



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

THALLES CORREIA ALENCAR PINTO

VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DO RESERVATÓRIO JUCAZINHO - PE
E SEU ENTORNO UTILIZANDO DADOS ORBITAIS

Recife
2020

THALLES CORREIA ALENCAR PINTO

**VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DO RESERVATÓRIO JUCAZINHO - PE
E SEU ENTORNO UTILIZANDO DADOS ORBITAIS**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos parciais para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Recursos Hídricos.

Orientadora: Profa. Dra. Leidjane Maria Maciel de Oliveira.

Recife

2020

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

P659v Pinto, Thalles Correia Alencar
Variabilidade espaço-temporal do reservatório Jucazinho - PE e seu
entorno utilizando dados orbitais / Thalles Correia Alencar Pinto - 2020.

42 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientadora: Profa. Dra. Leijdane Maria Maciel de Oliveira.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 2020.
Inclui Referências.

1. Engenharia civil. 2. Bacia do Capibaribe. 3. MNDWI. 4. NDVI.
I. Oliveira, Leijdane Maria Maciel de (Orientadora). II. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.)

BCTG/2020-131



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
COORDENAÇÃO DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ATA DA DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO PARA CONCESSÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO CIVIL

CANDIDATO(S): THALLES CORREIA ALENCAR PINTO

BANCA EXAMINADORA:

Orientador: Profª. Dra. LEIDJANE MARIA MACIEL DE OLIVEIRA

Examinador 1: Prof. DR. JOSÉ ROBERTO GONÇALVES DE AZEVEDO

Examinador 2: Engª Cartógrafa DÉBORA NATÁLIA OLIVEIRA DE ALMEIDA

TÍTULO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:

VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DO RESERVATÓRIO JUCAZINHO - PE E SEU ENTORNO UTILIZANDO DADOS ORBITAIS

LOCAL: Recife, PE

DATA: 14/04/2020 **HORÁRIO DE INÍCIO:** 10h

(Defesa em videoconferência decorrente do isolamento social pelo Coronavírus)

Em sessão pública, após exposição de cerca de 30 minutos, o(s) candidato(s) foi (foram) arguido(s) oralmente pelos membros da banca com **NOTA: 8,80** (deixar 'Exame Final', quando for o caso).

1) (x) **aprovado(s)** (nota $\geq 7,0$), pois foi demonstrado suficiência de conhecimento e capacidade de sistematização no tema da monografia e o texto do trabalho aceito.

As revisões observadas pela banca examinadora deverão ser corrigidas e verificadas pelo orientador no prazo máximo de 30 dias (o verso da folha da ata poderá ser utilizado para pontuar revisões).

O trabalho com nota no seguinte intervalo, $3,0 \leq \text{nota} < 7,0$, será reapresentado, gerando-se uma nota ata; sendo o trabalho aprovado na reapresentação, o aluno será considerado **aprovado com exame final**.

2) () **reprovado(s)**. (nota $< 3,0$)

Na forma regulamentar foi lavrada a presente ata que é assinada pelos membros da banca e pelo(s) candidato(s).

Recife, 14 de abril de 2020

Orientador:	
Avaliador 1:	
Avaliador 2:	
Candidato:	

Ao Senhor Deus que, com amor, paciência e misericórdia, me deu o suporte necessário para concluir este ciclo. À minha família, que com muito carinho, dedicação e apoio, não mediram esforços para que eu concluísse esta etapa de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Senhor Deus, pelo suporte, força, e orientação dados para concluir esta etapa de minha vida; foram muitos dias de aprendizado, noites privado de sono, muitos anos de luta. Obrigado Senhor, por me ajudar a vencê-los.

Ao meu pai Jorge, pelo apoio dado de todas as formas ao seu alcance; pelo amor, dedicação e paciência. Não esquecerei.

À Jéssica Duarte, que esteve comigo nos momentos fáceis e difíceis, me apoiando e dando suporte quando eu não suportava mais.

À minha orientadora do trabalho de graduação Profa. Dra. Leijdane Maria Maciel de Oliveira, pela ajuda, confiança, orientação, paciência e conhecimento transmitidos durante esta etapa da minha vida.

À Engenheira Cartógrafa Débora Natália Oliveira de Almeida, sempre disposta a ajudar e repassar seu conhecimento.

Aos meus professores da graduação que contribuíram para minha formação acadêmica.

Aos citados nestes agradecimentos, meu muito obrigado.

RESUMO

A utilização de Sensoriamento Remoto (SR) na análise de corpos d'água tem se mostrado como uma excelente ferramenta para monitoramento e estudo, simplificando a obtenção de informações necessárias às pesquisas. Superando as distâncias, proporcionando ao interessado analisar um ponto terrestre desejado de qualquer lugar em que este se encontre, a um custo relativamente baixo, o SR contribui significativamente à gestão hídrica e ambiental. Desta forma, o presente trabalho visou analisar a variabilidade espacial e temporal do reservatório Jucazinho, localizado na bacia do rio Capibaribe, situada no litoral e agreste pernambucano, utilizando dados orbitais. Foram utilizadas imagens do satélite Landsat 8, sensor OLI, dos anos de 2014 e 2018, e aplicados os índices espectrais Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e Índice de Água por Diferença Normalizada Modificado (MNDWI); conjuntamente, dados pluviométricos serviram de subsídio para as informações obtidas com a pesquisa através de imagens e seu processamento. Foi utilizado o software QGIS versão 2.18.22 para as etapas de processamento de imagens e conexão com demais dados complementares, elaborando os mapas e subsidiando a pesquisa. Como resultados, relacionou-se também imagens de NDVI com as disponibilizadas pelo Google Earth, verificando a variabilidade espacial em 2014 e constatando a funcionalidade do índice espectral para interpretar os alvos da superfície terrestre. Também, no processamento do MNDWI, pode-se constatar uma redução significativa entre os momentos estudados no reservatório Jucazinho, evidenciando que a área de lâmina d'água reduziu em 61,91% de 2014 a 2018. Reafirmou-se a redução da área quando se verificou as bordas hídricas do reservatório pelo perfil longitudinal com valores de cada pixel nos anos estudados.

Palavras-chave: Bacia do Capibaribe. MNDWI. NDVI.

ABSTRACT

The utilization of Remote Sensing (RS) in the analysis of water bodies is showing as an excellent tool for monitoring and study, simplifying the obtaining of needed research information. Overcoming the distances, providing to the interested ones the possibility to analyse an Earth spot from any place this is, with a relatively low cost, RS contribute significantly to water and environmental management. Thus, this present work intended to analyse the spacial and temporal variability of the Jucazinho Reservoir, located at Capibaribe river basin, situated in the coast and “agreste pernambucano”, using orbital data. Were used in this reserach Landsat 8 satellite images, OLI sensor, from the years 2014 and 2018, and spectrum indexes Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI); combined with it, pluviometric data served as a subsidy to obtain information with the research images and their processing. The software QGIS version 2.18.22 was used for the stages of image processing and connection with other complementary data, preparing the maps and subsidizing the work. As a results, images of the NDVI are also related to those made available by Google Earth, verifying the spatial variability in 2014 and featuring the functionality of the spectral index to interpret the targets of the Earth's surface. Also, in the processing of the MNDWI, it can be seen a significant reduction between the moments studied in the Jucazinho reservoir, evidencing that the water area is reduced by the value of 61.91% from 2014 to 2018. The reduction of the area was reaffirmed when it were verified by the longitudinal profile of the reservoir borders with values of each pixel in the years studied.

Keywords: Capibaribe basin. MNDWI. NDVI.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Dados obtidos por Sensoriamento Remoto.....	15
Figura 2 -	Padrão de reflectância de água, vegetação e área construída.....	19
Figura 3 -	Área de estudo.....	21
Figura 4 -	Reservatório Jucazinho – PE em destaque.....	22
Figura 5 -	Precipitação mensal no município Frei Miguelinho 2014 e 2018.....	23
Figura 6 -	Configuração do QGIS 2.18.22 para empilhamento das bandas.....	25
Figura 7 -	Configurações para reprojetar o SRC.....	26
Figura 8 -	Recorte da área de estudo pelo QGIS 2.18.22.....	27
Figura 9 -	Aplicação de fórmula na Calculadora Raster, QGIS 2.18.22.....	28
Figura 10-	Representação dos pixels de água na Calculadora Raster.....	30
Figura 11-	Imagem do Google Earth e NDVI aplicado ao recorte da área de estudo.....	32
Figura 12-	Recorte de destaque do reservatório, para os anos de 2014 e 2018.....	34
Figura 13-	Perfis longitudinais do MNDWI para os anos de 2014 e 2018.....	37
Figura 14-	Perfis longitudinais do NDVI e MNDWI para o ano de 2014.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Dados das bandas do satélite Landsat 8.....	24
Tabela 2 -	Valores de NDVI utilizados na cobertura vegetal.....	29
Tabela 3 -	Valores de NDVI nos pontos amostrais.....	33
Tabela 4 -	Valores estatísticos do NDVI na área de estudo em 2014.....	33
Tabela 5 -	Valores estatísticos encontrados para a área de estudo.....	35
Tabela 6 -	Área superficial de Jucazinho.....	36

LISTA DE ABREVIATURAS

ANA	Agência Nacional de Águas
APA	Área de Preservação Ambiental
APAC	Agência Pernambucana de Águas eClima
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
MIR	Middle Infrared = Infravermelho Médio
MNDWI	Modified Normalized Difference Water Index = Índice de Água por Diferença Normalizada Modificado
NDBI	Normalized Difference Built-Up Index = Índice de Construção por Diferença Normalizada
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index = Índice de Vegetação Por Diferença Normalizada
NDWI	Normalized Difference Water Index = Índice de Água Por Diferença Normalizada
NIR	Near Infrared = Infravermelho Próximo
OLI	Operational Land Imager
REM	Radiação Eletromagnética
SAR	Sistema de Acompanhamento de Reservatórios
SAVI	Soil Adjusted Vegetation Index = Índice de Vegetação Ajustado para os Efeitos do Solo
SR	Sensoriamento Remoto
TIRS	Thermal Infrared Sensor
TM	Thematic Mapper
USGS	United States Geological Survey
WMO	World Meteorological Organization

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO.....	13
1.2	OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS.....	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1	SENSORIAMENTO REMOTO – DADOS DOS RECURSOS HÍDRICOS E DEMAIS ESTRUTURAS DA SUPERFÍCIE ESTUDADA.....	15
2.2	ÍNDICES ESPECTRAIS – ANÁLISE VEGETATIVA E EXTRAÇÃO DE CORPOS HÍDRICOS.....	16
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	21
3.1	ÁREA DE ESTUDO.....	21
3.2	PRECIPITAÇÃO.....	22
3.3	SOFTWARE UTILIZADO.....	23
3.4	AQUISIÇÃO DAS IMAGENS.....	23
3.5	EMPILHAMENTO E SISTEMA DE REFERÊNCIA DE COORDENADAS.....	25
3.6	RECORTE.....	26
3.7	PROCESSAMENTO DAS IMAGENS E APLICAÇÃO DOS ÍNDICES ESPECTRAIS.....	27
3.8	ÁREA SUPERFICIAL DO CORPO HÍDRICO.....	29
3.8.1	Poligonização.....	30
3.8.2	Tabela de atributos.....	31
3.9	PERFIL LONGITUDINAL DE ÍNDICES ESPECTRAIS.....	31
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	32
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	39
	REFERÊNCIAS.....	40

1 INTRODUÇÃO

Apesar de o Brasil ser um país riquíssimo em disponibilidade de recursos hídricos, essas reservas não são igualmente distribuídas pelo seu território. Na região Nordeste do país, há uma extensa área que apresenta escassez de água, o Semiárido Nordestino, com cerca de 57% da extensão da região. No Semiárido, têm-se a limitação desses recursos, tendo esta extensa localidade do país longo períodos de estiagem e baixa disponibilidade hídrica, ocasionando problemas de demanda (Chaves, 2019).

Devido às condições climáticas e disponibilidade de água na região, a criação de reservatórios para a regularização de vazão é uma estratégia eficiente para o combate ao déficit hídrico em regiões semiáridas como o agreste pernambucano, onde está localizado o reservatório Jucazinho (Batista et al., 2017).

Em 1998, o reservatório de Jucazinho foi construído pelo Departamento Nacional de Obras contra as Secas (DNOCS), tendo como, entre outros objetivos, controlar inundações, servir ao abastecimento humano e irrigação (BRASIL, 1995). A área de entorno ao reservatório - nas cidades de Surubim, Riacho das Almas, Cumaru e Frei Miguelinho - encontra-se no Semiárido nordestino, região em que predominam altas temperaturas, juntamente com precipitações escassas (média de 700 mm, geralmente) e déficit hídrico (ARAÚJO, 2011).

