos disponibilizados no arquivo de metadados das imagens USGS (2018). Para tanto, os números digitais de cada pixel e banda foram convertidos para reflectância planetária a partir dos fatores aditivo e multiplicativo, reportados no ficheiro de metadados da imagem. No entanto, é necessário corrigir a refletância de acordo com o ângulo zenital solar - Z e o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol e a distância Terra-Sol na data da obtenção da imagem - dr (obtido com base na distância Terra-Sol - dTS, disponível no arquivo metadados da imagem, em unidade astronômica), conforme equações 1 e 2:

$$\rho_{\lambda i} = \frac{(A_{\rho i} + M_{\rho i} \cdot ND_i)}{\cos Z \cdot d_r} \quad (1)$$

$$d_r = \left(\frac{1}{d_{TS}} \right)^2 \quad (2)$$

onde: $\rho_{\lambda i}$ (adimensional) é a reflectância planetária no topo da atmosfera de cada banda i; $A_{\rho i}$ é o fator aditivo de redimensionamento de cada banda (disponível no arquivo metadados da imagem); $M_{\rho i}$ é o fator multiplicativo de redimensionamento de cada banda (disponível no arquivo metadados da imagem); ND_i é o número digital correspondente a intensidade do pixel de cada banda; Z é o ângulo zenital solar obtido com base no ângulo de elevação do Sol – E (disponível no arquivo metadados da imagem), uma vez que $Z = 90 - E$.

Após a conversão da reflectância planetária no topo da atmosfera, passa-se ao desenvolvimento do NDVI no QGIS com a equação 3 de Rouse *et al.* (1973):

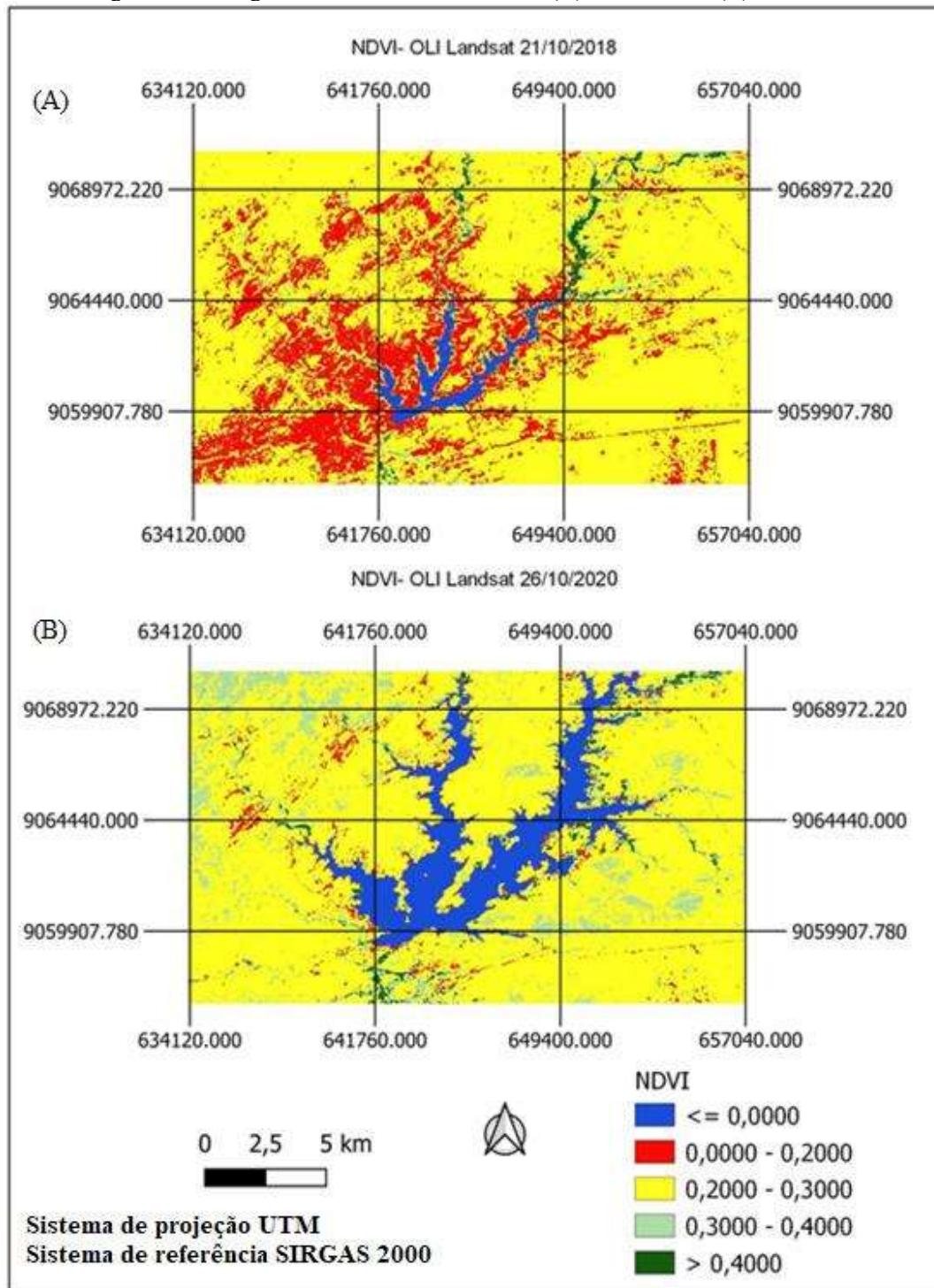
$$NDVI = \frac{\rho_5 - \rho_4}{\rho_5 + \rho_4} \quad (3)$$

