

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS- UFAL
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS-CECA
CURSO DE ENGENHARIA DE AGRIMENSURA

ANA BEATRIZ SILVA DE ANDRADE

**UTILIZAÇÃO DOS ÍNDICES NDWI E MNDWI NA DETECÇÃO DE CORPOS
HIDRICOS EM IMAGENS *SENTINEL-2* NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
TRAIPIU – ALAGOAS**

RIO LARGO – AL
2019

ANA BEATRIZ SILVA DE ANDRADE

**UTILIZAÇÃO DOS ÍNDICES NDWI E MNDWI NA DETECÇÃO DE CORPOS
HIDRICOS EM IMAGENS *SENTINEL-2* NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
TRAIPIU – ALAGOAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação de Engenharia de Agrimensura da Universidade Federal de Alagoas, como requisito para obtenção do Título em Bacharel em Engenharia de Agrimensura.

Orientadora: Prof^a. Msc. Wedja de Oliveira Silva.

RIO LARGO – AL
2019

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Agrárias
Bibliotecária Responsável: Myrtes Vieira do Nascimento

A553u Andrade, Ana Beatriz Silva de
Utilização dos índices NDWI e MNDWI na detecção de corpos hídricos em imagens Sentinel-2 na bacia hidrográfica do Rio Traipu – Alagoas / Ana Beatriz Silva de Andrade – 2019.
35 f.; il.

Monografia de Graduação em Engenharia de Agrimensura (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias. Rio Largo, 2019.
Orientação: Me. Wedja de Oliveira Silva

Inclui bibliografia

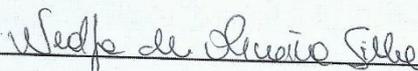
1. Satélite – Sentinel-2. 2. Rio Traipu. 3. Bacia hidrográfica.
I. Título

CDU: 528

ANA BEATRIZ SILVA DE ANDRADE

UTILIZAÇÃO DOS ÍNDICES NDWI E MNDWI NA DETECÇÃO DE CORPOS
HIDRICOS EM IMAGENS SENTINEL-2 NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
TRAIPU – ALAGOAS

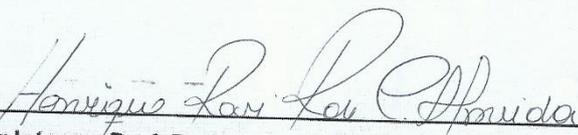
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação de Engenharia de
Agrimensura da Universidade Federal de Alagoas,
como requisito para obtenção do Título em
Bacharel em Engenharia de Agrimensura.



Prof.^a MSc. Wedja de Oliveira Silva.

(Orientadora)

Banca Examinadora:



Examinador Interno: Prof. Dr. Henrique Ravi Rocha de Carvalho Almeida



Examinador Externo: MSc. Maxsuel Bomfim Luz Lopes

Acima de tudo agradeço a Deus por essa realização.

Dedico a minha família, amigos e a professora Wedja Oliveira por toda colaboração e paciência durante o desenvolvimento deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me concebido saúde e inteligência para superar todas as minhas dificuldades ao longo dessa graduação!

Também agradeço a toda minha família, sei que nunca estarei sozinha enquanto tiver vocês por perto. Agradeço a minha mãe por estar comigo, sempre preocupada e atenciosa.

Um agradecimento especial para meu pai por todo o suporte, sustento e dedicação. Sempre me incentivando a estudar para me tornar uma engenheira, e conseguir um bom emprego para meu sustento.

Agradeço a minha irmã, Auana, que sempre foi a ponte nas minhas andanças.

Agradeço aos meus amigos pela companhia nos bons e maus momentos da vida. Aos amigos que estão longe, a distância e o tempo não diminuem o carinho que eu sinto por todos vocês!

Agradeço muito a professora Wedja, minha orientadora, por todo o tempo dedicado a mim, pela amizade e pelas noites que aprendemos juntas. Por me acolher e me adotar.

Muito obrigado aos meus chefes Hugo e Abel da SEMARH, por ter me dado a oportunidade de mostrar o potencial do curso de Engenharia de Agrimensura. Aos meus amigos do estágio que sempre mostraram a disposição para me ajudar.

Também agradeço a todos os professores do curso que colaboraram com minha formação.

RESUMO

A aplicação do sensoriamento remoto no suporte aos estudos hidrológicos torna-se cada dia mais comum, principalmente com a utilização de imagens orbitais. O objetivo deste trabalho foi identificar os corpos d'água em imagem do satélite Sentinel-2, através dos índices espectrais *Normalized Difference Water Index*-NDWI e *Modified Normalized Difference Water Index* - MNDWI. A área de estudo para aplicação dos índices foi a bacia hidrográfica do Rio Traipu. Teve como foco principal a comparação dos índices espectrais aplicados a mesma região, para comprovação do melhor método a ser replicado para todo o estado, a posteriori. Os resultados mostraram que a aplicação do MNDWI teve uma resposta espectral melhor em relação ao NDWI, onde as médias apresentaram valores de 0,30, contra 0,16, respectivamente. Desta forma, conclui-se que o MNDWI é mais fiel a representação da superfície hídrica mapeada.

Palavras chave: NDWI, MNDWI, Sentinel-2, Bacia Hidrográfica.

ABSTRACT

The application of remote sensing in support of hydrological studies becomes increasingly common, especially with the use of orbital images. The objective of this research was to identify the water bodies in the Sentinel-2 satellite image through the Normalized Difference Water Index- NDWI and Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI) spectral indices. The study area for the application was the Traipu river basin. To prove the best method to be replicated for the whole state, a comparison was made by the spectral indices. The results showed that the application of MNDWI had a better spectral response concerning NDWI, where the averages presented values of 0,30, against 0,16, respectively. Therefore, it's concluded that the MNDWI is more accurate to the representation of the mapped water surface.

Keywords NDWI. MNDWI. *Sentinel-2*. Hydric Bodies.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01: Satélite Geoestacionário	15
Quadro 01: Características do Satélite Sentinel-2.....	16
Figura 02: Satélite Sentinel-2	17
Quadro 02: Produtos do Sentinel-2	18
Quadro 03: Índices de Vegetação	20
Figura 03: Mapa de Localização da Área de Estudo	22
Figura 04: Aplicação do método <i>Equal Interval</i>.....	25
Figura 05: NDWI aplicado na Bacia Hidrográfica Traipu.....	26
Figura 06: MNDWI aplicado na Bacia Hidrográfica Traipu.....	27
Quadro 05: Valores de resposta dos índices para identificação de superfície hídrica	29
Figura 07: Comparação dos resultados obtidos, (a) composição falsa-cor, (b) NDWI, e (c) MNDWI.....	29
Figura 08: Comparação dos resultados obtidos, (a) composição falsa-cor, (b) NDWI, e (c) MNDWI.....	30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional das Águas
CE	Comissão Europeia
CO ₂	Dióxido de Carbono
DN	<i>Digital Numbers</i>
DEM	<i>Digital Elevation Model</i>
ESA	<i>European Space Agency</i>
EUA	Estados Unidos da América
GMES	<i>Global Monitoring for Environment and Security</i>
GSD	<i>Ground Sample Distance</i>
IAF	Índice de Área Foliar
IVP	Infravermelho Próximo
MNDWI	<i>Modified Normalized Difference Water Index</i>
MSI	<i>Multispectral Instrument</i>
NDWI	<i>Normalized Difference Water Index</i>
NIR	<i>Near Infrared</i>
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SPOT	<i>Satellite Pour l'Observation de la Terre</i>
SWIR	<i>Short Wave Infrared</i>
TOA	<i>Top Of Atmosphere</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	12
2.1 Objetivo Geral	12
2.2 Objetivos Específicos	12
3 REFERENCIAL TEÓRICO	13
3.1 Bacia Hidrográfica	13
3.2 Sensoriamento Remoto.....	14
3.2.1 Sentinel-2	15
3.2.1.1 Tipos de Produto do Sentinel-2.....	Error! Bookmark not defined.
3.3 Índices Espectrais	19
3.3.1 Normalized Difference Water Index - NDWI.....	20
3.3.2 Modified Normalized Difference Water Index - MNDWI	21
4 METODOLOGIA	22
4.1 Área de Estudo.....	22
4.2 Recursos Materiais.....	23
4.3 Procedimentos Metodológicos	24
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	26
5.1 Resultados	26
5.2 Discussões	28
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	31
REFERÊNCIAS	32

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural, abundante e precioso para a sobrevivência dos seres humanos. É sabido que a falta de planejamento e administração dos recursos hídricos é uma ameaça à disponibilidade suficiente para a sobrevivência. A água sempre teve grande influência nas funções básicas para a humanidade, tanto que o desenvolvimento das grandes civilizações sucedeu às margens de rios e nascentes, assim como as grandes navegações, abastecimento de povos e o desenvolvimento da agricultura.