No entanto, Jucazinho entrou em colapso em 2015 e desde então registra baixíssimos níveis ao longo do tempo, estando, no início desta pesquisa, com 0,70% de sua capacidade total – que é de 327 hm³, ou 327 milhões de metros cúbicos. Iniciativas têm sido tomadas para utilizar o volume morto quando a acumulação da barragem diminui. Em março de 2020, felizmente, o reservatório retomou a acumulação, estando, em 07/04/2020, com volume de 53,55 hm³, 16,38% da capacidade total de acumulação (ANA, 2020).

Como alternativa para o monitoramento dos mananciais de água, utiliza-se o Sensoriamento Remoto (SR). Nas últimas décadas, as técnicas SR têm sido largamente utilizadas para detectar variações nas coberturas de solo e presença de corpos hídricos. Tais técnicas consistem em utilizar imagens de satélite, conjuntamente ao processamento das imagens, de forma a identificar as características do ambiente estudado, através de parâmetros biofísicos, e verificar mudanças ocorridas ao longo do tempo nestas áreas, gerando diagnósticos e gerenciamento socioambiental (BACALHAU et al., 2017).

No presente trabalho, foram utilizados índices espectrais empregando dados orbitais para avaliação da área de estudo, baseados nas reflectâncias obtidas pelas bandas do sensor OLI do satélite Landsat 8. As imagens foram adquiridas gratuitamente pelo portal da United States

Geological Survey (USGS), instituição estadunidense, dedicada ao estudo de recursos e desastres naturais. Nesse texto, serão apresentadas informações obtidas por dois índices espectrais, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e Índice de Água por Diferença Normalizada Modificado (MNDWI).

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) detecta mudanças sazonais e interanuais no desenvolvimento e atividades que acontecem na vegetação. Possibilita a indicação de perfil temporal de crescimento e pico de verde. O NDVI varia entre -1 e +1: em superfícies com vegetação verde, os valores variam de 0 a 1 e, na água ou nuvens, os valores são predominantemente menores que zero (ROUSE et al., 1973).

O Índice de Água por Diferença Normalizada Modificado (MNDWI), proposto por XU (2006) é uma modificação do Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI) - proposto por McFeeters (1996). O NDWI foi criado com a pretensão de identificar corpos d'água; porém, o índice gerava valores próximos para reservas hídricas e áreas construídas, o que pode super ou sub estimar as áreas molhadas. Por outro lado, o MNDWI, utilizando o infravermelho médio em substituição ao infravermelho próximo, consegue destacar melhor os cursos d'água e trazer maior precisão aos resultados. Os valores encontrados, como no NDWI, variam de -1 a +1; no entanto, os valores positivos representam água e nuvens, enquanto os negativos, vegetação, solo exposto e construções.

1.1 JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO

O monitoramento da disponibilidade hídrica, ainda mais em regiões semiáridas, é de especial relevância, tendo como base o fato de que diversas atividades humanas são realizadas quando há água à disposição. Ações como: irrigação, pecuária, consumo animal, atividade industrial, turismo, consumo humano, dentre outras, necessitam deste importante recurso.

Portanto, estudos que envolvam meios de acompanhar e avaliar as reservas d'água, como a utilização de Sensoriamento Remoto no reservatório de Jucazinho, contribuem para os diagnósticos e as tomadas de decisões que os recursos hídricos necessitam, possibilitando mais uma ferramenta de gestão hídrica.

1.2 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

Utilizar técnicas de geoprocessamento, valendo-se do uso dos índices espectrais NDVI e MNDWI, analisando a variabilidade espaço temporal do reservatório de Jucazinho e sua área de entorno. Desta forma, adquirindo informações como o que se apresenta na superfície terrestre da região e como o corpo hídrico se comportou ao longo do tempo.

Como objetivos específicos, relacionam-se:

- Identificar as mudanças espaço-temporais do reservatório de Jucazinho entre os anos de 2014 e 2018, utilizando o MNDWI;
- Processar o índice NDVI, estudando a assertividade do método através da pesquisa na área de estudo;
- Demonstrar como os índices identificam as diferentes estruturas da paisagem, como água, solo exposto, vegetação e área construída;
- Relacionar a pluviometria, monitorada pela Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), e a condição presente no ambiente no momento estudado.

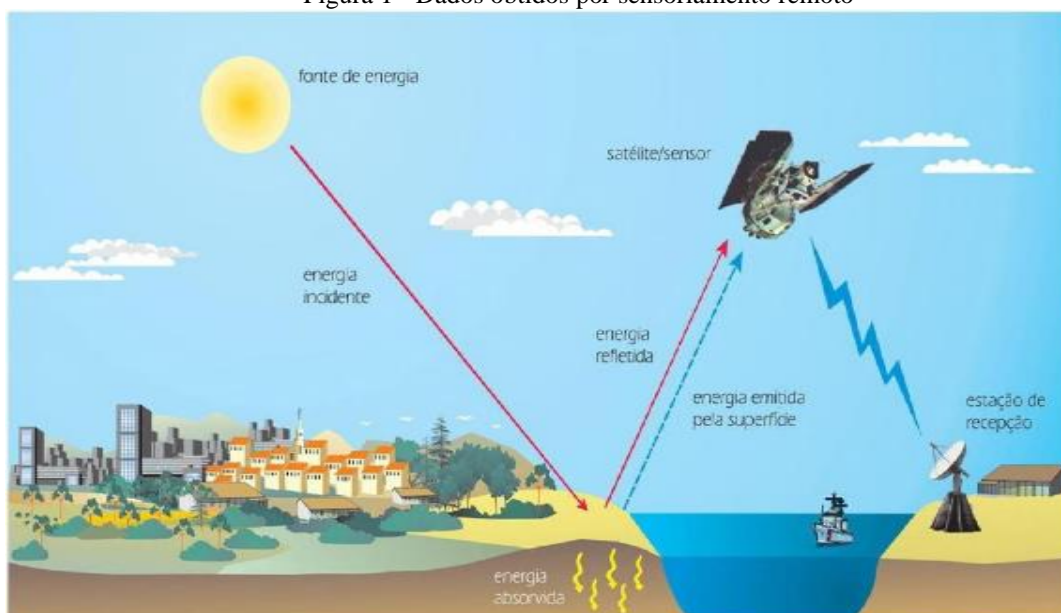
2 REFERENCIAL TEÓRICO

Foram utilizadas técnicas de Sensoriamento Remoto (SR), por meio de imagens de satélite obtidas da área em questão, envolvendo os municípios de Riacho das Almas, Cumaru, Frei Miguelinho e Surubim – Agreste pernambucano – com o reservatório de Jucazinho entre eles. Conjuntamente ao SR, modelaram-se índices espectrais, de forma a ter uma visão ampla das diversas disposições das paisagens e suas mudanças entre os anos.

2.1 SENSORIAMENTO REMOTO – DADOS DOS RECURSOS HÍDRICOS E ESTRUTURAS DA SUPERFÍCIE

As técnicas de Sensoriamento Remoto são um modo de obter imagens e outros tipos de dados da superfície terrestre. Esta tecnologia capta e registra a energia emitida ou refletida pela superfície, através de sensores introduzidos em plataformas terrestres, aéreas e orbitais. O termo remoto, tendo como significado “distante”, é utilizado devido a obtenção das imagens serem tomadas à distância, sem contato entre os objetos na superfície terrestre e o sensor. Na Figura 1, evidencia-se a trajetória da energia eletromagnética até a estação de recepção: a energia solar reflete na superfície e é captada pelo sensor, a bordo de um satélite; os dados são mandados à estação de recepção, a partir de onde estarão disponíveis (FLORENZANO, 2013).

Figura 1 - Dados obtidos por sensoriamento remoto



Fonte: Florenzano (2013).

Ainda, Florenzano (2013) comentou que a energia emitida ou refletida proveniente da superfície da Terra, captada por sensores eletrônicos a bordo de satélites, é convertida em sinais elétricos, registrados e transmitidos para estações receptoras. Estes sinais recebidos são transformados em dados – imagens, tabelas ou gráficos. Trabalhando nestes dados, chega-se às

informações desejadas da superfície de estudo, através de sensoriamento remoto e as diversas formas de tratamento de imagens disponíveis (MNDWI, NDVI, NDBI, SAVI, Albedo, Temperatura superficial, entre outros).

Jensen (2009), afirmou que os sensores remotos instalados nos satélites de pesquisa contêm detectores para o comprimento de onda específico de cada alvo captado no espectro eletromagnético. Estes alvos que se encontram na superfície terrestre têm propriedades físico-químicas particulares, fazendo com que o fluxo de radiação eletromagnética (REM) incidente retorne comportamento espectral distinto.

O mapeamento e quantificação de parâmetros biofísicos por sensoriamento remoto, como índices espectrais, é de grande importância para identificação de mudanças na paisagem ao longo do tempo, auxiliando na tomada de decisões no que diz respeito ao uso e ocupações sustentáveis (URSULINO et al., 2018).

A utilização de imagens Landsat pode, inclusive, ser de grande relevância na delimitação de cursos de água, desde que eles não tenham grandes interferências da vegetação, de modo a não ter a resposta espectral da água alterada pelo efeito dossel (BRUBACHER et al., 2017).

Para Farias et al. (2018) a utilização das ferramentas de geoprocessamento atua no sentido de promover um monitoramento do espaço, constituindo uma ferramenta importante no processo de planejamento urbano e rural. Estes autores pesquisaram o NDVI na cidade de Maceió – AL nos anos de 1990 e 2011; os resultados indicaram que houve variação significativa na cobertura vegetal em função do crescimento da área urbana do município, ressaltando a importância da criação de Áreas de Preservação Ambiental (APA), que atuam no sentido de promover a proteção de áreas verdes no perímetro urbano.

As técnicas de SR vêm se consolidando nas últimas décadas: o SR é uma ferramenta eficiente, trazendo bons resultados de maneira prática, de baixo custo e com resultados rápidos, bastando apenas a obtenção das imagens e o tratamento delas em um programa, como o utilizado para este trabalho – QGIS, software de livre acesso. Tais imagens orbitais mostram-se especialmente úteis ao mapear áreas grandes e em suas análises, permitindo acompanhar a evolução dos ambientes ao longo do tempo (CARVALHO et al., 2009).

2.2 ÍNDICES ESPECTRAIS – ANÁLISE VEGETATIVA E EXTRAÇÃO DE CORPOS HÍDRICOS

Para o clima do semiárido nordestino, os índices de vegetação têm sido utilizados em diversos estudos, destacando a situação vegetal em relação ao seu vigor, indicando presença ou não de chuvas e demais fontes hídricas. Estes índices também informam a condição das demais

estruturas da paisagem terrestre, evidenciando as características do solo, áreas construídas e corpos d'água. Estes parâmetros biofísicos indicam a abundância relativa e a atividade em que se encontra a vegetação, além da porcentagem de cobertura verde, teor de clorofila, biomassa verde e radiação fotossinteticamente absorvida (JENSEN, 2009).

Dentre esses índices, destaca-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). Esta ferramenta, proposta por Rouse et al. (1973), possibilita identificar as mudanças sazonais e interanuais na vegetação, permitindo observar seu desenvolvimento ao longo do tempo, bem como a representação temporal do crescimento e pontos de áreas verdes. Além disso, viabiliza a identificação de área geográfica de corpos hídricos.