onde: ρ_5 trata-se da reflectância da banda 5 (banda do infravermelho próximo); e ρ_4 da reflectância 4 (banda do vermelho).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas cartas georreferenciadas do NDVI no entorno do reservatório Poço da Cruz em 21/10/2018 e 26/10/2020, conforme Figura 6, observaram-se classes com variação de pixel de NDVI < 0,00 até NDVI > 0,40.

Figura 6- Cartas georreferenciadas do NDVI em (A) 21/10/2018 e (B) 26/10/2020.



Fonte: Autor (2021).

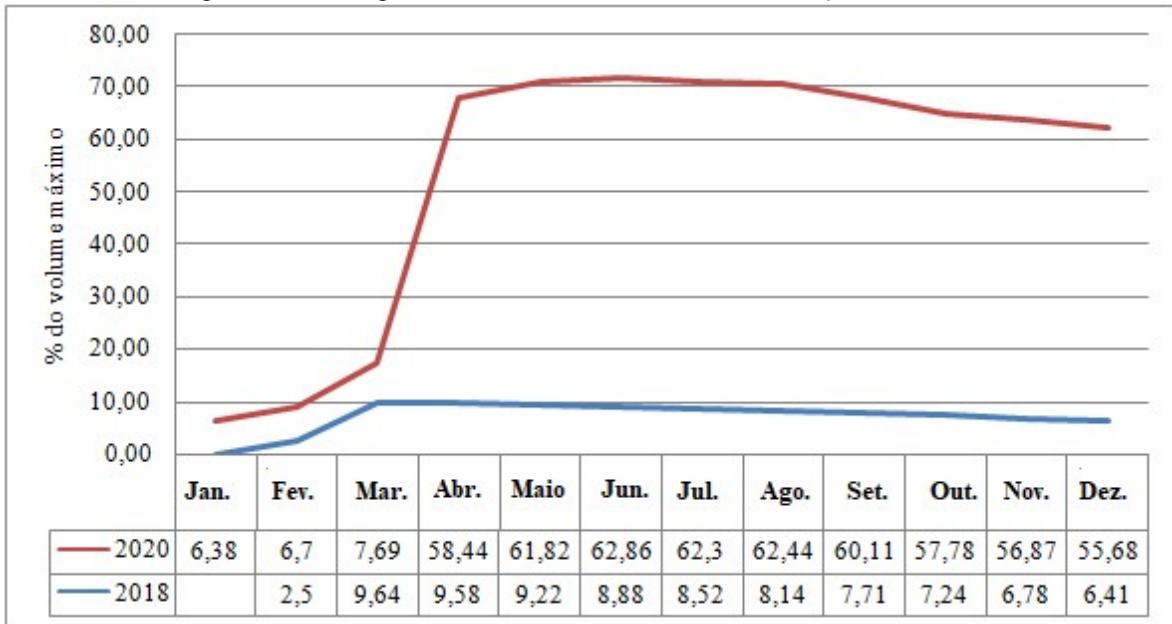
O reservatório de Poço da Cruz ficou destacado na cor azul ($NDVI < 0,00$), observado na Figura 6 em (A) e (B). Esta visualização com $NDVI < 0,00$, georreferenciando o manancial hídrico, condiz com a pesquisa de Leonardo *et al.* (2019), quando geraram o mapa da área superficial do rio Pajeú, na região da barragem de Serrinha, localizada a leste do município de Mirandiba - PE, obtiveram a visualização da variação do corpo hídrico no transcorrer de 13 anos (2005 e 2018). Também Salgueiro *et al.* (2020) quanto processaram o NDVI para configurações superficiais hídricas e vegetadas do Semiárido pernambucano, especialmente na mesma área desta pesquisa em 2015, observaram a presença de corpos hídricos referente ao Açude Poço da Cruz e pequenos rios localizam nos municípios de Sertânia-PE e Custódia-PE, com valores de pixels ($NDVI < 0,00$), comprovando o comportamento dos resultados para classes correspondente a água.