Um dos grandes problemas relacionado a água é demanda. Seja o crescimento populacional em ritmo acelerado, o aquecimento global - provocado pelo gás Dióxido de Carbono (CO₂) ou a degradação das fontes de água potável, e práticas humanas não sustentáveis, o que se sabe é que a água está em escassez.

A disponibilidade de água para a sobrevivência humana e animal no Nordeste tem diversos usos, especialmente para o abastecimento humano, e é uma preocupação da população que vive, principalmente, nas regiões semiáridas. O semiárido brasileiro tem como característica apresentar chuvas irregulares, proporcionando uma estiagem prolongada. Uma alternativa para mitigar os efeitos dessa estiagem é a construção de barragens que são as estruturas físicas que represam um curso de água, que tem por finalidade elevar os níveis de água e criar um reservatório de acumulação, gerando um melhor aproveitamento da oferta hídrica da região.

Com a necessidade de compreender os diversos subsistemas, diversos estudiosos se empenham para entender e explicar a dinâmica dos processos do sistema terra. Neste sentido, Fitz (2008) salienta que “o estudo do espaço geográfico e dos aspectos ambientais nele inseridos pressupõe uma série de conhecimentos e informações que podem ser trabalhados de maneira mais ágil, fácil e rápida com as novas tecnologias”. Assim, a cartografia digital e as geotecnologias ganham destaque ao dinamizar a espacialização de dados relacionados à temática geográfica.

Conforme Câmara, Monteiro e Davis (2001), o geoprocessamento se caracteriza como uma “área do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais, fornecidas pelos Sistema de Informação Geográfica (SIG), para

tratar os processos que ocorrem no espaço geográfico”. Assim, o geoprocessamento é uma tecnologia transdisciplinar que envolve equipamentos no seu amplo campo de atividade geotecnológicas e, difere-se também do sensoriamento remoto, que a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados, da superfície terrestre, através da captação do registro da energia refletida ou emitida pela superfície, possibilitando uma visualização sinóptica dos corpos d’água em diversas escalas. (FLORENZANO, 2002).

O avanço tecnológico possibilitou uma grande variedade de mecanismos e procedimentos que fornecem aos especialistas em recursos hídricos, fontes de informação bem qualificadas e quantificadas. Inseridas nessa conjuntura, encontra-se o avanço das interfaces homem-máquina, softwares inteligentes, disponibilidade de imagens de satélite gratuitas de melhor qualidade, sensores mais precisos para mapeamento, dentre outras condições.

Os métodos utilizados para a identificação de corpos d’água vão desde simples operações de fatiamento em bandas espectrais específicas (FRAZIER ; PAGE, 2000), operações aritméticas de bandas com as fórmulas de McFeeters (1996) e Gao (1996) e Xu (2006) além de transformações das bandas multiespectrais das imagens de satélites com os métodos de (OUMA; TATEISHI, 2006), e mapeamentos em nível sub-pixel (KNIGHT; TINDALL; WILSON, 2009).

Diante desta variedade de métodos disponíveis se faz necessário a avaliação destes procedimentos, tanto em termos de desempenhos individuais como de forma comparativa. Desta maneira, é possível identificar qual o método ideal, contribuindo de forma rápida na tomada de decisões para solucionar problemas específicos. Neste sentido, este trabalho pretende avaliar a exatidão e características dos módulos NDWI e MNDWI no processo de identificação de corpos d’água, na bacia hidrográfica do Rio Traipu – Alagoas, visando detectar a melhor resposta espectral obtida, a fim de que se possa replicar a metodologia para qualquer outra bacia ou todo o estado, obtendo, assim, uma base atualizada, de forma ágil, segura e precisa.

No Brasil, a Agencia Nacional de Águas (ANA) gerencia as informações referentes aos recursos hídricos, da mesma forma que disponibiliza essas informações através do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos – SNIRH. Contudo, os dados de Corpos Hídricos apresentados no site mostram-se desatualizados desde 2016. Visto isso, analisar metodologias alternativas para

detecção de corpos d'água é fundamental para garantir uma melhor funcionalidade, administração e distribuição dos recursos hídricos para todo o Estado de Alagoas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

DETECTAR corpos hídricos em imagens do satélite Sentinel-2 através dos índices espectrais NDWI e MNDWI na bacia hidrográfica do Rio Traipu – AL.

2.2 Objetivos Específicos

1. APLICAR os módulos NDWI e MNDWI;
2. COMPARAR os índices espectrais;
3. ANALISAR o que apresenta melhor resposta para ambiente aquoso.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Bacia Hidrográfica

O conceito de bacia hidrográfica refere-se a uma área de captação geográfica natural delimitada por divisores de água que converge os escoamentos para único ponto fixo. Sendo este ponto denominado exutório. Este compartimento é drenado superficialmente por um curso d'água principal e seus afluentes (SILVA, 1995).

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, incorpora princípios e normas para a gestão de recursos hídricos adotando a definição de bacias hidrográficas como unidade de estudo e gestão. Assim, é de grande importância para gestores e pesquisadores a compreensão do conceito de bacia hidrográfica e de suas subdivisões.

As definições propostas para sub-bacia e micro bacia não estão correlacionadas, havendo uma divergência de conceitos. No aspecto de dimensionamento de áreas, Faustino (1996) pontua que as sub-bacias são áreas maiores que 100 km² e menores que 700 km² e por outro lado para Martins (2005) essas áreas estão entre 200 km² a 300 km².

Conforme Pena *et al* (2015) a bacia hidrográfica é uma das principais unidades de gestão de atividades agroflorestais e desenvolvimento socioeconômico de uma região. As bacias hidrográficas se constituem em importantes unidades de planejamento e estudo, levando em consideração seu caráter sistêmico que permite reconhecer e avaliar os diferentes componentes da paisagem, seja estes naturais (solo, rochas, água, vegetação) ou antrópicos, resultantes da ação humana (SILVA; PONTES; CABRAL, 2016).

As mudanças no uso e cobertura do solo de uma bacia hidrográfica, decorrentes principalmente de atividades antrópicas, tais como desmatamento, reflorestamento e urbanização, têm impactos consideráveis sobre o comportamento hidrológico da mesma, e em particular no que se refere à geração de escoamento superficial (TUCCI, 2002 *apud* MOREIRA *et al*, 2018).

O uso de imagens de satélites direcionados a detecção de alterações nas características do solo se mostram cada vez mais necessários dentro do contexto das geotecnologias aplicadas aos recursos hídricos. A análise temporal dessas alterações dá-se devido ao acervo de imagens de cada sensor (JUNIOR, 2017).

Considerando a bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gerenciamento de recursos hídricos, também pode-se utilizar dessas metodologias de detecção de alteração nas características espaço-temporais para seu monitoramento e delineamento. As bacias tem certas características essenciais que a torna uma unidade muito bem assinalada e permite a integração multidisciplinar entre diferentes sistemas de gerenciamento, estudo e atividade ambiental, permitindo a aplicação adequada de tecnologias avançadas para levantamento de dados primários e monitoramentos (MARGALEF,1983).