O NDVI é obtido a partir de duas bandas espectrais das imagens de satélite, a banda do infravermelho próximo e a do vermelho; os valores obtidos nos pixels apresentam variação entre -1 e +1, sendo os valores positivos mais próximos de 1 superfícies com maiores quantidades de vegetação, enquanto que os negativos representam água ou nuvens. Os valores próximos de 0 representam rocha ou solo exposto, pois refletem na faixa do infravermelho próximo e no vermelho basicamente na mesma proporção (Equação 1):

$$\text{NDVI} = \frac{\rho_{IVp} - \rho_V}{\rho_{IVp} + \rho_V} \quad (1)$$

Bacalhau *et al.* (2017), aplicaram o NDVI para análise do Açude Algodões, município de Ouricuri, no Sertão pernambucano. Objetivou-se entender a relação entre o vigor vegetativo e os cenários de seca da região, além da análise de lâmina d'água. Foram coletadas imagens de 2011 e 2016, obtidas pelos satélites Rapid Eye e Landsat 8; através destas e com o NDVI, realizou-se uma classificação multiespectral. Os resultados evidenciaram as classes do NDVI conforme Chagas et al. (2008) distribuídas em: água (<-0,01); solo exposto (0,01 a 0,1); vegetação rala (0,1 a 0,2); vegetação esparsa (0,2 a 0,4); vegetação de transição (0,4 a 0,6) e vegetação densa (>0,6). Os resultados evidenciaram que houve uma queda nos valores de NDVI entre 2011 e 2016 (junho e maio, respectivamente) no açude Algodões; isso indica um decaimento na presença de vegetação vigorosa (NDVI > 0,46). Já os valores negativos representaram água. Evidenciou-se a diminuição tanto na presença de vegetação, quanto na lâmina d'água. Este fato pôde ser explicado pela diminuição das chuvas nos períodos anteriores aos estudados. Foi constatado que no período de 2011 a maio de 2016, houve predominância de menores chuvas. O autor fecha o estudo verificando que a diminuição da área superficial do manancial foi de 10.303.380 m² para 422.730 m² entre os anos estudados. Esta diminuição da

disponibilidade hídrica e da abundância vegetal corroboram com os dados pluviométricos, e mostrou uma situação preocupante na área do açude e seus entornos.

Leonardo et al. (2019) processaram o NDVI na bacia hidrográfica do rio Pajeú – Pernambuco, municípios de Mirandiba, Carnaubeira da Penha e Belém de São Francisco, com destaque à área da barragem de Serrinha. Esses autores utilizaram imagens do sensor TM Landsat 5 em 09 de novembro de 2005 e do sensor OLI Landsat 8 em 13 de novembro de 2018 e, concluíram a importância da identificação e análise da cobertura e uso da superfície do solo com o NDVI, baseado na praticidade e precisão devido ao uso de imagens georreferenciadas e estudadas no software de livre acesso QGIS.

Ursulino et al. (2018) em análise multitemporal de parâmetros biofísicos por sensoriamento remoto no entorno do reservatório de Jucazinho – PE, localizado na bacia do rio Capibaribe em Pernambuco, utilizaram-se de imagens do TM-Landsat 5 de 03/08/1992 (antes da construção do reservatório), 29/08/2007 e 17/03/2011 (com o reservatório em operação). Os resultados apontaram para uma redução da cobertura vegetal na sequência das imagens. Através dos valores de NDVI foi possível verificar escassez hídrica no trecho do rio Capibaribe para a cena de 03/08/1992, comprovando o trecho de regime fluvial intermitente.

Outro índice utilizado em monitoramento de secas é o Índice de Diferença Normalizada de Água (NDWI). Este método foi desenvolvido por McFeeters em 1996, intencionando delinear de melhor forma os ambientes aquáticos, e realçá-los nas imagens; foi desenvolvido tendo como base a estrutura do NDVI, rearranjando a fórmula de forma a aproveitar as bandas que captam maiores reflectâncias dos corpos d'água e maiores absorções dos outros ambientes – vegetação e solo. McFeeters (1996) inverteu as variáveis e trocou a banda vermelha pela verde (Borges et al., 2015). A equação a seguir representa o índice.

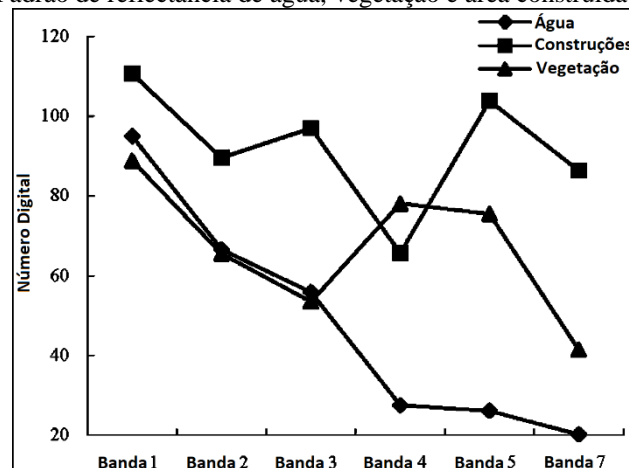
$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR} \quad (2)$$

Observando o NDVI, McFeeters percebeu que este índice maximiza as características das estruturas no solo que possuem alta reflectância de NIR (Near Infrared - Infravermelho próximo) e baixa reflectância de luz vermelha – caso da vegetação terrestre; então, após inverter as bandas NIR e Vermelho, substituiu a segunda pela banda Verde. Isto se deu devido à questão de a água apresentar maior reflectância na banda Verde do que na banda NIR, resultando em valores positivos para as feições hídricas, enquanto as feições de vegetação e solo retornam valores menores ou iguais a 0. Pode-se utilizar softwares de processamento de imagens para

extrair os valores negativos após a utilização do índice NDWI, excluindo solo e vegetação e deixando o corpo hídrico, de forma a facilitar sua análise (MCFEETERS, 1996).

Segundo Xu (2006), após analisar o NDWI, verificou que áreas construídas na superfície terrestre retornavam valores muito próximos aos da água. O contraste entre estas superfícies era pouco, o que podia causar mudanças nas feições dos ambientes aquáticos, aumentando ou diminuindo o delineamento. Segundo o autor, a aplicação do NDWI em regiões aquáticas com áreas construídas próximas não atingia seus objetivos, pois as informações captadas da água se misturavam com as de construções. Isto acontece porque o padrão de reflectância destas áreas nas bandas verde e NIR (bandas utilizadas no NDWI) são similares às da água: ambas as áreas refletem o verde (TM Landsat 5 – banda 2) mais do que o infravermelho próximo (TM Landsat 5 – banda 4), produzindo valores positivos nos pixels, como demonstra a Figura 2 – gráfico baseado no sensor TM.

Figura 2 – Padrão de reflectância de água, vegetação e área construída (Sensor TM)



Fonte: Xu (2006).

Foi visto que para a banda MIR (Middle Infrared – Infravermelho médio), representada no sensor estudado pelo autor como a banda 5, as reflectâncias da água e áreas construídas apresentavam valores bem diferentes entre si, além dos valores de reflectância das construções possuírem valores bem maiores que para o infravermelho próximo (Figura 2). Desta forma, estas áreas urbanas passam a receber valores negativos quando Xu (2006) substituiu a banda NIR pela banda MIR para formar a equação do índice proposto por ele, o Índice de Água por Diferença Normalizada Modificado (MNDWI), conforme Equação 3:

$$\text{MNDWI} = \frac{\rho_{\text{verde}} - \rho_{\text{IVm}}}{\rho_{\text{verde}} + \rho_{\text{IVm}}} \quad (3)$$

Xu (2006), afirmou que a utilização do NDWI modificado (MNDWI) produz três resultados: a água terá valores mais positivos que no NDWI devido à maior absorção da

radiação infravermelha média (MIR) que à infravermelha próxima (NIR); áreas construídas passam a ter valores negativos; e o solo e vegetação continuam com valores negativos, já que o solo reflete o infravermelho médio mais que o infravermelho próximo, e a vegetação reflete o infravermelho médio mais que a luz verde.

Por conseguinte, o contraste entre estas estruturas é maior, devido ao aumento dos valores dos ambientes aquáticos e diminuição dos demais ambientes, aumentando a precisão na extração de corpos d'água e facilitando essa extração das outras estruturas terrestres. Desta forma, o MNDWI permite melhores resultados que o NDWI e NDVI, se tratando de reconhecimento dos corpos hídricos.

A clara diminuição nos espelhos d'água têm relação com a seca pela qual o semiárido nordestino passa desde 2011, conforme relatório climático publicado pela World Meteorological Organization (WMO, 2014). Chaves (2019), aplicou o MNDWI para reconhecimento de corpos d'água na bacia do rio Brígida, localizada no sertão de Pernambuco. Nesse estudo, o autor obteve imagens dos satélites Landsat 5 e 8, nos anos de 2009 e 2019, respectivamente. Este autor utilizou um processo de vetorização das massas d'água a partir de uma importante característica destas no MNDWI, que é ter seus valores de pixels positivos, como apresentado anteriormente. Criou-se uma camada com apenas os valores maiores que zero dos pontos da imagem, e se obtêm todos os corpos hídricos da região. Fazendo isso, constatou-se que o número de mananciais com áreas maiores que 1 ha passou de 282 elementos em 2009, para 211 em 2019; as áreas passaram de 8.253,18 ha para 2.433,68 ha, respectivamente. Uma massiva redução de 70,51%.

Nascimento et al. (2019) modelaram MNDWI com dados orbitais do OLI Landsat 8 processado no QGIS, onde nos resultados delimitaram, com precisão e rapidez, a água de outras características da cobertura de terra nas redondezas do Rio Pajeú, que abrange parte do município de Serra Talhada, Mirandiba e São José do Belmonte-PE no ano de 2015.

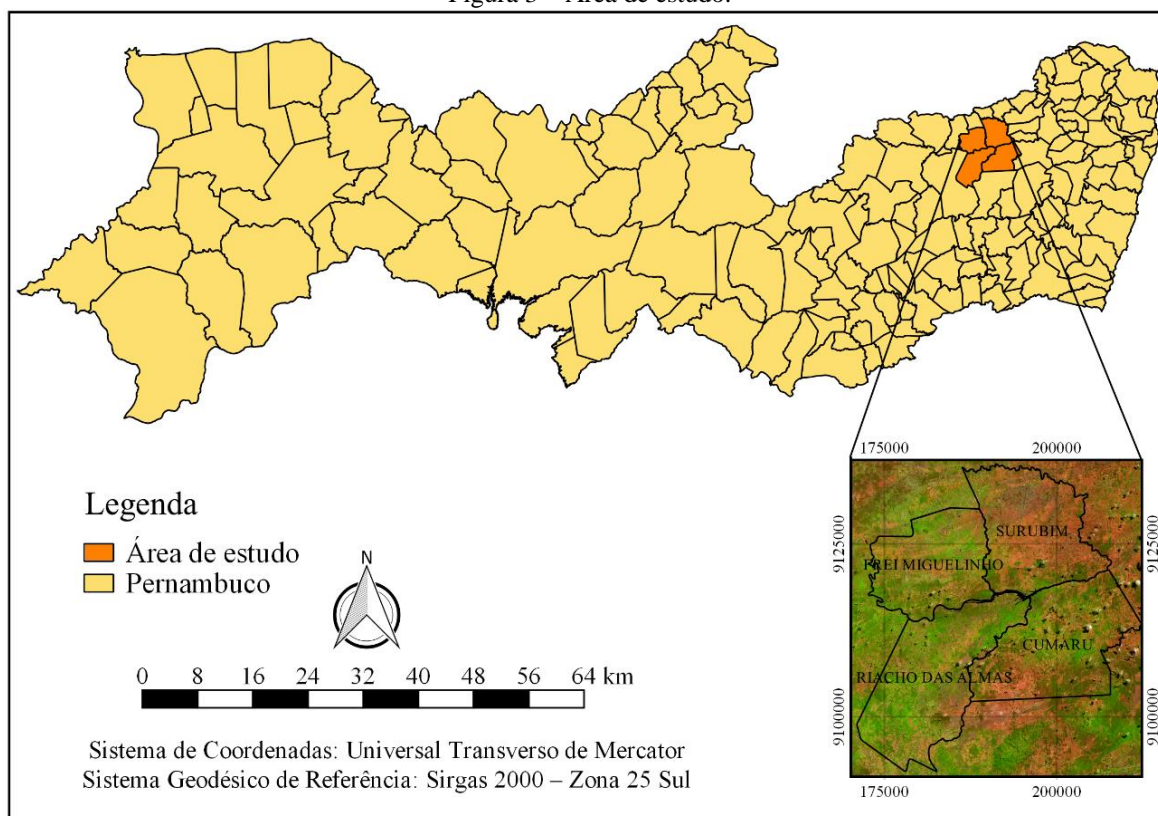
3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse ponto da pesquisa, foram descritos as ferramentas e os métodos utilizados para obtenção dos resultados.

3.1 ÁREA DE ESTUDO

Para esta pesquisa, foi selecionada como área de estudo o reservatório Jucazinho e as cidades em seus entornos (Figuras 3 e 4).

Figura 3 – Área de estudo.



Fonte: O Autor (2020).