Para os alvos da superfície que representam o intervalo de $NDVI > 0,40$ demonstraram presença de vegetação mais vigorosa, onde estão mais próximas ao Perímetro Irrigado do Moxotó (PIMOX): curso do açude (Figura 6A – região superior) e município de Ibimirim (Figura 6B – região inferior). Em estudos no município de Caicó-RN, Paschoal e Silva (2010) referem-se aos valores de $NDVI > 0,4$, como sendo de vegetação mais vigorosa, e complementam que eles foram encontrados com predominância ao longo de cursos de água, o que é também evidenciado neste estudo.

Na área representada com tons de vermelho e amarelo, com valores de intervalos do NDVI entre 0,00 e 0,30 que denotam solo exposto. Em estudos realizados por Huete & Tucker (1991) apud Salgueiro et al. (2020, p.6), solos expostos demonstraram na maioria da vez valores de NDVI no intervalo de 0,005 a 0,30, no entanto devido a propriedades óticas do solo, não tem como fixar uma faixa de valores de NDVI de forma rigorosa para representar solos com baixa densidade ou nenhuma vegetação, o que pode confirmar resultado deste estudo também.

Ao se comparar a Figura 6 A e B, observou-se que a geoespecialização dos espelhos d’água do Açude Poço da Cruz conferem com os percentuais dos volumes máximos (Figura 7), ou seja, em 21/10/2018 apresentou volume máximo abaixo de 7,24% (outubro – Figura 7), enquanto, em 26/10/2020, apresentou volume máximo abaixo de 57,78% (outubro – Figura 7). Confirmado assim a eficiência da técnica de Sensoriamento Remoto, em especial no georreferenciamento de espelhos de corpos hídricos.

Figura 7- Porcentagem do volume máximo – reservatório Poço da Cruz – PE.



Fonte: Autor (2021).

Do processamento das imagens se resultou os seguintes dados estatísticos do NDVI para os anos Tabela 4.

Tabela 4 - Dados estatísticos do NDVI

Data da imagem	Mínimo	Médio	Máximo	Desvio Padrão
21/10/2018	-0,2759	0,2193	0,8066	0,0609
26/10/2020	-0,4633	0,2038	0,6513	0,1778

Fonte: Autor (2021).

O valor médio estatístico resultado do NDVI para 2018 e 2020 apresentaram-se próximos aos encontrados por Almeida *et al.* (2020) para o ano de 2017 para o Açude Poço da Cruz, além disso, ambos apresentam um desvio padrão pequeno, o que indica que há uma concentração maior do NDVI próximo ao valor médio, sendo, portanto, o ano de 2018 antecedido por outro ano seco, o que pode também ter influenciado no seu volume. Também se observou que em anos com um desvio padrão maior, apresentaram um maior espelho d'água, conforme esta pesquisa e o observado nos resultados de Almeida *et al.* (2020).