Os novos paradigmas para gerenciamento de recursos hídricos incluem uma base de dados sustentada pela pesquisa científica, a fim de gerar as informações necessárias à tomada de decisões pelos gestores, e interação contínua e permanente entre gerentes e pesquisadores da área básica, vital para a implantação de políticas públicas em nível municipal, regional, estadual e federal. Neste sentido as universidades assumem um papel relevante para o diagnóstico qualitativo e quantitativo dos problemas; a elaboração de banco de dados e sistemas de informação; o apoio na implementação de políticas públicas e no desenvolvimento metodológico e introdução de novas tecnologias (TUNDISI; STRASRABAS, 1995).

3.2 Sensoriamento Remoto

O sensoriamento remoto é a arte e a ciência de obter informação sobre um objeto, área ou fenômeno sem a necessidade de ter contato físico direto com o mesmo o objeto (JENSEN, 2009).

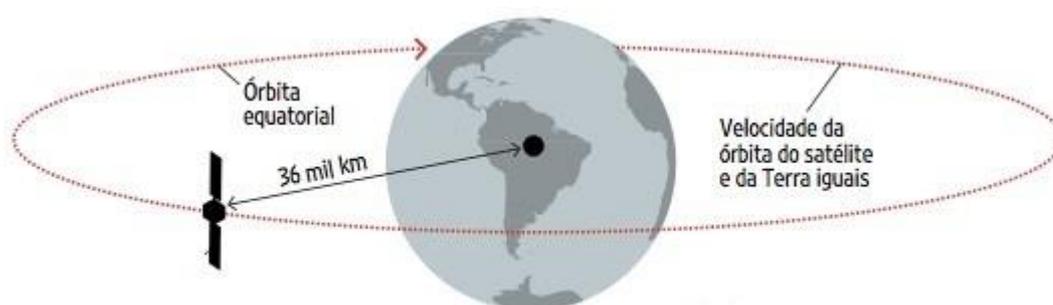
Segundo o enfoque científico abordado por (LILLESAND, 1995), sensoriamento remoto significa observar a superfície e a atmosfera da Terra por meio de sensores localizados muito acima do solo. Tais sensores podem captar tanto o espectro visível, mas também a radiação em outros comprimentos de onda, como o infravermelho, ultravioleta, e as micro-ondas.

Os dados do sensoriamento remoto podem ser usados para estimar variáveis geofísicas e biofísicas. Algumas das aplicações mais utilizadas para os dados de sensoriamento remoto são a modelagem de processos naturais (mudanças climáticas, eutrofização, desertificação, desastres naturais, etc) ou causados pelo homem (desflorestamento, poluição, expansão urbana, deslizamentos, etc) (MORAES, 1999).

Os satélites podem ser classificados em relação a seu posicionamento em órbita, como geoestacionário e não geoestacionário: nesse sentido os geoestacionários na sua grande maioria são os satélites de comunicação que estão em uma órbita sobre o equador de tal forma que o satélite tenha um período de rotação igual ao do nosso planeta terra, ou seja, 24 horas. Com isso a velocidade angular de rotação do satélite se iguala à da terra e tudo se passa como se o satélite estivesse parado no espaço em relação a um observador na terra. Logo, os não geoestacionários demoram mais de 24 horas para voltar ao seu ponto terrestre.

Na figura 01 podemos observar um exemplo do sistema geoestacionário.

Figura 01 - Satélite Geoestacionário



Fonte: Folha de São Paulo (2009)

O *Sentinel-2*, por exemplo, é não geoestacionário, e demora cinco dias para retornar a um mesmo ponto terrestre. Outro exemplo é o *Landsat 5* que leva dezesseis dias, possuindo seis sensores espectrais e um sensor termal.

3.2.1 Sentinel-2

O programa *Global Monitoring for Environment and Security* (GMES), em português monitoramento global da segurança ambiental, é uma iniciativa conjunta da Comissão Europeia (CE) e da Agência Espacial Europeia *European Space Agency* (ESA), destinada a fornecer informações de monitoramento operacional para aplicações ambientais e de segurança.

O papel da ESA no GMES é desenvolver o sistema relacionado com o espaço e o solo. Os principais objetivos da missão Sentinel-2 são fornecer: aquisições de cenas multiespectrais de alta resolução com alta frequência de revisão; a próxima

geração de produtos operacionais, tais como mapas de cobertura terrestre, mapas de detecção de mudança de solo e variáveis geofísicas. Consequentemente, o Sentinel-2 contribuirá, diretamente, para os serviços de monitoramento do planeta (ESA, 2015)

Os objetivos direcionaram o programa para um sistema multiespectral confiável, como o *Multispectral Instrument* (MSI), sensor do Sentinel-2 que possui treze bandas espectrais que vão desde o visível ao infravermelho de ondas curtas. A resolução espacial varia de 10 m a 60 m dependendo da faixa espectral e com uma variação do comprimento das ondas entre 490 a 1375 nanômetros como mostra abaixo o Quadro 01.

Quadro 01 - Características do Satélite Sentinel-2

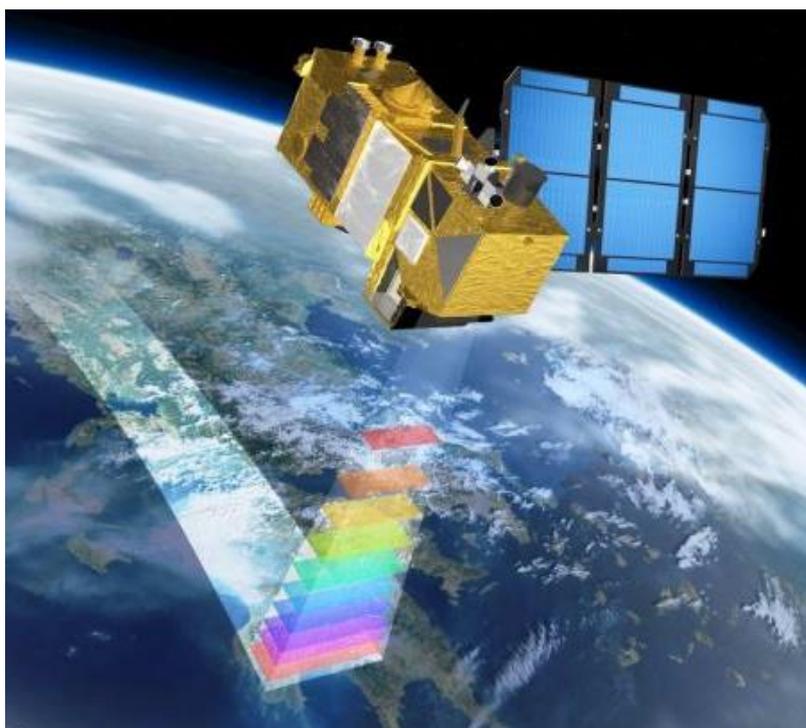
Resolução	N.º da Banda	Nome da Banda	Comprimento de Onda Central (nanômetro)	Combinações de Bandas
10m	B02	Blue (Azul)	490	Cor Verdadeira RGB 04/03/02 Falsa Cor 1 08/04/03 Falsa Cor 2 04/08/03
	B03	Green (Verde)	560	
	B04	Red (Vermelho)	665	
	B08	NIR (Infravermelho Próximo)	842	
20m	B05	Red Edge 1 (Borda do Vermelho)	705	SWIR 1 RGB 12/11/08A
	B06	Red Edge 2 (Borda do Vermelho)	740	
	B07	Red Edge 3 (Borda do Vermelho)	783	
	B08A	Red Edge 4 (Borda do Vermelho)	865	
	B11	SWIR 1 (Infravermelho de Ondas Curtas)	1610	
	B12	SWIR 2 (Infravermelho de Ondas Curtas)	2190	
60m	B01	Aerossol	443	-
	B09	Water Vapor (Vapor d'água)	940	
	B10	Cirrus (Nuvens)	1375	

Fonte: Adaptado da ESA (2015)

O design óptico do telescópio MSI permite um campo de visão de 290 km. Para conseguir esse campo de visão, o MSI, que é um sensor *pushbroom*, é composto por doze detectores organizados em duas faixas horizontais. Se os sensores fossem organizados em uma única linha (com os sensores lado a lado), a imagem apresentaria *gaps* (espaços) entre as linhas de pixels, pois os detectores precisam de espaço entre si, e mesmo o menor espaço entre os sensores causaria esse *gap*. Por esse fator, o conjunto de detectores é organizado em duas linhas, com parte do detector sobreposta com o detector inferior (ESA, 2016).