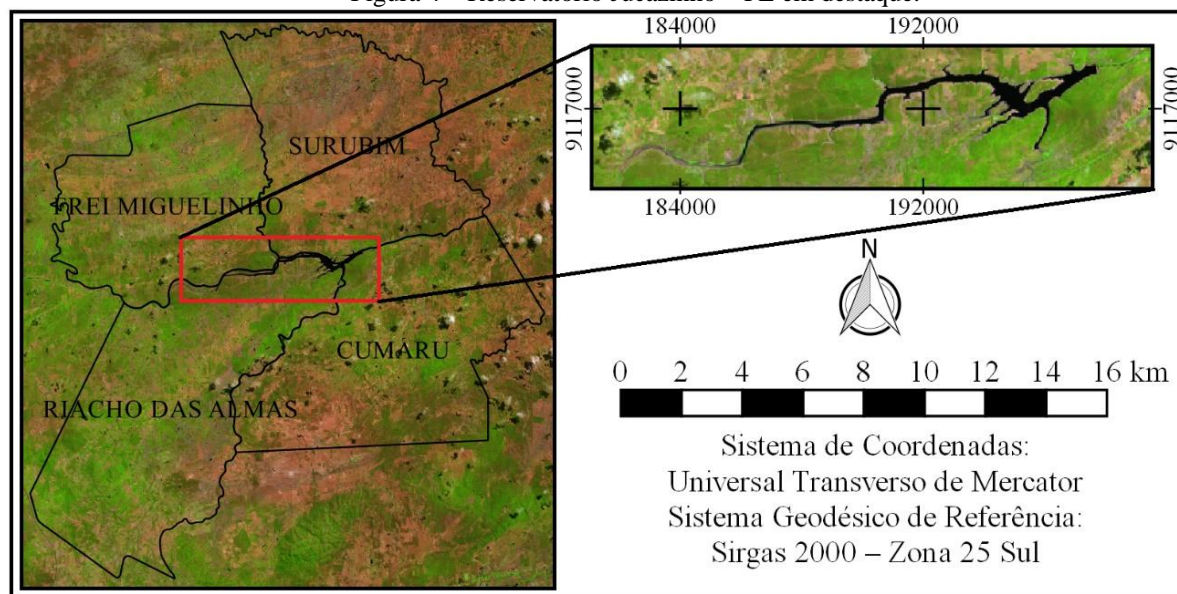
Situado na bacia do Capibaribe, estado de Pernambuco, o Reservatório Jucazinho encontra-se entre os municípios de Surubim, Riacho das Almas, Cumaru e Frei Miguelinho (Figura 4), no semiárido nordestino, região de poucas chuvas, altas temperaturas e taxas de evaporação. O período chuvoso, entre os meses de março e julho, dispõe de precipitação média anual inferior a 700 mm (SRHE-PE, 2010; Barbosa, 2012). Em especial, esta região apresenta taxas de evaporação da ordem de 2500 – 3000 mm/ano (Melo et al., 2017).

Maia (2018), realizando estudo sobre a vulnerabilidade social nas regiões adjacentes ao reservatório de Jucazinho, destacou como a fonte d'água vem perdendo relevância na manutenção da qualidade de vida na região, refletindo menos na situação social da área em questão. Segundo sua pesquisa, conforme as mudanças climáticas juntamente com as

difficultades estruturais que a barragem sofre prejudicaram a retenção de água no reservatório, menos expressão este corpo hídrico tem representado ao agreste pernambucano.

Jucazinho abastece diretamente e indiretamente 23 municípios. Além de prover água às quatro cidades da área de estudo – Cumaru, Frei Miguelinho, Riacho das Almas e Surubim – também contribui de forma suplementar aos municípios de Gravatá, Caruaru e Bezerros, cidades vizinhas de importante relação econômica na região agreste de Pernambuco (MAIA, 2018).

Figura 4 – Reservatório Jucazinho – PE em destaque.



Fonte: O Autor (2020).

Localizada na latitude $7^{\circ}58'00.6''$ ao Sul e $5^{\circ}44'31,9''$ a Oeste, a barragem de Jucazinho sustenta o terceiro maior reservatório do Estado, segundo o Sistema de Acompanhamento de Reservatórios (SAR) da Agência Nacional de Águas (ANA, 2020).

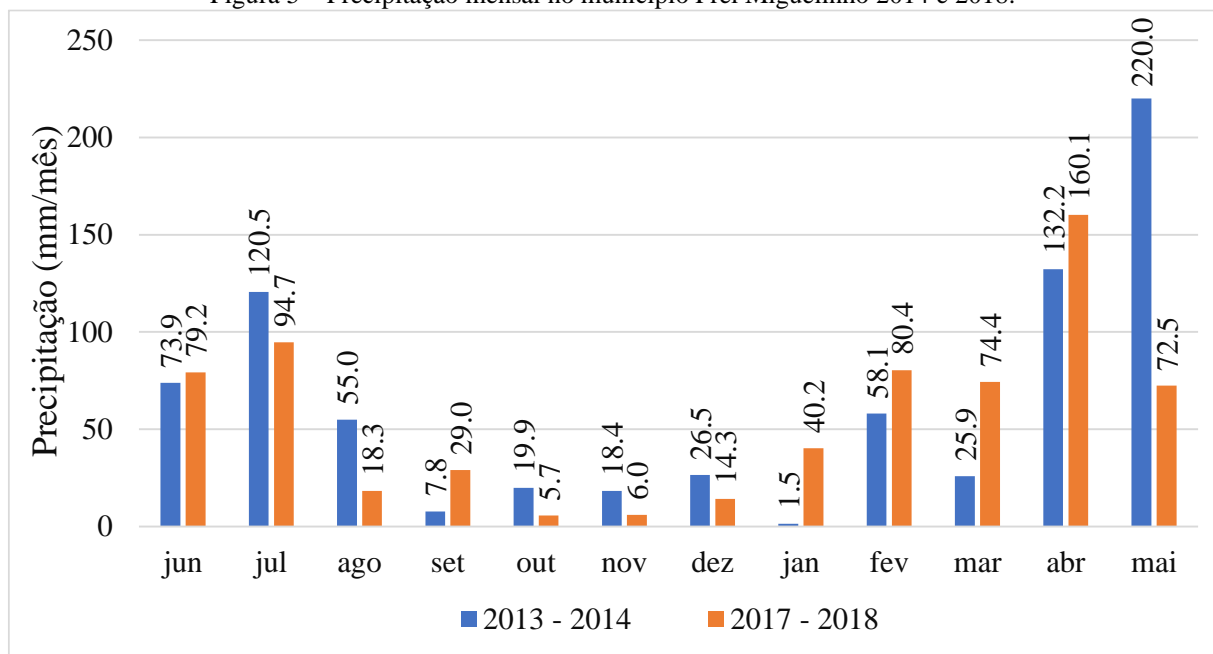
3.2 PRECIPITAÇÃO

O monitoramento hidrológico de Pernambuco é realizado pela Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), através de plataformas de coleta de dados espalhados em Pernambuco, podendo-se acessar em seu site, na aba de Monitoramento Hidrológico (APAC, 2020). Foram coletados os dados pluviométricos dos anos trabalhados – 2014 e 2018 – de forma a conhecer como o comportamento das chuvas influenciou a área. Coletaram-se dados do posto de Frei Miguelinho, município inscrito à área de estudo. A Figura 5 detalha o hietograma da precipitação mensal da área de estudo pelo banco de dados da APAC.

Foi constatado que dos meses de janeiro a dezembro dos anos de 2014 e 2018, os acumulados de chuvas alcançaram os valores de 802,4 mm e 517,6 mm anuais,

respectivamente. Os meses que mais precipitaram em cada ano da pesquisa foram maio de 2014, com 220 mm, e abril de 2018, com 160,1 mm, enquanto os meses mais secos foram janeiro de 2014, com 1,5 mm e outubro de 2018, com 2,2 mm precipitados. Viu-se com mais detalhes os meses de abril de 2014 e maio de 2018, apresentando dados de precipitação da ordem de 132,2 mm e 87,2 mm respectivamente, no intuito de verificar como ocorreram os eventos chuvosos nos meses das imagens orbitais coletadas.

Figura 5 – Precipitação mensal no município Frei Miguelinho 2014 e 2018.



Fonte: APAC (2020)..

3.3 SOFTWARE UTILIZADO

Para o presente estudo, foi utilizado o QGIS versão 2.18.22, um software de livre acesso com código-fonte aberto. O QGIS é um Sistema de Informação Geográfica (SIG), que funciona em diversos sistemas operacionais e suporta inúmeros formatos de vetores, rasters, bases de dados e funcionalidades. Nele se pode visualizar, gerir, editar, analisar dados e criar mapas para impressão (QGIS, 2020).

3.4 AQUISIÇÃO DAS IMAGENS

As imagens utilizadas foram obtidas pelo banco de dados orbitais do satélite Landsat 8 (OLI/TIRS). Iniciado em 1972, o programa Landsat tem gerado subsídios para gerenciamento dos recursos naturais ao redor do mundo. Com início de operação em 2013, o Landsat 8 viaja a uma altitude de 705 km, circulando a Terra a cada 99 minutos, e repetindo seu ciclo a cada 16

dias. São 740 cenas capturadas por dia, com as dimensões de 185 km x 180 km. Este satélite captura as informações terrestres a partir dos sensores OLI (Operational Land Imager) e TIRS (Thermal Infrared Sensor), fornecendo 11 bandas ao total (USGS, 2020). Na Tabela 1, estas bandas estão descritas.

Tabela 1 – Dados das bandas do satélite Landsat 8.

Sensor	Identificação	Banda espectral	Resolução espectral (μm)	Resolução espacial (m)
OLI	Banda 1	Costa / aerossol	0,43 – 0,45	30
	Banda 2	Azul	0,45 – 0,51	30
	Banda 3	Verde	0,53 – 0,59	30
	Banda 4	Vermelho	0,64 – 0,67	30
	Banda 5	Infravermelho próximo	0,85 – 0,88	30
	Banda 6	Infravermelho médio	1,57 – 1,65	30
	Banda 7	Infravermelho médio	2,11 – 2,29	30
	Banda 8	Pancromático	0,50 – 0,68	15
	Banda 9	Cirrus	1,36 – 1,38	30
TIRS	Banda 10	Termal 1	10,6 – 11,19	100
	Banda 11	Termal 2	11,5 – 12,51	100

Fonte: Adaptado de USGS (2020).

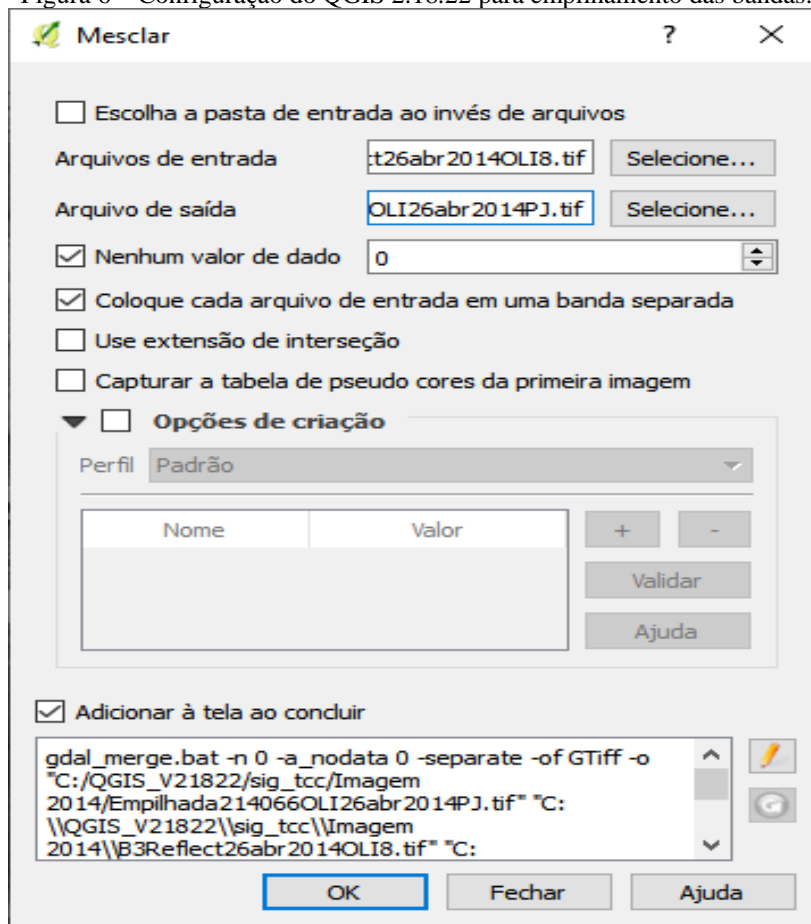
As datas das imagens utilizadas neste estudo foram 26 de abril de 2014 e 23 de maio de 2018. Para o sistema de referência baseado em órbitas e pontos do Landsat 8, foram utilizadas cenas da órbita 214, ponto 66. Para análise do NDVI processou-se a data de 26 de abril de 2014, constatando a variabilidade espacial; já para o MNDWI processaram-se os dois anos, constatando-se a variabilidade espaço-temporal. Tal procedimento decorreu da alta incidência de nuvens em 2018, impossibilitando o processamento do NDVI nesse respectivo ano.