A variação do espelho d'água do reservatório calculada com os valores de NDVI menores que zero foram evidenciados na Tabela 5.

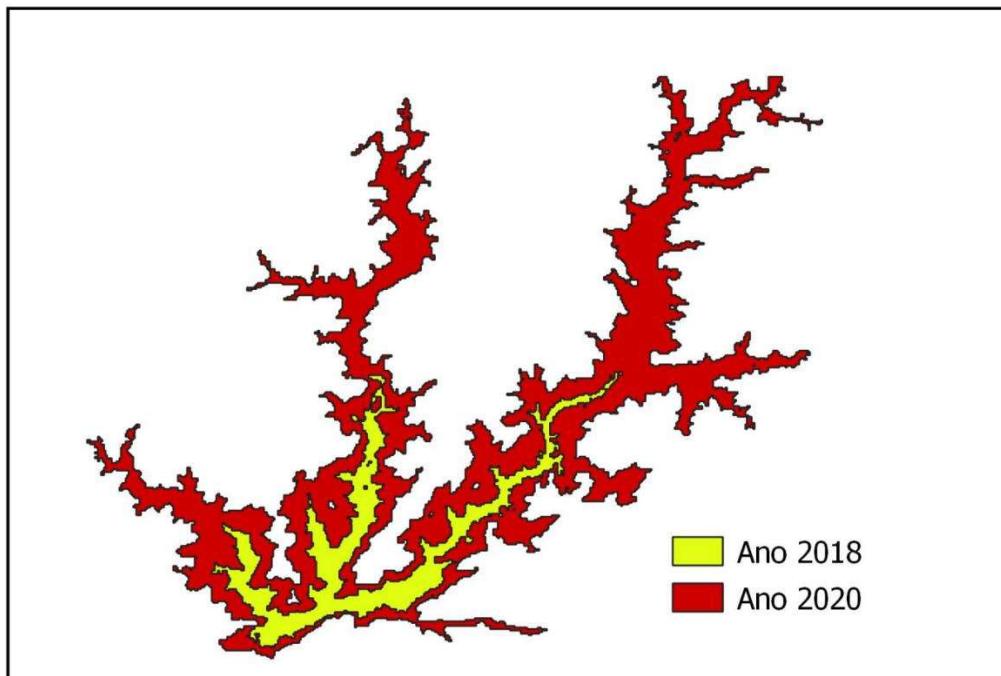
Tabela 5- Área espelho d'água do Açude Poço da Cruz para as datas das imagens de satélite.

Data da imagem	Área (km ²)
21/10/2018	5,95
26/10/2020	33,03

Fonte: Autor (2021).

Ao observar a Figura 8 visualizou-se o comparativo temporal do espelho d'água do açude Poço da Cruz, onde observou-se um aumento gradual na área do espelho d'água em 26/10/2020. Tal observação foi reforçada pela comparação dos dados pluviométricos (Figura 5) onde se verificou uma precipitação média maior para o ano de 2020 e, além disso, há precipitações maiores para os meses próximos a outubro. Também, isso fica mais claro no gráfico que representa as porcentagens do volume para os meses de cada ano em relação ao volume máximo do reservatório (Figura 7), onde se vê que os valores referentes a 2018 que se estende de abril a dezembro são muito menores do que o ano de 2020.

Figura 8 - Diferenciação da área hídrica dos períodos.



Fonte: Autor (2021).