A Figura 02 ilustra o imageamento do satélite sentinel-2.

Figura 02 - Satélite Sentinel-2



Fonte: GIM *International*.

A câmera multiespectral é a mais avançada de seu tipo, de fato é a primeira missão óptica de observação da terra da sua classe, por incluir três bandas no “*red edge*” que proporciona informação chave sobre o estado da vegetação (ESA, 2015). Os dados adquiridos, a cobertura da missão e a alta frequência de visitas,

possibilitam a geração de geoinformação em escalas locais, regionais, nacionais e internacionais.

O satélite Sentinel-2 foi lançado no dia 23 de junho de 2015 e atualmente está em operação. Conta com instrumentos de captura multiespectral que são complementares às missões existentes, incluindo SPOT (do francês, *Satellite Pour l'Observation de la Terre*) e nos satélites da missão *Landsat*.

Os dados são projetados para serem modificados e adaptados por usuários interessados em áreas temáticas, tais como: ordenamento do território, monitoramento agroambiental, monitoramento da água, monitoramento florestal e da vegetação, monitoramento do carbono terrestre, monitoramento de recursos naturais e monitoramento global de culturas (ESA, 2016).

O Quadro 02 apresenta os produtos do satélite Sentinel-2.

Quadro 02- Produtos do Sentinel-2

Nível do Produto	Descrição	Produto e Distribuição	Volume de Dados
Nível- 1B	Radiância no topo da atmosfera na geometria do sensor.	Geração sistemática e distribuição on-line.	27 MB (25x23km ²)
Nível- 1C	Imagem geometricamente corrigida (ortorretificada), com valores de reflectância no topo da atmosfera.	Geração sistemática e distribuição on-line.	500MB (100x100km ²)
Nível -2A	Valores de reflectância na porção inferior da atmosfera, obtidos pelo usuário em modelo de software disponibilizado pela ESA.	Geração pelo usuário (utilizando o Tollbox do Sentinel-2).	600MB (100x100km ²)

Fonte: adaptado de Gomes (2017)

De acordo com a ESA, as imagens do Sentinel-2, sendo o nível 1C disponível para os usuários, é um produto de ortoimagem, isto é, uma projeção em mapa da imagem obtida utilizando um sistema DEM para corrigir distorções geométricas no solo. As medidas radiométricas do pixel são fornecidas na reflectância Topo da Atmosfera (*Top-Of-Atmosphere- TOA*).

O *Digital Numbers* (DN) pode ser definido como a intensidade do pixel e sua amplitude muda de acordo com a resolução radiométrica do sensor. Os níveis

digitais são relacionados com a intensidade da energia radiante refletida através de um modelo linear (calibração).

Os valores físicos derivados dos DN são: radiância e reflectância. As radiâncias representam a energia solar refletida por cada pixel, por unidade de área, de tempo, de ângulo sólido e de comprimento de onda, medidas pelo satélite (*BASTIAANSSEN; MOLDEN; MAKIN, 2000*). Em contrapartida, Pereira; Batista; Roberts, (1996) argumentaram que a reflectância possibilita um melhor monitoramento do comportamento de uma determinada cobertura, uma vez que mudanças na sua resposta espectral estariam relacionadas somente às mudanças nas propriedades estruturais/espectrais da cobertura e não às mudanças no ângulo de iluminação solar ou variações dos sensores (degradação).

A fórmula para conversão dos DN da imagem para valores físicos da reflectância é:

$$Reflectância = \frac{DC}{valorquantificado} \quad (1)$$

Os valores significativos de reflectância das imagens se encontram em 16 Bits, o valor mínimo está situado entre 1 e 65535, com “0” sendo reservado aos sem dados. Os produtos Nível-1C são remodelados com um constante *Ground Sample Distance* (GSD), traduzido para o português distância de amostragem de solo de 10m, 20m e 60m de acordo com a resolução nativa das diferentes bandas espectrais. A projeção final do produto é UTM (WGS 84).

3.3 Índices Espectrais

Um índice espectral é o resultado de operações matemáticas entre valores numéricos de pixels das bandas de uma imagem. Existem os índices de vegetação que realçam o comportamento espectral da vegetação e se correlacionam com os parâmetros biofísicos da vegetação, como biomassa, Índice de Área Foliar (IAF) e percentagem de cobertura vegetal (*EPIPHANIO et al., 1996*).

Para detecção de superfícies hídricas os índices NDWI e MNDWI são recorrentes em estudos para detecção de corpos d’água, e foram os escolhidos para

o desenvolvimento desta pesquisa. O quadro 03 apresenta alguns índices de vegetação presentes na literatura.

Quadro 03: Índices de Vegetação

Nome do Índice	Sigla em inglês	Fórmula	Fonte
Índice de Vegetação de Diferença Normalizada	NDVI	$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{R}}{\text{NIR} + \text{R}}$	ROUSE et al., 1974
Índice de Vegetação Ajustado do Solo	SAVI	$\text{SAVI} = \frac{\text{NIR} - \text{R}}{\text{NIR} + \text{R} + \text{L}} \times (1 + \text{L})$	HUETE, 1988
Índice de Vegetação da Resistência Atmosférica	ARVI	$\text{ARVI} = \frac{\text{NIR} + \gamma(\text{B} - \text{R}) - \text{R}}{\text{NIR} - \gamma(\text{B} - \text{R}) + \text{R}}$	KAUFMAN & TANRÉ, 1992
Índice de Vegetação da Diferença Normalizada do Verde	GNDVI	$\text{GNDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{G}}{\text{NIR} + \text{G}}$	GITELSON et al., 1996
Índice de Vegetação de Razão Normalizada	NRVI	$\text{NRVI} = \frac{(\text{RVI} - 1)}{(\text{RVI} + 1)}$	BARET and GUYOUT, 1991

Fonte: Autora (2019)

3.3.1 Normalized Difference Water Index - NDWI

O Índice de Diferença Normalizada da Água (*Normalized Difference Water Index* – NDWI) assim como o NDVI, está entre os índices radiométricos mais aplicados em estudos ambientais. Existem dois métodos propostos para o cálculo de NDWI. O primeiro método exposto é o proposto por McFeeters (1996), foi concebido visando maximizar a reflectância da água na banda verde e minimizar a reflectância na banda Infravermelho Próximo (DU *et al.*, 2016).

O NDWI (Equação 2), proposto por McFeeters (1996):

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

Onde:

G é a reflectância TOA da banda 03, e

NIR é a reflectância TOA da banda 08 da imagem Sentinel-2 MSI.

O NDWI apresentado por McFeeters foi proposto com o objetivo de analisar e avaliar dados de recursos hídricos, como identificação de cursos d'água (BRENNER & GUASSELLI, 2015), monitoramento de áreas inundadas (MEMON *et al.*, 2015), entre outras aplicações.

O valor resultante do cálculo do NDWI (Equação 02) varia de -1 a 1. O numeral zero foi definido como o limiar. Isto é, o tipo de cobertura é água se $NDWI \geq 0$ e é não água se $NDWI \leq 0$ (BRUBASCHER E GUASSELLI, 2013).

Outro meio de calcular o NDWI é através do método proposto por Gao (1996), que utiliza duas bandas do canal do infravermelho sendo elas :reflectância da banda infravermelho próximo e reflectância da banda Infravermelho de Ondas Curtas. Diferentemente da fórmula de McFeeters (1996), nesta a banda espectral verde é substituída pela banda do infravermelho de Ondas Curtas.

Pereira *et al* (2018) aplicou as duas metodologias existentes para cálculo de NDWI e concluiu que o modelo desenvolvido por McFeeters (1996) é mais satisfatório. Fundamentado na pesquisa supracitada, este estudo utilizará a metodologia de McFeeters (1996) para a aplicação do módulo NDWI.