Nos locais mais próximos ao litoral, a quantidade de nuvens é um fator recorrente; procurou-se imagens que não apresentassem nuvens acima do reservatório pesquisado, além da menor quantidade possível de nuvens no entorno. Estas imagens foram obtidas gratuitamente no Earth Explorer do portal do United States Geological Survey (USGS).

3.5 EMPILHAMENTO E SISTEMA DE REFERÊNCIA DE COORDENADAS

Para iniciar o processo de visualização da superfície terrestre, todas as bandas necessárias devem ser compostas em uma única imagem. Por isso, deve-se utilizar o processo de empilhamento das bandas de interesse (Figura 6).

Figura 6 – Configuração do QGIS 2.18.22 para empilhamento das bandas.



Fonte: Adaptado do software QGIS 2.18.22.

No presente estudo, foram utilizadas as bandas 3 a 6 do sensor OLI. Através do software QGIS, segue-se os comandos Raster/Miscelânea/Mosaico; a Figura 6 demonstra a configuração para realizar o empilhamento da cena 214/66 de 26 de abril de 2014 do satélite Landsat 8 OLI; o processo é análogo para a outra cena.

Após estes procedimentos, deve-se reprojetar o sistema de referência de coordenadas (SRC) existente nos arquivos raster (imagens orbitais) e vetoriais para o referente à área de estudo, de modo que não haja deslocamento entre as áreas pesquisadas. O local do reservatório se encontra no Sistema Geodésico de Referência SIRGAS 2000, UTM fuso 25S, EPSG 31985, para o qual foi reprojetado. A Figura 7 demonstra as configurações para o processo.

Figura 7 – Configurações para reprojetar o SRC

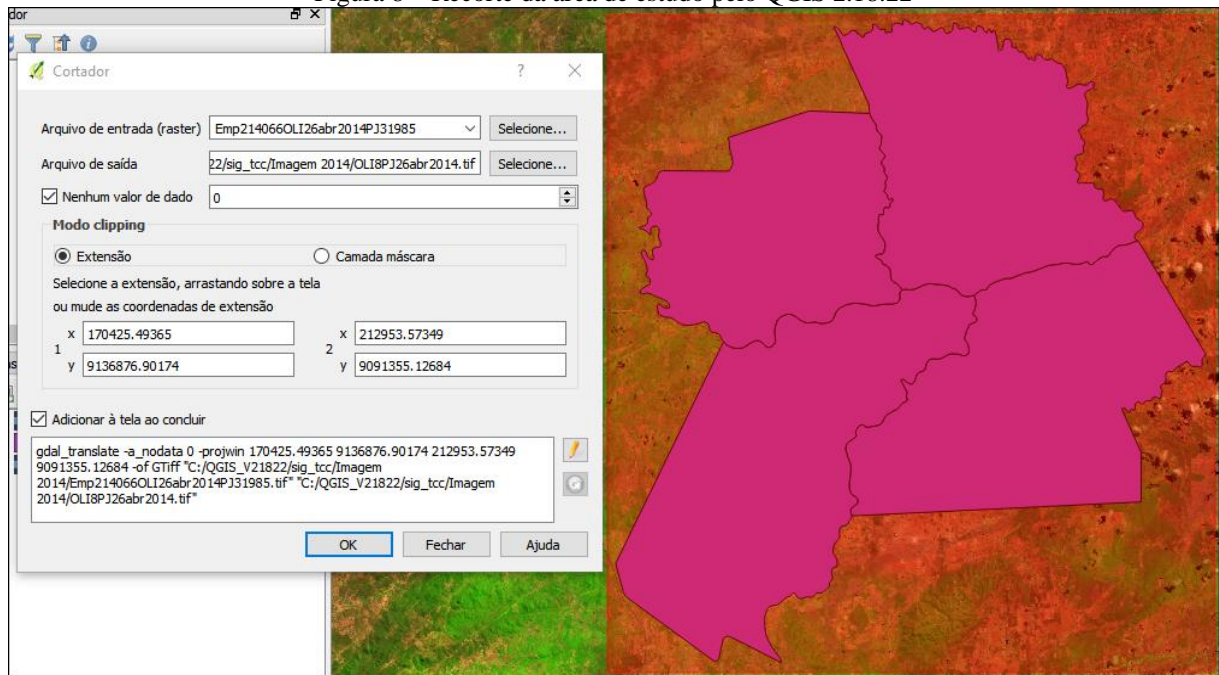
Fonte: Adaptado do software QGIS 2.18.22.

3.6 RECORTE

As imagens orbitais obtidas são de grande extensão. Como visto anteriormente no texto, o satélite Landsat 8 fornece imagens de 185 km x 180 km, uma área de 33.300 km². Como geralmente as áreas de estudos são muito menores, aplica-se um recorte para facilitar o manuseio das cenas.

Para o recorte da área de estudo, utilizou-se o auxílio de um arquivo vetorial dos municípios no local pretendido. Esses municípios são recortados de um vetor maior, que é o estado de Pernambuco. Com este arquivo, deve-se carregar a imagem raster, e seguir os comandos Raster/Extrair/Recorte. Os dados do recorte foram demonstrados na Figura 8.

Figura 8 – Recorte da área de estudo pelo QGIS 2.18.22



Fonte: Adaptado do software QGIS 2.18.22.

3.7 PROCESSAMENTO DAS IMAGENS E APLICAÇÃO DOS ÍNDICES ESPECTRAIS

O processamento das imagens do sensor OLI se deu conforme Ruhoff, Silva & Rocha (2015), utilizando os coeficientes radiométricos dos arquivos de metadados das imagens:

De forma a aplicar o NDVI e o MNDWI nos recortes, foi preciso calcular as reflectâncias de cada banda a ser usada. Reflectância é o resultado da razão de energia solar que deixa a superfície terrestre pela energia que chega a esta superfície num determinado instante de tempo. Cada estrutura na superfície têm uma determinada refletância para um certo tipo de banda. A reflectância deve ser corrigida de acordo com o ângulo zenital e a distância do sol para determinado dia – informações encontradas no arquivo de metadados (Equação 4).

$$\rho_{\lambda} = \frac{M_p * Q_{cal} + A_p}{\cos Z * \left(\frac{1}{d_r^2} \right)} \quad (4)$$

onde:

ρ_{λ} = reflectância planetária no topo da atmosfera corrigida para cada banda ($Wm^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$);

Q_{cal} = valor pixel a pixel da imagem de satélite, ou seja, números digitais (ND);

d_r = distância astronômica Terra-Sol (r), disponível no arquivo metadados da imagem.

M_p = fator de escala multiplicativo da reflectância para cada banda (REFLECTANCE_MULT_BAND), disponível no arquivo metadados da imagem;

A_p = fator de escala aditivo da reflectância para cada banda (REFLECTANCE_ADD_BAND), disponível no arquivo metadados da imagem;

Z = ângulo zenital solar com argumento do cosseno em radianos, sendo $Z = 90 - E$, onde E = ângulo de elevação do Sol, disponível no arquivo metadados da imagem;

Para esta pesquisa foram processadas as bandas 3, 4, 5 e 6, e utilizada a Calculadora Raster, modelando os valores das fórmulas inseridas e estendendo para todos os pixels da imagem. Após carregar o recorte feito anteriormente, abre-se a Calculadora Raster nos comandos Raster/Calculadora Raster, e se insere a equação 3, fórmula da reflectância. Essa aplicação está exemplificada para a banda 3 (B3 - Verde) na Figura 9. O processo foi análogo para as demais imagens, substituindo apenas as bandas na fórmula (Q_{cal} na Equação 4); o ângulo de elevação do sol e a distância astronômica correspondem a cada cena.

Figura 9 – Aplicação de fórmula na Calculadora Raster, QGIS 2.18.22.

Calculadora raster

Bandas raster

- B3Reflect23mai2018OLI8@1
- B4Reflect23mai2018OLI8@1
- B5Reflect23mai2018OLI8@1
- B6Reflect23mai2018OLI8@1
- OLI8PJ23mai2018@1
- OLI8PJ23mai2018@2
- OLI8PJ23mai2018@3
- OLI8PJ23mai2018@4

Camada resultante

Camada de saída: B3Reflect23mai2018OLI8

Formato de saída: GeoTIFF

Extensão da camada atual

X min: 170415,00000 X max: 212955,00000

Y min: 9091375,00003 Y max: 9136885,00003

Colunas: 1418 Linhas: 1517

SRC de saída: SRC selecionado (EPSG:31985, SI)

☒ Adicionar resultado ao projeto

Operadores

+ * rquad cos sen tan log10 (

- / ^ acos asen atan ln)

< > = != <= >= AND OR

Calculadora de expressão raster

(0.00002 * "OLI8PJ23mai2018@1" - 0.1) / (cos ((90 - 50.05088893) * 3.141593 / 180) * (1 / (1.0124871 ^ 2)))

Expressão válida

OK Cancelar

Fonte: Adaptado do software QGIS 2.18.22.

Na aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é realizada a divisão entre a subtração e a soma das bandas do infravermelho próximo e verde. No sensor OLI esta fórmula corresponde à Equação 5, com as bandas 4 e 5 (B4 e B5).

$$\text{NDVI} = \frac{\rho_{B5} - \rho_{B4}}{\rho_{B5} + \rho_{B4}} \quad (5)$$

Para definição das classes do NDVI adotou-se a Tabela 2 de Chagas et al. (2008), definindo pixel correspondentes a água, solo exposto e vegetação.

Tabela 2 - Valores de NDVI utilizados na cobertura vegetal.

Classe	NDVI
Água	< -0,1
Solo exposto	0,01 a 0,1
Vegetação rala	0,1 a 0,2
Vegetação esparsa	0,2 a 0,4
Vegetação de transição	0,4 a 0,6
Vegetação densa	> 0,6

Fonte: Chagas *et al.* (2008).

Na aplicação do Índice de Água por Diferença Normalizada Modificado (MNDWI) proposto por Xu (2006), se utiliza as bandas do verde e do infravermelho médio (que correspondem ao infravermelho de ondas curtas no sensor OLI); neste índice, as faixas de comprimento de onda correspondem às bandas 3 e 6 (B3 e B6). A fórmula do MNDWI está representada na Equação 6.