5 CONCLUSÕES

O processamento do NDVI possibilitou o mapeamento da superfície do reservatório Poço da Cruz e seu entorno em 21/10/2018 e 26/10/2020, viabilizou a análise da variação espaço-temporal da região do açude, detectando a ligação com os registros pluviométricos do município no intervalo entre datas. Os resultados obtidos do mapeamento constataram a efetiva aplicabilidade do Sensoriamento Remoto na visualização do mosaico ambiental, em destaque de corpos hídricos e vegetação, sendo uma ferramenta aplicável pelos órgãos gestores do meio ambiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, Erickson Melo de; ANDRADE, Silvia Cristina de Pádua; DINIZ, Julio Manuel Tavares; SANTOS, Carlo Antonio Costa dos. Análise do comportamento do NDVI e NDWI sob diferentes intensidades pluviométricas no município de Sousa-PB. **Revistas Estudos Geoambientais**, [s. l.], v. 1, ed. 1, p. 1-11, 2014. Disponível em: <https://periodicos.ufpb.br/ojs2/index.php/geo/article/view/17986/10625>. Acesso em: 1 set. 2021.

ALMEIDA, D. N. O. ; SANTOS, M. B. ; SOUZA, A. M. P. ; BARROS, J. P. M. ; OLIVEIRA, L. M. M. Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) aplicado no mapeamento de corpo hídrico e vegetação. In: XV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 2020, Online. **Anais do XV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE**, 2020. v. único.

BACALHAU, J. R.; NETO, A. R.; DE OLIVEIRA, L. M. M. Aplicação de índice de vegetação no monitoramento da seca: açude Algodões no sertão pernambucano. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 2, n. 3, p. 283-293, 2017. Disponível em: <https://journals.ufrpe.br/index.php/JEAP/article/view/1449/1404>. Acesso em: 1 set. 2021.

CÂMARA, C. P. S. ; ALMEIDA, D. N. O. ; MALINCONICO, C. H. S. ; SOUZA FILHO, P. B. P. ; SANTOS, M. B. ; SILVA, W. F. ; SANTOS, S. M. ; OLIVEIRA, L. M. M. Albedo e índice espectral de água no reservatório Poço da Cruz - PE e seu entorno utilizando imagens orbitais. In: XXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS, 2021, Belo Horizonte. **Anais do XXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS**, 2021. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/142/XXIV-SBRH0871-1-20210630-185352.pdf>. Acesso em: 1 set. 2021.

FARIAS, Mirelly de Oliveira; CANDEIAS, Ana Lúcia Bezerra; OLIVEIRA, Leidjane Maria Maciel de; ALMEIDA, Débora Natália Oliveira de; JUNIOR, João Rodrigues Tavares. Variabilidade espaço-temporal da cobertura do solo por índices de vegetação e água no Agreste Pernambucano. **Revista brasileira de agrotecnologia** , [s. l.], v. 7, ed. 3, p. 091 - 099, 2017. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/REBAGRO/article/view/5561/4700>. Acesso em: 1 set. 2021.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma perspectiva cm recursos terrestres**. Tradução: José Carlos Neves Epiphanio. Sao Jose dos Campos, SP: Parentese, 2009.

LEONARDO, H.R.A.L.; OLIVEIRA, L.M.M.; OLIVEIRA, E.F.; ALMEIDA, D. N.O.; PAIVA, A.L.R. Geotechnology in the analysis of behavior spectral of natural resources in the Semiarid pernambucano. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v.9, n. 4, p. 191-203, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/jhrs/article/view/243695/34086>. Acesso em: 1 set. 2021.

MALINCONICO, C. H. S. ; SILVA JUNIOR, U. J. ; SILVA JUNIOR, J. A. ; MONTENEGRO, S. M. G. L. ; OLIVEIRA, L. M. M. Índices Espectrais por sensoriamento remoto na bacia do rio Capibaribe para configurações hídricas e vegetais . In: XV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 2020, Online. **Anais do XV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE**, 2020. v. único. Disponível em: <http://abrh.s3.amazonaws.com/Eventos/Trabalhos/130/XV-SRHNE0274-1-20200816-191746.pdf>. Acesso em: 1 set. 2021.

MELO, C. R.; **Análise do Eixo Leste da transposição do Rio São Francisco face aos cenários de uso previstos**. 2010. Dissertação de mestrado (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Pernambuco-UFPE, Recife-PE, 2010. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/5425/1/arquivo5790_1.pdf. Acesso em: 1 set. 2021.