3.3.2 Modified Normalized Difference Water Index - MNDWI

A Modificação do Índice de Água de Diferença Normalizada (*Modified Normalized Difference Water Index – MNDWI*) foi concebido por Xu (2006), e teve como objetivo minimizar a principal limitação do NDWI, a ineficiência em suprimir o ruído proveniente das características das áreas construídas. Assim, esse índice foi desenvolvido considerando que um corpo hídrico apresenta maior absorção na banda de refletância do infravermelho de ondas curtas se comparado ao da banda do infravermelho próximo, diferentemente das áreas construídas.

O MNDWI (Equação 03), proposto por Xu (2006):

$$MNDWI = \frac{(G-SWIR)}{(G-SWIR)} \quad (3)$$

Onde:

G é a reflectância TOA da banda 03, e

SWIR é a reflectância TOA da banda 11 da imagem Sentinel-2 MSI.

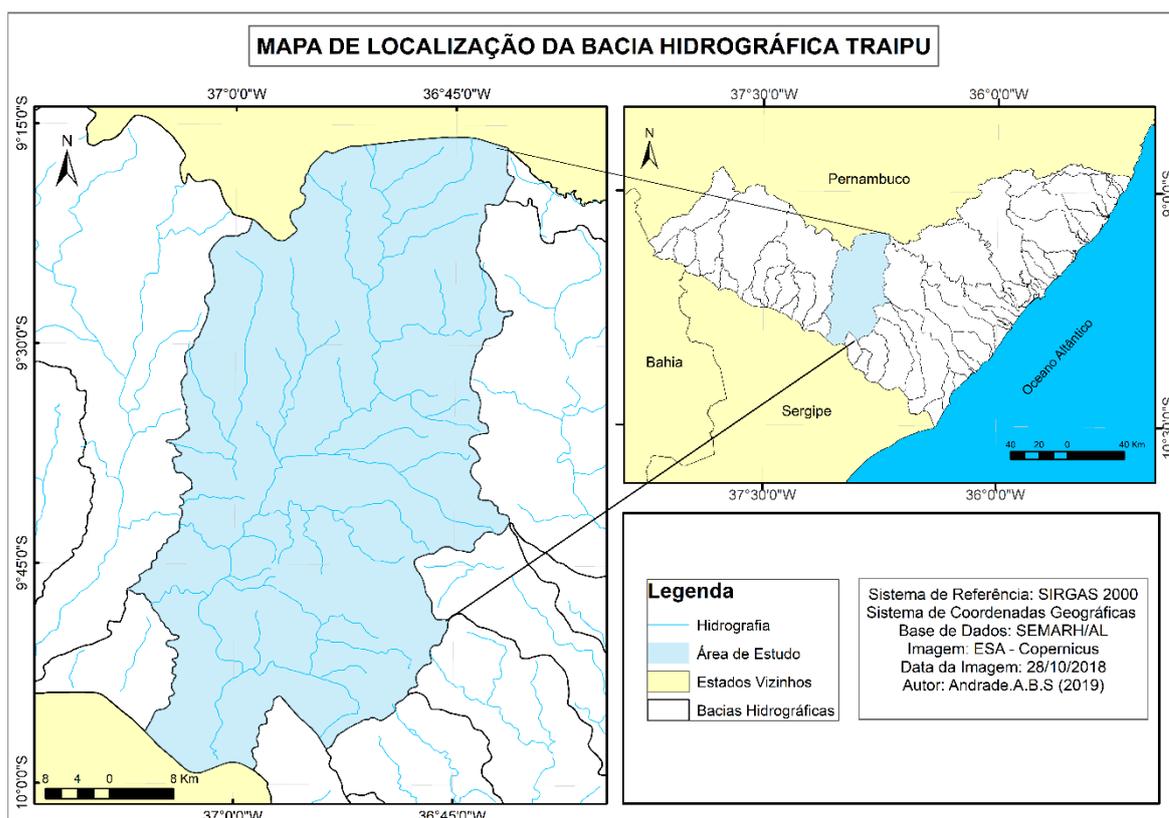
4 METODOLOGIA

4.1 Área de estudo

A Figura 03 da área em estudo situa-se ao centro do Estado de Alagoas e ao sul do Estado de Pernambuco, englobando a bacia do Rio Traipu, afluente da margem esquerda do Rio São Francisco. Esta área limita-se ao norte com a bacia do Rio Ipanema, no Estado de Pernambuco; ao sul com do rio São Francisco, na divisa com o Estado de Sergipe; a oeste com a bacia do rio Ipanema, ainda no Estado de Alagoas; e a leste com a bacia do rio Piauí, também em Alagoas.

Está compreendida entre as coordenadas extremas 9° 00' e 10° 08' de latitude S e 36° 39' e 37°07' de longitude W, e possui uma área total de 2.831 km². envolvendo um total de quinze municípios no conjunto das bacias. O principal acesso à área é feito, a partir de Maceió, pela rodovia BR-104. A Figura 03 apresenta o mapa de localização.

Figura 03 - Mapa de Localização da Área de Estudo



Fonte: Autora, (2019)

4.2 Recursos Materiais

Para o desenvolvimento desta pesquisa foram utilizados os seguintes materiais:

- Imagem do satélite Sentinel-2 data de 28/10/18, órbita 17495, porcentagem de nuvens 0%.
- Software de processamento de dados *ArcGIS* for Desktop, versão 10.2 *Free Trial*;
- Módulo NDWI;
- Módulo MNDWI;
- Shapes da SEMARH;
- Notebook Lenovo Corel i5 7^o geração com placa de vídeo *Nvidia Geforce* de 2GB, memória 8GB e armazenamento de 1TB

Para este trabalho foi utilizada a imagem Sentinel-2-1C adquirida gratuitamente pelo endereço eletrônico <<https://scihub.copernicus.eu/>>. O dado que foi empregado, possui nível 1C de processamento, que conta com a imagem

geometricamente corrigida, valores de reflectância no Topo da Atmosfera (TOA) e resolução espacial de 10, 20 e 60 metros.

A escolha do período para a coleta da imagem se baseou em dois pontos: data e cobertura de nuvens. A data precisava ser a mais recente possível, para de fato atualizar os dados de corpos hídricos, visto que o último dado disponibilizado pela ANA é de 2016, como já esclarecido na justificativa do trabalho, e com uma cena que apresentasse menor valor de cobertura de nuvens. Com isso, a data de aquisição corresponde a 28 de outubro de 2018. O número da órbita de início é 17495. A cena apresentou 0% de cobertura de nuvens, não afetando a área de estudo.

A imagem utilizada foi aprovada em todos os parâmetros de qualidade do produto 1C estabelecido pela ESA, conforme o documento de requisitos da missão Sentinel-2 (ESA, 2010).