$$\text{MNDWI} = \frac{\rho_{B3} - \rho_{B6}}{\rho_{B3} + \rho_{B6}} \quad (6)$$

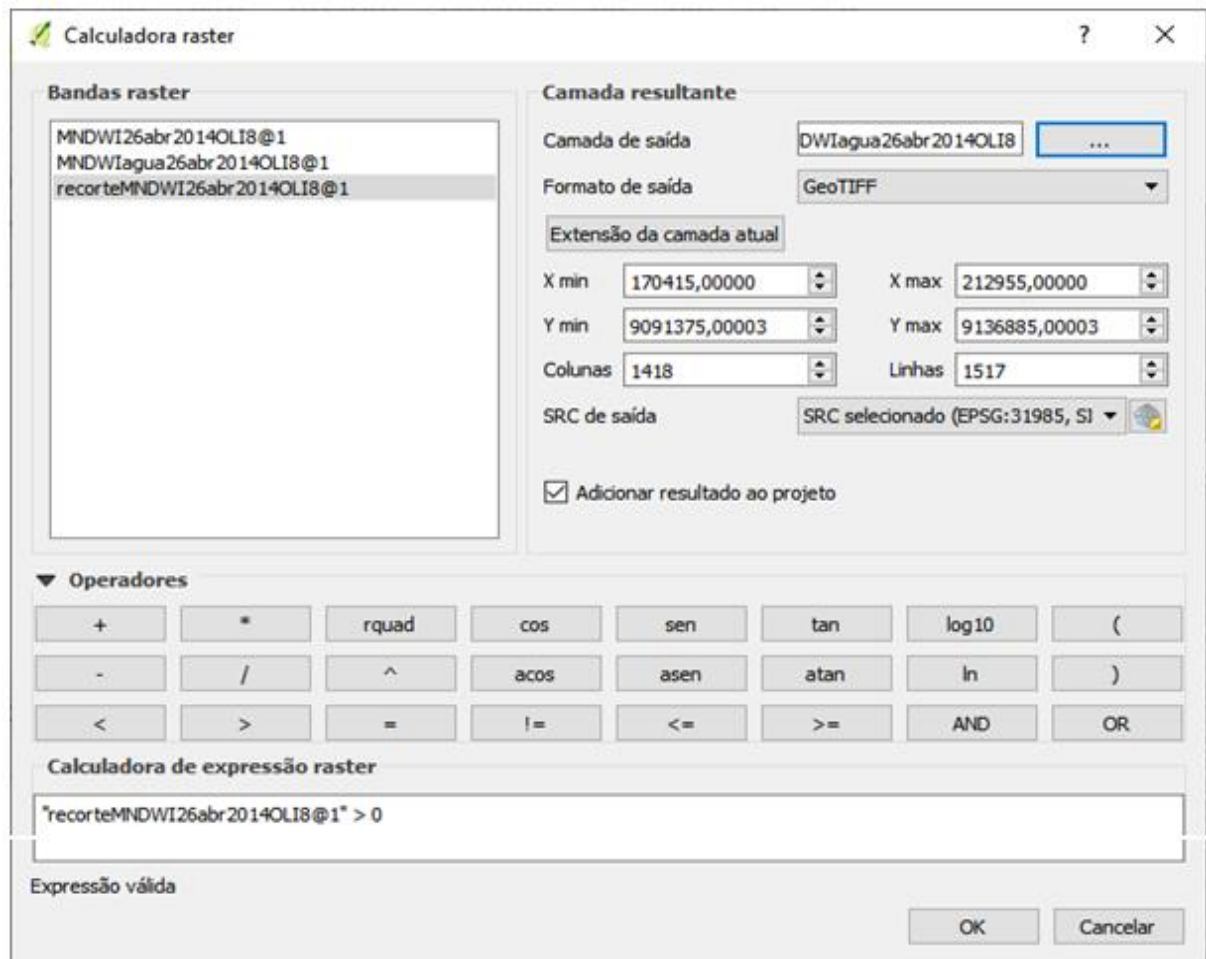
3.8 ÁREA SUPERFICIAL DO CORPO HÍDRICO

Devido à capacidade de definir o delineamento de corpos hídricos com grande precisão, o MNDWI de Xu (2006) é o mais apropriado para realizar o procedimento de extração de corpos d'água. Nesta pesquisa, foi analisado o reservatório de Jucazinho, com a pretensão de comparar as áreas superficiais, visual e quantitativamente, entre os anos de 2014 e 2018. Modelando o

MNDWI, os pixels no reservatório e seu entorno assumem valores que funcionam a partir de um limiar com o valor 0, onde: maiores que 0, representam água e nuvens, e abaixo de 0 as demais superfícies.

Realizando um recorte mais destacado no reservatório, se acessa a Calculadora Raster (Raster/Calculadora Raster); na inserção da fórmula, informar-se na calculadora para representar apenas os pixels maiores que zero, através do comando “Camada trabalhada > 0”. A Figura 10 representa o procedimento.

Figura 10 – Representação dos pixels de água na Calculadora Raster.



Fonte: Adaptado do software QGIS 2.18.22.

3.8.1 Poligonização

No processo para cálculo da área do reservatório, há a etapa de poligonização. Consiste em transformar a imagem obtida anteriormente, através da Calculadora Raster, em dado vetorial. Utilizam-se os comandos Raster/Converter/Raster para vetor. Realizado o procedimento, há diversos corpos hídricos, podendo incluir nuvens, que devem ser descartados. Usa-se o comando Selecionar Feições, seleciona-se a camada e se aplica o comando Salvar Como, criando o vetor trabalhável.

3.8.2 Tabela de atributos

Na tabela de atributos da nova camada formada, cria-se um novo campo correspondente à área do vetor trabalhado. Após configurá-lo propriamente, há o retorno do valor de área (m²) do reservatório estudado.

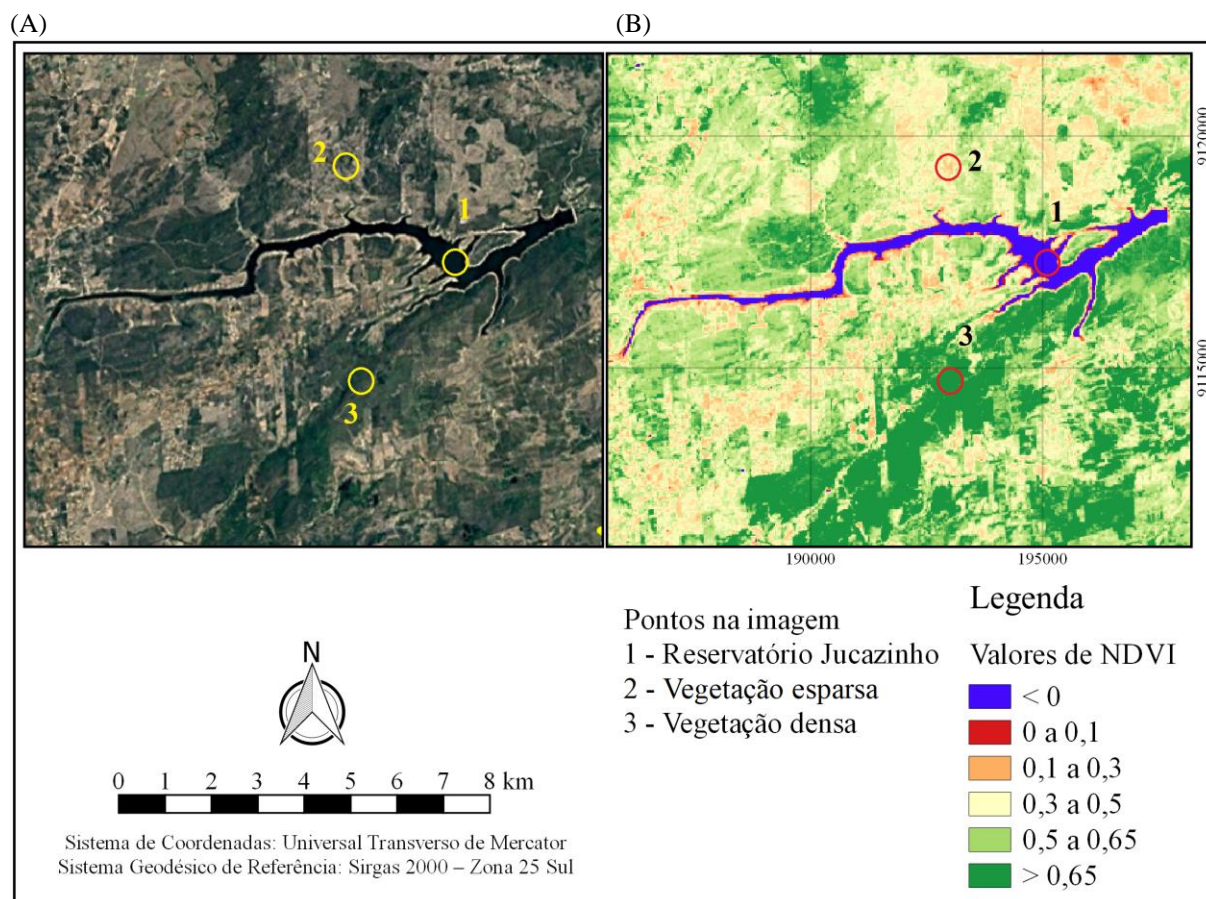
3.9 PERFIL LONGITUDINAL DE ÍNDICES ESPECTRAIS

Traçar o perfil longitudinal possibilita uma visão geral da variação do valor de cada pixel, em uma linha definida na área de estudo. As etapas para traçar o perfil longitudinal compreendem no QGIS: (1) instalar o complemento “Profile Tool”; (2) criar o dado vetorial; (3) editar o dado vetorial e (4) visualizar em formato gráfico.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

No processamento do NDVI no entorno do reservatório de Jucazinho em 26 de abril de 2014 (Figura 11B), observaram-se classes com variação de -0,88 até 0,82 onde, de acordo com a classificação de Chagas et al. (2008) – Tabela 2 adotada nesta pesquisa, foi observado uma cobertura vegetal razoável, com equilíbrio entre vegetação esparsa, de transição e densa.

Figura 11 – (A) Imagem do Google Earth com os pontos identificados em 2014; (B) NDVI processado na área de estudo em 2014.



Fonte: O Autor (2020).

A Figura 11A detalha os pontos referentes à Tabela 3, onde foi realizada a coleta dos referidos pontos identificados por meio da imagem do Google Earth (2014), e comparada visualmente com as imagens geradas do NDVI. Observou-se que os pontos representam o reservatório, vegetação esparsa e vegetação densa, comprovando assim a eficiência da aplicabilidade do Sensoriamento Remoto com modelagem de índices espectrais. Bezerra et al. (2018) também identificaram diferentes alvos terrestres (sedimentos em suspensão, corpo hídrico, perímetro irrigado e solo exposto), quando analisaram índices espectrais de umidade no entorno do reservatório de Itaparica – PE.

Tabela 3 – Valores de NDVI nos pontos amostrais.

Pontos	Valores de NDVI
P1 (Reservatório de Jucazinho)	-0,3547
P2 (Vegetação esparsa)	0,2560
P3 (Vegetação densa)	0,7441

Fonte: O Autor (2020).

O reservatório de Jucazinho ficou destacado na cor azul (classe $< 0,00$), observado na Figura 11B. Esta visualização com $NDVI < 0,00$ 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, obtendo-se a visualização da variação do corpo hídrico no transcorrer de 13 anos (2005 e 2018).

Também Lima et al. (2019) compararam variáveis biofísicas do reservatório Poço da Cruz, analisando vigor vegetativo da mata ciliar, utilizando satélites de resoluções espaciais diferentes, Landsat-5 TM (30 m) e do Sentinel-2 (10 m). Detectaram, similarmente a esta pesquisa, valores de $NDVI < 0,00$ para o referido corpo hídrico nos anos de 2008 e 2018.

Ursulino et al. (2018) em área semelhante a esta pesquisa no entorno do Reservatório de Jucazinho, encontraram valores médios de NDVI correspondente a três datas: (1) 03 de agosto de 1992 (antes da construção da barragem e precipitação mensal de 187,7 mm) com $NDVI$ médio = 0,651; (2) 29 de agosto de 2007 (depois da construção da barragem e precipitação mensal de 108,9 mm) com $NDVI$ médio = 0,469 e; (3) 17 de março de 2011 (depois da construção da barragem e precipitação mensal de 134,1 mm) com $NDVI$ médio = 0,480.

Relacionando a Tabela 4 com a Figura 5 (Precipitação acumulada mensal) observou-se que para o ano de 2014 o valor médio do $NDVI = 0,5076$ (Tabela 4) e precipitação mensal acumulada de 132,2 mm (Figura 5), condiz com a pesquisa de Ursulino et al. (2018), especificamente no ano de 2011. Ainda estes mesmos autores, ressaltaram que os eventos contribuem para a modificação da paisagem terrestre promovendo incrementos nos níveis de umidade da vegetação e, conseqüentemente, interferindo na resposta espectral dos alvos nos canais de refletividade.