MELO, Ewerton Torres; SALES, Marta Celina Linhares; OLIVEIRA, José Gerardo Bezerra de. Aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do riacho dos cavalos, Crateús-CE. **Revista RAEGA - O Espaço Geográfico em Análise**, Curitiba, p. 520-533, 2011. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/24919/16717>. Acesso em: 1 set. 2021.

NOVO , Evelyn Márcia Leão de Moraes; PONZONI, Flávio Jorge. **Introdução ao sensoriamento remoto**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2001. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/Miguel/AlunosPG/Jarvis/SR_DPI7.pdf. Acesso em: 1 set. 2021.

PASCHOAL, Sávio Samri Luna; SILVA, Fernando Moreira da. Variação espaço-temporal do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) em área sob o risco de desertificação no Rio Grande do Norte. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), 62., 2010, Natal-RN. **Resumos de comunicação livre**. São Paulo: Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, 2010. Disponível em: <http://www.spcnet.org.br/livro/62ra/resumos/resumos/3293.htm>. Acesso em: 1 set. 2021.

PONZONI, F. J. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação: diagnosticando a mata atlântica**. São José dos Campos: INPE, 2002 8-8p, 2002. Disponível em: http://mtcm12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2005/06.14.13.11/doc/CAP8_FJPonzoni.pdf?1inktype=relative. Acesso em: 1 set. 2021.

PONZONI, F. J; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2012.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. 2012. **Sensoriamento Remoto da Vegetação**. 2 Ed. atualizada e revisada. ISBN:978-85-7975-053-3. São Paulo: Oficina de Textos.

SALGUEIRO, C. O. B. ; ALMEIDA, D. N. O. ; SILVA JUNIOR, U. J. ; SANTOS, S. M. ; OLIVEIRA, L. M. M. NDVI aplicado nas configurações superficiais hídricas e vegetadas do semiárido pernambucano. In: XV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE,

2020, Online. **Anais do XV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE**, 2020. v. único. Disponível em: <https://s3-sa-east-1.amazonaws.com/abrh/Eventos/Trabalhos/130/XV-SRHNE0240-2-20200919-111055.pdf>. Acesso em: 1 set. 2021.

SILVA, B. B.; BRAGA, A. C.; BRAGA, C. C.; OLIVEIRA, L. M.; MONTENEGRO, S. M.; BARBOSA JUNIOR, B. Procedures for calculation of the albedo with OLI-Landsat 8 images: Application to the Brazilian semi-arid. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, n.1, p.3-8, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/sX6cJjNXWMfHQ5p4h33B8Zz/?lang=en&format=pdf>. Acesso em: 1 set. 2021.

SILVA JUNIOR, U. J. da; GONÇALVES, R. M. ; OLIVEIRA, L. M. M. de .; SILVA JÚNIOR, J. A. da. Sensibilidade Espectral dos Índices de Vegetação: GNDVI, NDVI e EVI na Mata Ciliar do Reservatório de Serrinha II – PE, Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, /S. l./, v. 73, n. 1, p. 17–35, 2021. DOI: 10.14393/rbcv73n1-55252. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/55252>. Acesso em: 1 set. 2021.

TEIXEIRA, G. L. G. ; ALBURQUEQUE, E. S. ; ACUA, J. R. ; CHACALTANA, J. T. A. Análise espacial da concentração de sedimentos suspensos na plataforma continental capixaba utilizando dados Landsat5/TM. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA OPERACIONAL E LOGÍSTICA DA MARINHA, 2012, Rio de Janeiro. **ANAIIS DO SIMPÓSIO DE PESQUISA OPERACIONAL E LOGÍSTICA DA MARINHA**. Rio de Janeiro: Marinha do Brasil, 2012. v. 15. p. 1-12. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/spolm/sites/www.marinha.mil.br.spolm/files/102822.pdf>. Acesso em: 1 set. 2021.

ZANOTTA, Daniel Capella; FERREIRA, Matheus Pinheiro; ZORTEA, Maciel. **Processamento de imagens de satélite**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019. 320 p. ISBN 978-85-7975-316-9.