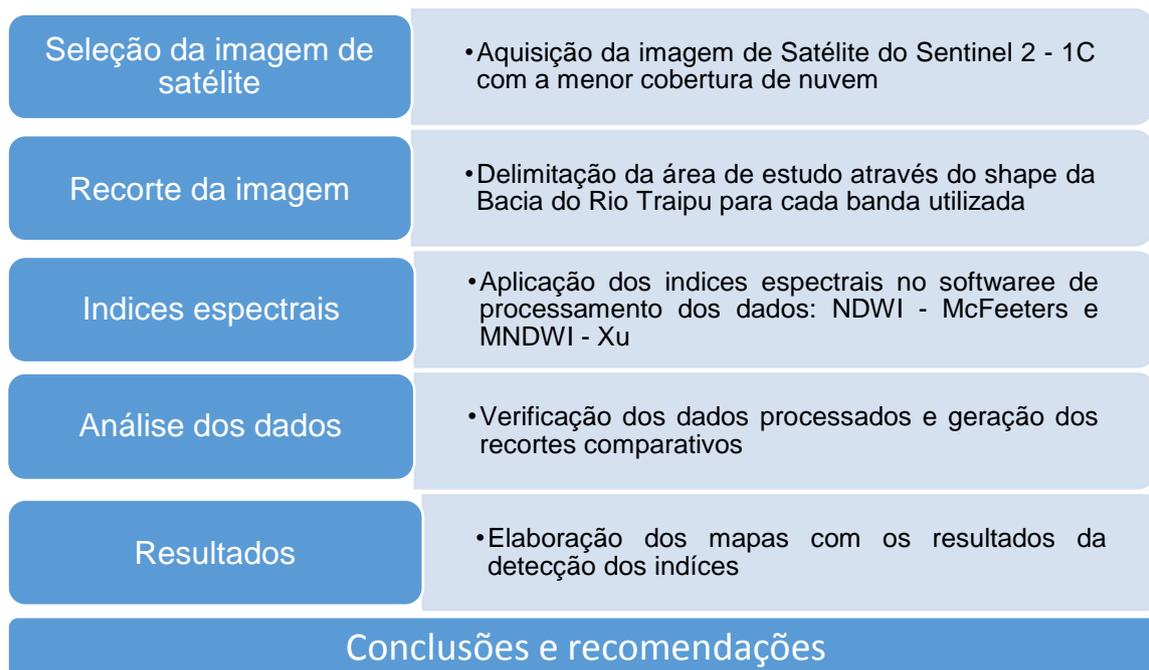
Vale ressaltar que o satélite Sentinel-2 foi escolhido devido a sua alta resolução espacial e gratuidade. Suas imagens tornaram-se gratuitas a partir do ano de 2016, desta forma ele passou a ser o satélite com maior resolução espacial disponibilizado gratuitamente.

Além disso, o sistema *pushbroom* de imageamento do Sentinel-2, e sua área imageadura nadiral, garantem a esse satélite um grande diferencial, pois suas imagens possuem menos erros de distorção óptica do que sistemas tradicionais, como o Landsat 5 TM ou, até mesmo, o *Rapideye* que, para diminuir o tempo de revisita, se utiliza de um imageamento *off nadir*, o que acaba acarretando distorções ópticas (ESA, 2016).

Como as imagens utilizadas neste estudo são um dos produtos do Sentinel-2, elas já passaram por um processo de correção, o que elimina a maior parte do ruído atmosférico incluindo a remoção de nuvens pequenas, e principalmente o *cirrus* (nuvens formadas por partículas de gelo em altas altitudes, com a aparência semelhante a um véu) (ESA, 2016).

4.3 Procedimentos Metodológicos

O fluxo metodológico segue apresentado no Quadro 04.

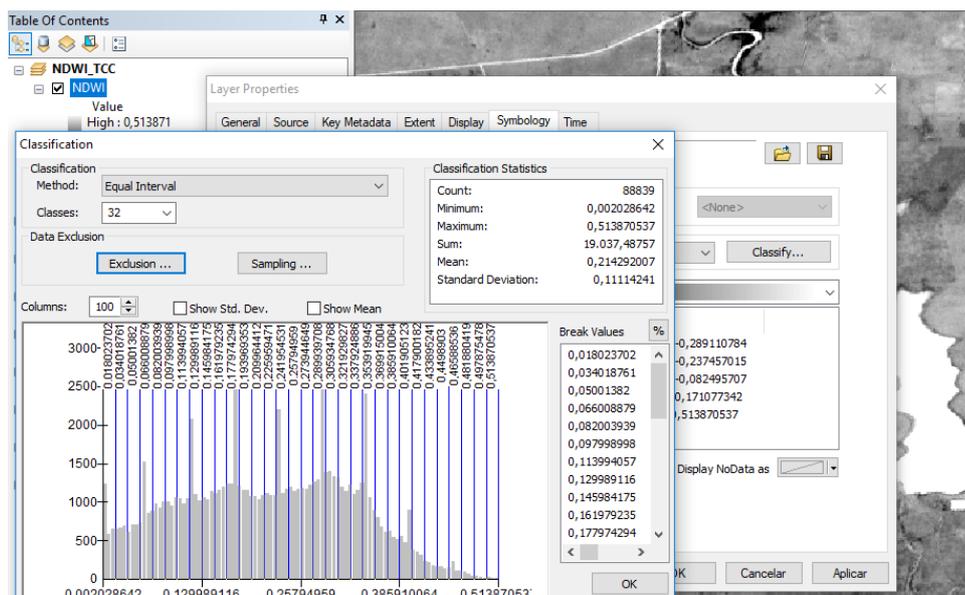


O processamento da imagem e aplicação dos índices foram realizados no software *ArcGIS for Desktop* versão *10.2. free trial*. Uma vez de posse da imagem, as bandas utilizadas para os cálculos dos índices foram recortadas com base no shape de delimitação da bacia do Rio Traipu.

Com as cenas já recortadas, foram calculados o NDWI e MNDWI através das equações 1 e 2 apresentadas nos tópicos 2.3.1 e 2.3.2 deste documento. Para a aplicação das formulas dentro do software foi utilizada a caixa de ferramentas "*Spatial Analyst Tools*", na aba "*Map Algebra*", ferramenta "*Raster Calculator*". Os resultados geraram novos *raster*, os quais foram exportados e salvos no formato ".*tif*"

Para uma melhor visualização dos alvos de água nos índices gerados, as imagens foram fatiadas em 32 classes de níveis de cinza, com intervalos iguais, excluindo os pixels correspondentes a alvos não-água. Este processamento seguiu os seguintes comandos: *Layer Properties - Symbology - Classified - Classify* - seleção do método "*equal interval*" com o maior número de classes possível (32 classes) e exclusão de dados com valor de -1 e 0 (Figura 04). Esse método foi escolhido pela sua simplicidade e transparência no processo de classificação.

Figura 04 - Aplicação do método *Equal Interval*



Fonte: Autora (2019).

Como informação auxiliar para a interpretação dos resultados do NDWI e MNDWI, foram geradas composições de falsa-cor (combinação das bandas infravermelho médio, infravermelho próximo e vermelho). A composição falsa-cor possibilita uma melhor distinção de determinados alvos do que nas bandas individuais em cor preto e branco, possibilitando uma comparação entre os corpos d'água mapeados pelos métodos utilizados e os alvos presentes nas imagens compostas.

Após todo o procedimento, foram gerados os mapas de resultados, com os índices NDWI e MNDWI, os quais podem ser verificados no tópico a seguir.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