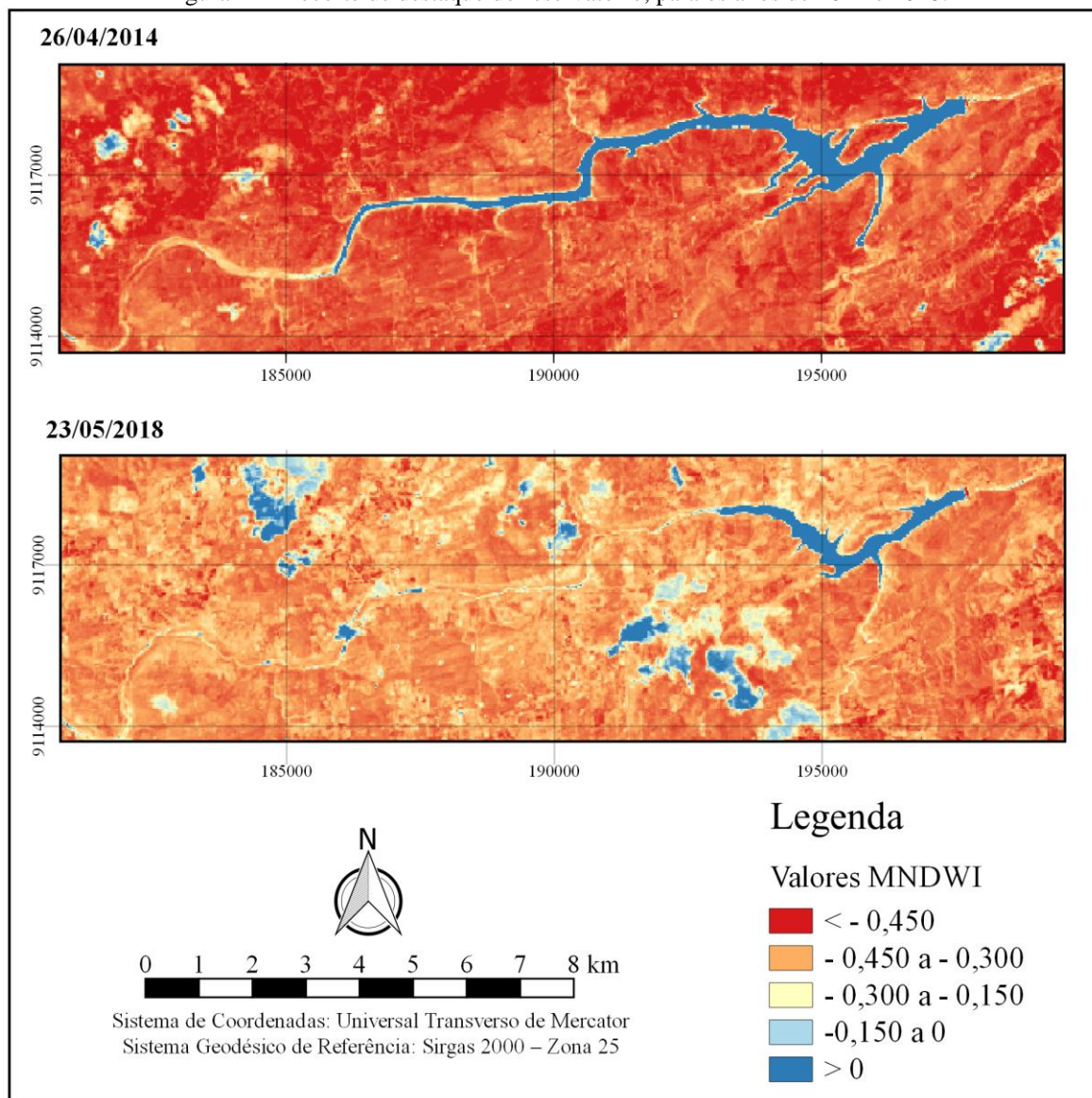
Tabela 4 - Valores estatísticos do NDVI na área de estudo em 2014.

NDVI	Ano	Máximo	Média	Mínimo	Desvio Padrão
	2014	0,8195	0,5076	-0,8758	0,1813

Fonte: O Autor (2020).

Na Figura 12 representou-se a variabilidade espaço-temporal do MNDWI nos anos de 2014 e 2018, onde se apresenta uma visível separação das bordas do reservatório de Jucazinho e diminuição do espelho de água em 2018, mesmo com ocorrência de nuvens na imagem.

Figura 12 - Recorte de destaque do reservatório, para os anos de 2014 e 2018.



Fonte: O Autor (2020).

Nas imagens processadas do MNDWI (Figura 12) a visualização do corpo hídrico foi observada claramente com valores positivos ($\text{MNDWI} > 0$), resultado condizente com Nascimento et al. (2019) que em sua pesquisa, no trecho específico do Rio Pajeú que se encontra nos municípios de Serra Talhada, Mirandiba e São José do Belmonte-PE, também encontraram valores positivos em áreas com presença de água e negativos em regiões com vegetação e construção. Estes mesmos autores evidenciaram também que o MNDWI se destaca pela

resposta espectral dos alvos na banda do infravermelho médio; por esse motivo se observam valores de máximo mais positivo em corpos hídricos.

Os resultados desta pesquisa de reconhecimento espaço-temporal de corpos hídricos utilizando o MNDWI condizem com a pesquisa de Brubacher et al. (2017), onde verificaram a dinâmica espacial e temporal das inundações, identificando corpos hídricos, utilizando imagens Landsat para observar o extravasamento das águas do Rio dos Sinos, a partir do índice MNDWI, como subsídio para a delimitação de inundações no município de Esteio, localizado na Região Metropolitana de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil, nos anos de 1984, 1990, 2004 e 2007.

A Tabela 5 detalha os valores estatísticos de todos os pixels do MNDWI da área de estudo, onde observou-se a diminuição do valor médio.

Tabela 5 - Valores estatísticos encontrados para a área de estudo.

	Ano	Máximo	Média	Mínimo	Desvio Padrão
MNDWI	2014	1,0000	-0,3946	-0,5898	0,2074
	2018	0,8967	-0,3364	-0,5656	0,1393

Fonte: O Autor (2020).

Pela Figura 12 e Tabela 6, observou-se a diminuição de área do espelho de água do reservatório, resultando numa área de 3.374.100,00 m² em 2014, enquanto para 2018, numa área de 1.285.200,00 m², evidenciando uma redução de 61,91%.

Pela Figura 5 constatou-se a ocorrência acumulativa de eventos chuvosos na área de estudo em relação às datas das imagens, ou seja, de janeiro a abril/2014 (217,70 mm) e de janeiro a maio/2018 (427,60 mm). Entretanto observou-se uma diminuição no espelho de água do reservatório em 2018. Os eventos chuvosos nesse ano (2018) não foram suficientes para manter a vazão no trecho do rio; isso somado à baixa pluviometria da década, pela qual passa o Semiárido Nordeste, conforme indicado pela World Meteorological Organization (2014), contribuiu para a diminuição de disponibilidade hídrica no local. Além disso, esta área do rio Capibaribe está localizada no trecho médio da bacia que, de acordo com o SRHE-PE (2010), é exatamente onde o rio apresenta um regime fluvial intermitente.

Os resultados de mensuração da área do espelho de água do reservatório de Jucazinho foi eficiente e condiz com a pesquisa de Chaves (2019) quando utilizando o MNDWI. O autor analisou reservatórios no semiárido nordestino nos anos 2009 a 2019, e observou redução em todos os principais reservatórios da Bacia do rio Brígida no sertão do estado de Pernambuco. Entre eles estão os açudes Chapéu, Algodões e Entremontes, com reduções de área superficial

de 83,29%, 71,40% e 89,26% respectivamente. Esta situação demonstra como o semiárido nordestino vem tendo suas reservas hídricas diminuídas pela carência de eventos chuvosos.

Tabela 6 – Área superficial de Jucazinho.

Data	Área (m ²)	Redução
26/04/2014	3.374.100,00	61,91%
23/05/2018	1.285.200,00	

Fonte: O Autor (2020).

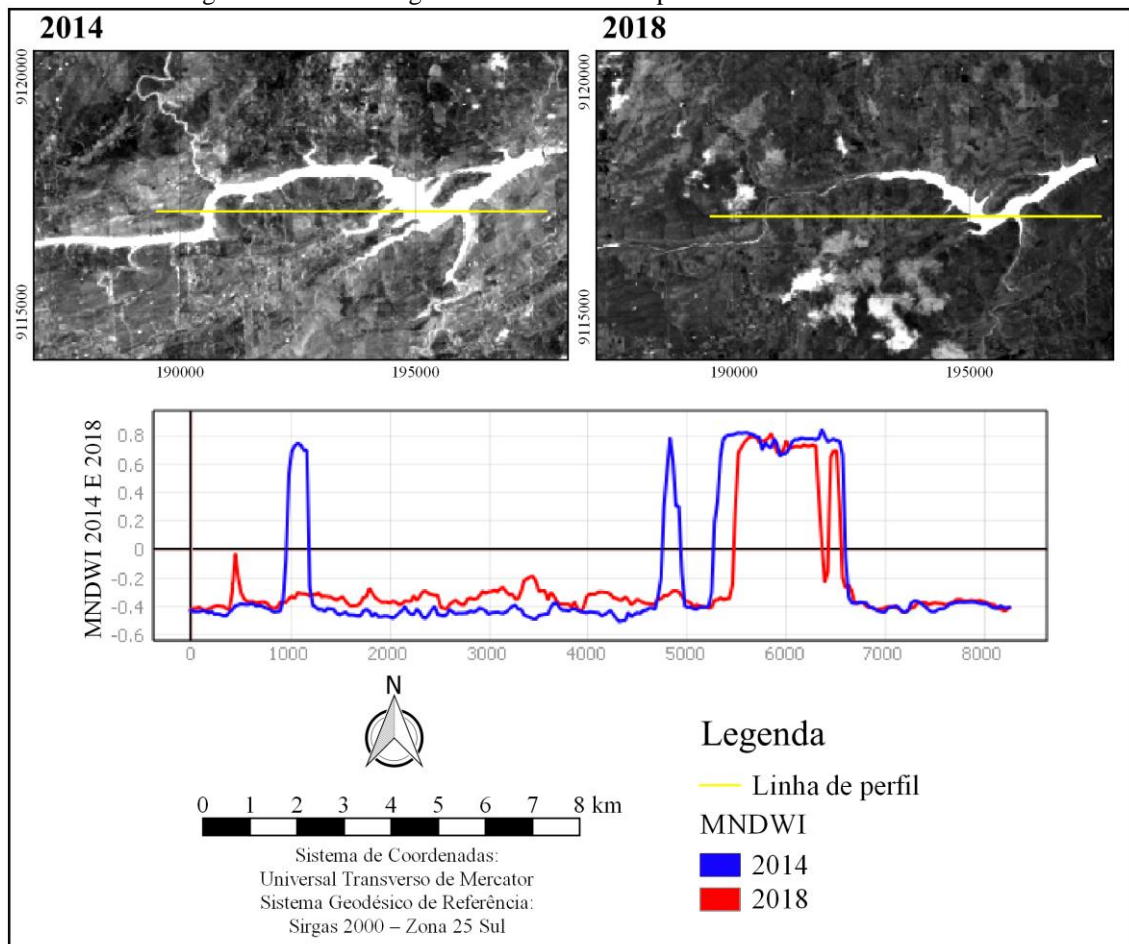
Na Figura 13 estão detalhados os perfis longitudinais do MNDWI de 2014 e 2018, obtidos para a mesma localização no sentido longitudinal do reservatório de Jucazinho (linha amarela), de forma a demonstrar diferentes comportamentos dos alvos terrestres.

Na visualização gráfica do perfil da Figura 13 foi possível observar a variação do valor de cada pixel de MNDWI, que evidenciou a redução da área do corpo hídrico observado na região em 2018, fato já observado na análise da redução da área superficial de 61,91% (Tabela 6).

Outro detalhe de comprovação da redução do espelho d'água do reservatório em 2018 foi demonstrado pela análise dos perfis longitudinais na lateral esquerda do gráfico, com o MNDWI < 0,0 evidenciado em uma maior parte do gráfico que a linha com dados de 2014. Este fato também denota a ausência da linha de água do rio Capibaribe em 2018 (linha amarela de localização do perfil).

Na lateral direita dos perfis, detecta-se o estreitamento das laterais do reservatório de Jucazinho em 2018, onde esses resultados obtidos são similares aos de Nascimento et al. (2019) que, utilizando perfis longitudinais de MNDWI em trecho do rio Pajeú em Serra Talhada, observaram com mais eficiência o delineamento das bordas do corpo hídrico.

Figura 13 - Perfis longitudinais do MNDWI para os anos de 2014 e 2018.

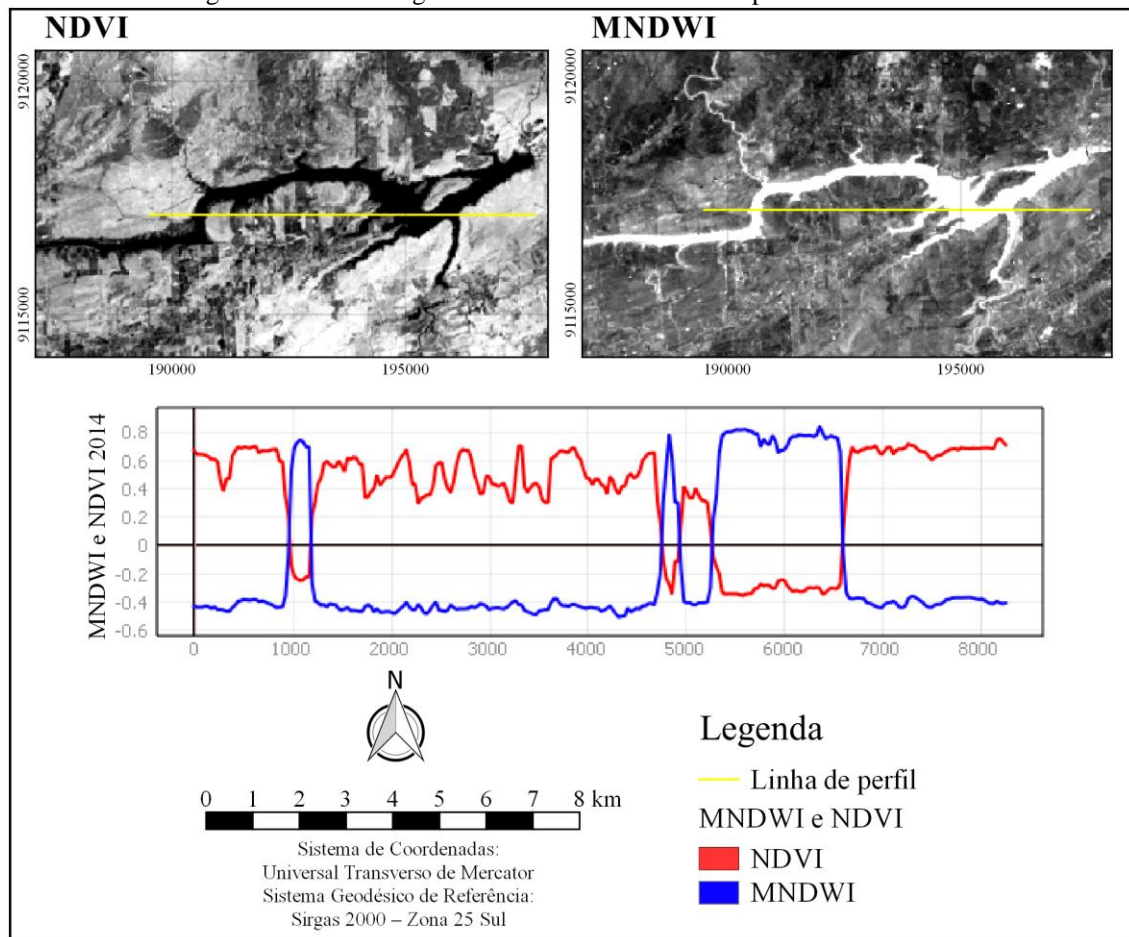


Fonte: O Autor (2020).

Pela análise do perfil longitudinal na Figura 14 (lado esquerdo do perfil) para o ano de 2014, valores positivos de MNDWI (corpo hídrico) correspondem a valores negativos de NDVI (corpo hídrico) e, como esperado logo em seguida, valores negativos de MNDWI (vegetação) correspondem a valores positivos de NDVI (vegetação).

Este resultado de NDVI condiz com Farias et al. (2018), quando afirmaram que a aplicação do NDVI mostra que quanto mais próximo de 1, mais densa é a vegetação; o valor menor que 0 (zero) indica corpo hídrico. Considerando o MNDWI, este resultado condiz com Nascimento et al. (2019): eles afirmaram que utilizando o índice, no qual se usa uma banda do infravermelho médio, há uma melhora no resultado quando o objetivo é destacar corpos hídricos dos demais alvos; sendo assim, é possível discriminar com maior eficiência a delimitação da água.

Figura 14 - Perfis longitudinais do NDVI e MNDWI para o ano de 2014.



Fonte: O Autor (2020).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a análise da variabilidade espaço-temporal do reservatório Jucazinho - PE e seu entorno em 2014 e 2018, utilizando dados orbitais por meio de sensoriamento remoto, foram proporcionados resultados efetivos e condizentes com outras pesquisas.

Relacionou-se também imagens de NDVI com as disponibilizadas pelo Google Earth, verificando a variabilidade espacial em 2014 e constatando a funcionalidade do índice espectral para interpretar os alvos da superfície terrestre.

No processamento do MNDWI, pode-se constatar uma redução significativa entre os momentos estudados no reservatório de Jucazinho, evidenciando que a área de lâmina d'água reduziu em 61,91% de 2014 a 2018. Reafirmou-se a redução da área quando se verificou as bordas hídricas do reservatório pelo perfil longitudinal com valores de cada pixel nos anos estudados.

Portanto, a utilização de técnicas de geoprocessamento em análises de imagens orbitais e modelagens de NDVI e MNDWI são práticas valiosas para o gerenciamento de recursos hídricos e demais recursos ambientais, gerando dados importantes para tomadas de decisões.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Sistema de Acompanhamento de Reservatórios, SAR**. ANA, 2020. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/sarportal/nordeste-modulo-4.html?codigo=12243>. Acesso em: 28 jan. de 2020.
- AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. **Monitoramento Hidrológico**. APAC, 2020. Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br/monitoramento/>. Acesso em: 25 de fev. de 2020.
- ARAÚJO, S. M. S. de. A Região Semiárida do Nordeste do Brasil: Questões Ambientais e Possibilidades de uso Sustentável dos Recursos. **Rios Eletrônica – Revista Científica da FASETE**, Ano 5, n. 5, p. 89-98, 2011.
- BACALHAU, José Ráurium; NETO, Alfredo Ribeiro; DE OLIVEIRA, Leidjane Maria Maciel. 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.
- BARBOSA, Ioná Maria Beltrão Rameh. **Planejamento da operação de reservatório objetivando melhoria da qualidade da água: estudo de caso no Agreste pernambucano**. 2012.
- BATISTA, L.F.D.R.; RIBEIRO NETO, A.; MONTENEGRO, S.M.G.L. Adaptation mechanisms for extreme events in the Capibaribe River Basin. *In: World Water Congress*, 16., 2017, Cancun. Proceedings [...]. Cancun, 2017.
- BEZERRA, U. A.; OLIVEIRA, L.M.M.; LEITE, A. C. S.; SALGUEIRO, J. H. P. B. Análise de índices de umidade no entorno do reservatório de Itaparica – PE. *In: XIV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE*, 14., 2018, Maceió - AL. **Anais** [...]. Maceió, 2018.
- Borges, R. D. O., Camargo, F. F., Campagnoli, F., & Bayer, M. Aplicação do Índice da Diferença Normalizada da Água (NDWI) na delimitação de fluxos de sedimentos em suspensão no Rio Araguaia: avaliação das imagens Landsat 8 para o monitoramento hidroviário. *In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 17., 2015, João Pessoa. **Anais** [...]. João Pessoa, 2015.
- BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. 3ª Diretoria Regional. **Hidrologia do reservatório de Jucazinho**. Recife: DNOCS, 1995. (Água solos, p.1-59).
- Brubacher, J. P.; Guasselli, L. A.; Oliveira, G. G., Delimitação de áreas inundáveis a partir de Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI) no Município de Esteio (RS, Brasil), **Revista Pesquisa em Geociências**, Porto Alegre - RS, v. 44, 2017.
- CARVALHO, M. S. B. S.; MARTINS, E. S. P. R.; SOARES, A. M. L.; CHAVES, L. C. G.; OLIVEIRA, F. A. J.; PERINI, D. S. MENESCAL, R. A., SCHERER-WARREN, M. Levantamento dos espelhos d'água acima de 20ha em todo o território brasileiro através de

sensoriamento remoto. *In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 14., Natal. Anais...]. Natal: INPE, 2009.

CHAGAS, M. GS das.; GALVÍNCIO, JD; PIMENTEL, RM de M. 2008. Avaliação da dinâmica espectral da vegetação de Caatinga em Arcoverde, Pernambuco. **Revista de Geografia** (Recife) v, v. 25.

CHAVES, J.V.B. **Geotecnologia como ferramenta na espacialização superficial dos açudes da bacia hidrográfica do rio Brígida**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019. 54 p.

CUNHA, John E. *et al.* Dinâmica da cobertura vegetal para a Bacia de São João do Rio do Peixe, PB, utilizando-se sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 5, p. 539-548, 2012.

FARIAS, A. A. M.; OLIVEIRA, L.M.M.; LIMA, J. F.; MENEZES, A. V. S.; URSULINO, B. E. S. Análise multitemporal dos parâmetros biofísicos NDVI e NDBI em Maceió – Alagoas. *In: XIV SIMPÓSIO DE RECURSOS HIDRÍCOS DO NORDESTE*, 14, 2018, Maceió. **Anais [...]**. Maceió, 2018.

FLOREZANO, Teresa Galloti. Iniciação em sensoriamento remoto/ Teresa Gallotti Florenzano. –3. ed. amp. e atual. – São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

JENSEN, J.R. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. 1.ed.Tradução José Carlos Neves Epiphanyo *et. al.* São José dos Campos, SP, 2009. 244p. ISBN: 97885605070601.

LEONARDO, H. R. A. L.; OLIVEIRA, E. F.; ALMEIDA, D. N. O.; PAIVA, A. L. R.; OLIVEIRA, L. M. M. Geotecnologia na análise do comportamento espectral dos recursos naturais no Semiárido pernambucano. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 9, p.191 - 203, 2019.

LIMA, N. A. S.; XAVIER, M. L. P.; SILVA JUNIOR, U. J.; NASCIMENTO, E. F.; OLIVEIRA, L. M. M. Índices Espectrais por Sensoriamento Remoto com os satélites LANDSAT-5 e SENTINEL-2 no entorno do reservatório Poço da Cruz - PE. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v.9, p.299 - 309, 2019.

MAIA, Francisco Marcelo de Alencar. **Análise da vulnerabilidade socioambiental dos municípios abastecidos pela barragem de Jucazinho no agreste pernambucano**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018. 94 p.

MCFEETERS, Stuart K. O uso do Índice de Água com Diferenças Normalizadas (NDWI) no delineamento de características de águas abertas. **Revista internacional de sensoriamento remoto**, v. 17, n. 7, p. 1425-1432, 1996.

MELO, R.R.C.; RAMEH BARBOSA, I.M.B.; FERREIRA, A.A.; LEE BARBOSA FIRMO, A.; DA SILVA, S.R.; CIRILO, J.A.; DE AQUINO, R.R.B. (2017) “*Influence of Extreme Strength in Water Quality of the Jucazinho Reservoir, Northeastern Brazil, PE*”. **Water** 9(12), pp. 1-11.

NASCIMENTO, E.F.; OLIVEIRA, L.M.M.; LIMA, J.F.; FARIAS, A.A.M; SILVA, J.G. Comparação de índices de água na identificação de corpo hídrico por Sensoriamento Remoto. In: XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. 19., 2019, Santos. Anais [...]. Santos, 2019.

QGIS. **A liderança do SIG de código aberto.** Acesso em <https://qgis.org/pt_BR/site/about/index.html> Acesso em: 20 de fev. de 2020.

ROUSE, J. W.; HASS, JR., R. H.; SCHELL, J. A.; DERRING, D. W. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. Prog. Rep. RSC 1978-1, **Remote Sensing Center**, Texas A&M Univ., College Station, 1973. 93p.

RUHOFF, A. L.; SILVA, B.B. da.; ROCHA, H.R. da. Determinação da irradiância solar no topo da atmosfera para cálculo do albedo e balanço de energia a partir de imagens LANDSAT 8 OLI. In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO-SBSR, 17, 2015, João Pessoa-PB. **Anais [...]**. João Pessoa, 2015.

PERNAMBUCO. Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos. **Plano Hidroambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe**. Recife: SRHE, 2010. pp. 1-100.

SILVA, J. G.; OLIVEIRA, L.M.M.; SILVEIRA, M. M. V. Identificação do uso do solo por índices de vegetação no sul da bacia hidrográfica do rio Pajeú. In: VII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO (SIMGEO), 7., 2018, Recife – PE. **Anais [...]**. Recife, 2018.

URSULINO, B e S; MONTENEGRO, S. M. G. L.; OLIVEIRA, L. M. M.; RIBEIRO NETO, A.; RODRIGUES, D. F. B. Análise multitemporal de parâmetros biofísicos por sensoriamento remoto no entorno do reservatório Jucazinho - PE. In: XIV SIMPÓSIO DE RECURSOS HIDRÍCOS DO NORDESTE, 14., 2018, Maceió. **Anais [...]**. Maceió, 2018.

USGS. **Landsat missions**. 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: 20 fev. 2020.

WMO-WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **WMO statement on the status of the global climate in 2013**. WMO-No. 1130, 2014.

XU, Hanqiu. Modificação do índice de água com diferença normalizada (NDWI) para aprimorar os recursos de águas abertas em imagens detectadas remotamente. **Revista internacional de sensoriamento remoto**, v. 27, n. 14, p. 3025-3033, 2006.