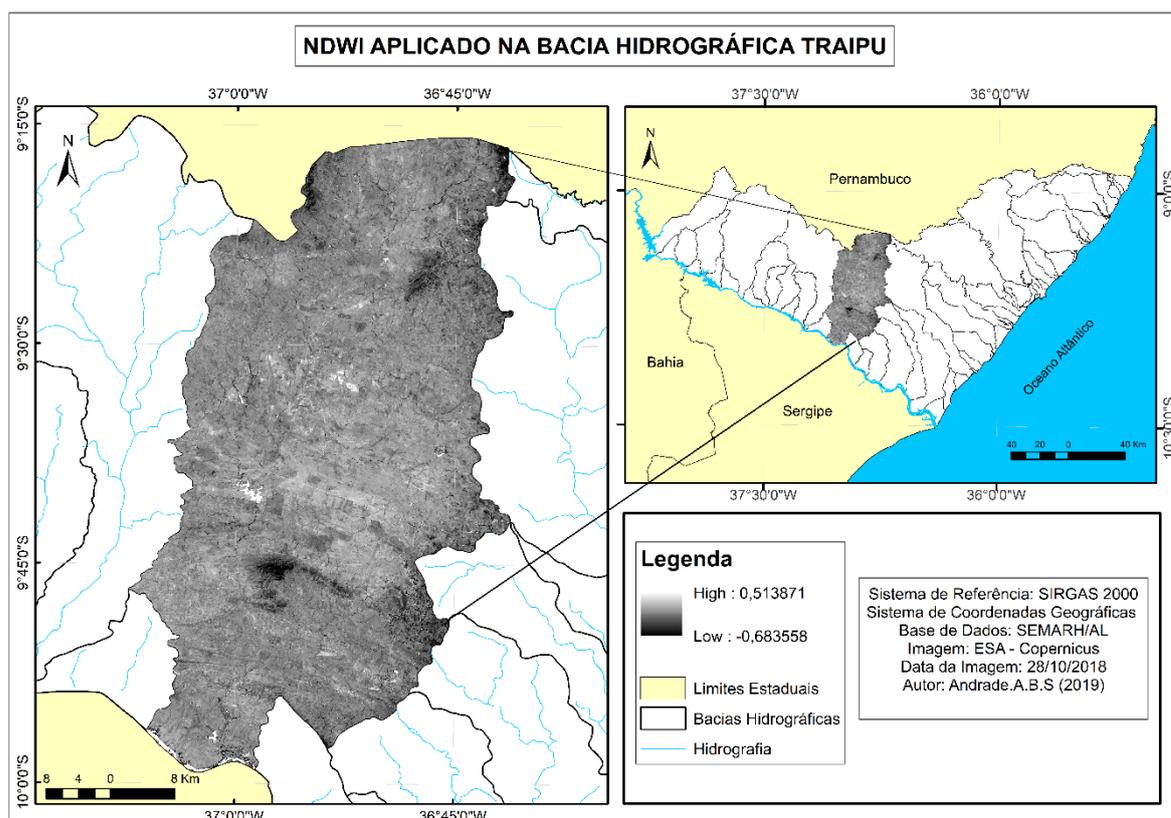
-

Neste tópico serão apresentados os resultados obtidos com os processamentos efetuados, assim com as discussões sobre essas análises.

5.1 Resultados

Como resultado dos processos executados no software foram gerados dois mapas apresentando os índices calculados para bacia de Traipu, como segue apresentado nas Figuras 05 e 06:

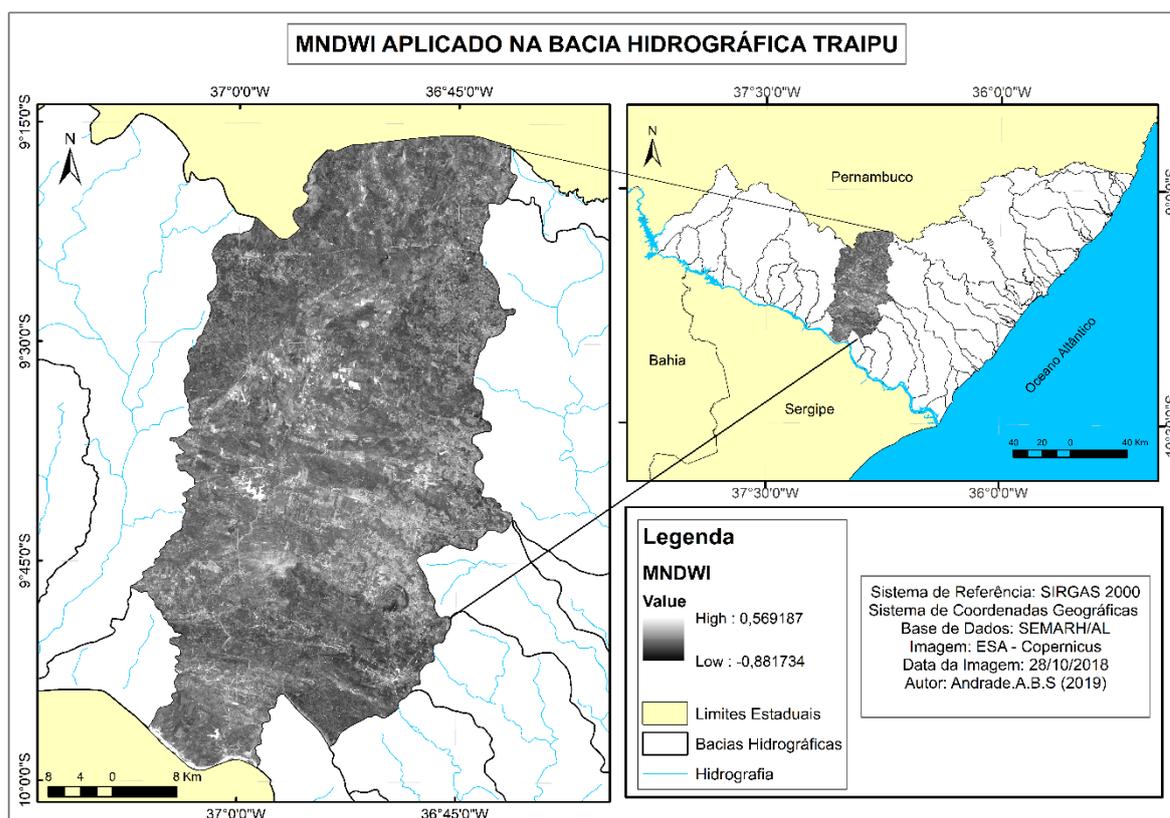
Figura 05 - NDWI aplicado na Bacia Hidrográfica Traipu



Fonte: Autora (2019).

Para produção desse mapa foi feita a classificação dentro do intervalo -1 a 1 conforme McFeetrs (1996). Os resultados obtidos apresentaram valores mínimos e máximos de -0,683558 e 0,513871, respectivamente, como pode ser visto na legenda da imagem 05 (*high* e *low*).

Figura 06 - MNDWI aplicado na Bacia Hidrográfica Traipu



Fonte: Autora (2019)

A composição do mapa para o MNDWI segue o mesmo intervalo de -1 a 1. O que resultou os valores mínimos e máximos de -0,881734 e 0,569187, respectivamente, de acordo com a figura 06 (*low* e *high*).

5.2 Discussões

Para a análise dos resultados ser mais fiel a detecção de superfícies hídricas, foi utilizado os valores obtidos ao executar o procedimento demonstrado no tópico 3.3 – Figura 04, *equal interval*, o qual retorna somente valores acima de zero, que indica, de fato, a classe água, acelerando, dessa forma, o processo de identificação somente dos corpos hídricos.

O quadro 05 apresenta os valores de resposta dos índices.

Quadro 05
resposta dos
identificação de

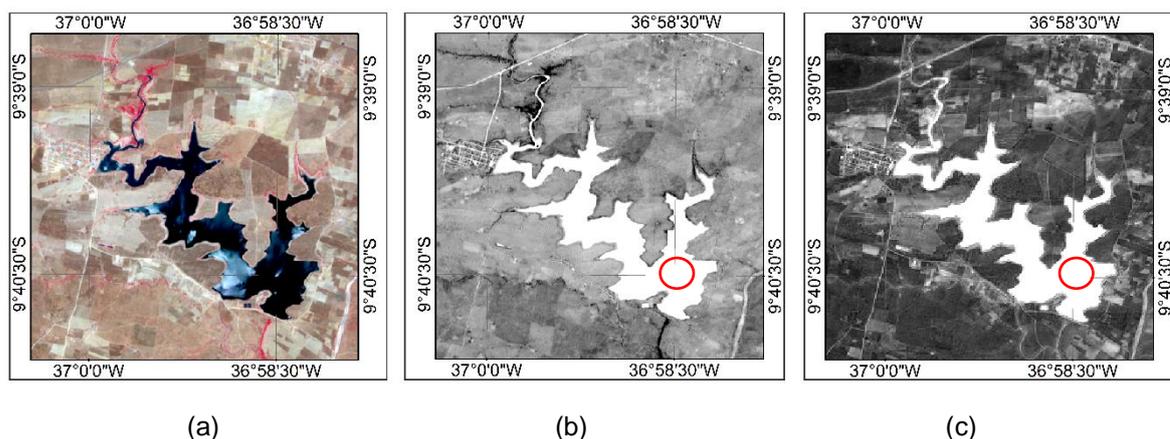
Índices	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
NDWI	0,0020	0,5138	0,2115	0,1101
MNDWI	0,0001	0,5691	0,2497	0,1291

- Valores de
índices para
superfície hídrica.

Fonte: Autora (2019).

Com os resultados obtidos foram feitas comparações dos produtos, como podemos verificar através dos recortes extraídos das imagens e apresentados nas Figuras 07 e 08.

Figura 07: Comparação dos resultados obtidos, (a) composição falsa-cor, (b) NDWI, e (c) MNDWI.



Fonte: Autora (2019)

A Figura 7(a) apresenta a composição falsa-cor, nela podemos observar o comportamento do pixel de água no reservatório, que, em uma aplicação de análise de classificação não supervisionada poderia se confundir com outras características da imagem.

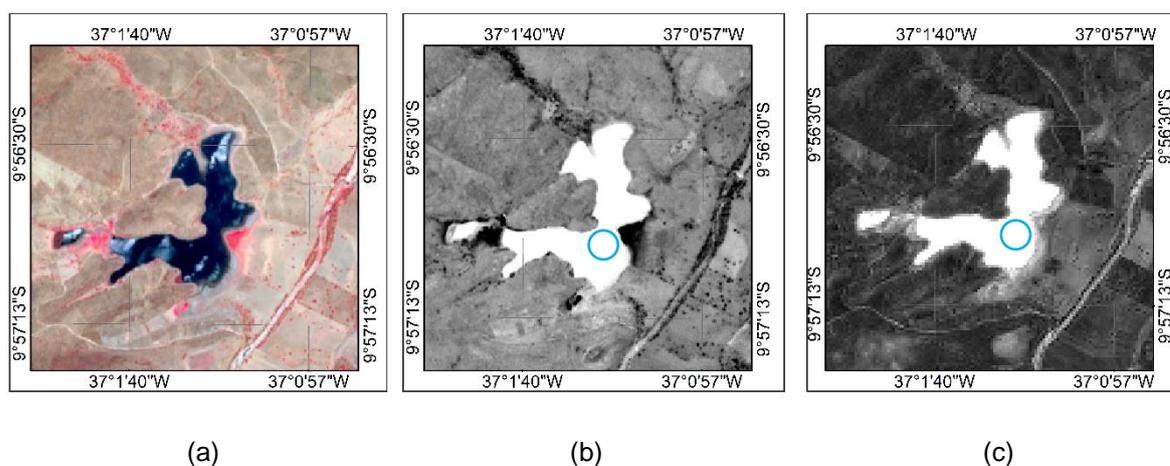
A cor branca presente na figura 7(b e c) indica corpos d'água, em 7 (b) temos a classificação do NDWI, e em 7 (c) o MNDWI. Ao observar o resultado do processo em 7(b e c) podemos ver o que índice de fato elimina a confusão dos pixels identificados na composição falsa-cor (7a) e detecta o corpo d'água.

Nas Figuras 7(b) e 7(c) podemos observar um destaque em vermelho, os valores de pixel apresentados nessa mostra apresentam a média de 0,24 e 0,38 para NDWI e MNDWI, respectivamente. Segundo a fórmula de Xu (2006), os valores

do pixel, quanto mais próximos de 1, representam uma melhor resposta na identificação de superfície hídrica. Baseado nessa afirmação, podemos constatar que o módulo MNDWI apresentou-se mais satisfatório que o NDWI, quanto a detecção de espelhos d'água.

. Para reafirmar as análises acima, foi escolhida uma nova área para comparar os índices NDWI e MNDWI e comprovar a veracidade dos resultados obtidos.

Figura 08: Comparação dos resultados obtidos, (a) composição falsa-cor, (b) NDWI, e (c) MNDWI.



Fonte: Autora, (2019).

Podemos observar na Figura 8 (a), que mostra a composição falsa-cor, há confusão no comportamento do pixel de água no reservatório. Ao comparar com o resultado do processo de NDWI e MNDWI exibidos na figura 8 (b) e 8 (c), respectivamente, analisamos que o conflito é eliminado. Fica comprovado que os índices conseguem detectar os corpos d'água, independente das distorções da imagem.

Os valores de pixel NDWI e MNDWI extraídos das amostras destacados em azul nas imagens, apresentam, respectivamente, a média de 0,16 e 0,30. Desta forma, reafirmamos a preferência da aplicação do índice MNDWI em comparação ao NDWI para detecção de espelhos d'água, tendo apresentado quase o dobro do valor de resposta espectral.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste trabalho foram aplicados dois métodos para detecção de corpos d'água utilizando imagem SENTINEL-2: o NDWI e MNDWI.

Os índices espectrais mostraram-se satisfatórios para atualização de superfícies hídricas, conforme comprovado em dois reservatórios pertencentes a bacia hidrográfica Traipu, também, através da composição falsa-cor.

O módulo MNDWI apresentou-se superior ao NDWI em relação a resposta do valor do pixel de água, com média geral de 0,2497 contra 0,2142, respectivamente, o que confirma que a metodologia estudada pode ser replicada para a atualização dos espelhos d'água das bacias hidrográficas de todo o estado de Alagoas.

Os resultados gerados apresentam-se em formato raster, e podem ser classificados e transformados em arquivos vetoriais, possibilitando a quantificação dos espelhos d'águas.

Diante das análises dos resultados, e com a comprovação da superioridade do módulo MNDWI sobre o NDWI para detecção de corpos d'águas, recomenda-se:

- ✓ Baixar imagem do satélite Sentinel 2 – 1C com recobrimento de todo o estado de Alagoas;
- ✓ Aplicar o módulo MNDWI para atualizar as informações de corpos hídricos de todo o território estadual;
- ✓ Detectar corpos hídricos que configurem reservatórios de barragens;
- ✓ Cruzar com os dados de barragens da SEMARH, com intuito de identificar barragens irregulares;
- ✓ Fiscalizar as barragens irregulares na intenção de monitorar as obras hídricas e auxiliar no Plano de Ação Emergencial contra rompimento de barragens.

REFERÊNCIAS

- Agência brasileira quer verba privada em satélite geoestacionário. **Folha de S.Paulo**, São Paulo, 20 de jul. de 2009. Disponível em: <<https://m.folha.uol.com.br/ciencia/2009/07/597444-agencia-brasileira-quer-verba-privada-em-satelite-geoestacionario.shtml>>. Acesso em: 20 de jul. de 2019.
- BASTIAANSSEN, W. G. M.; MOLDEN, D. J.; MAKIN, I., W. Remote sensing for irrigated agriculture: examples from research and possible applications. **International Water Management**, Sri Lanka, Colombo, v. 46, p. 137-155, 2000.
- BERTUCINI JUNIOR, J. J. Detecção em alvos agrícolas e florestais empregando índices de vegetação em uma série multitemporal de imagens Landsat. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, n. 6, p.1009-1018, Ago. 2017. ISSN: 1808-0936.
- BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Política Nacional de Recursos Hídricos**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm>. Acesso em: 20 de Jul.2019.
- BRENNER, V. C.; GUASSELLI, L. A. 2015. Índice de diferença normalizada da água (NDWI) para identificação de meandros ativos no leito do canal do rio Gravataí/RS– Brasil. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR**, 17, João Pessoa- PB, Brasil, 2015, Anais, 25: 3693-3699.
- BRUBASCHER, J. P.; GUASSELLI, L. A. Mapeamento da área inundável da planície do rio dos Sinos a partir do índice NDWI, São Leopoldo-RS. **XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Anais. Foz do Iguaçu: INPE, p. 4540-4547, 2013.
- CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M.; DAVIS, C. **Geoprocessamento: teoria e aplicações**. S. J. Campos: INPE, 2001. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acessado em: 20 de jul. 2019.
- DU, Y.; ZHANG, Y.; LING, F.; WANG, Q.; LI, W.; & LI, X. (2016). Water bodies' mapping from Sentinel-2 imagery with Modified Normalized Difference Water Index at 10-m spatial resolution produced by sharpening the SWIR band. **Remote Sensing**, 8(4). Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs8040354>. Acessado em: 20 de Jul de 2019.
- EPIPHANIO, J. C. N.; GLERIANI, J. M.; FORMAGGIO, A. R.; RUDORFF, B. F. T. Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 31, n. 6, p. 445-454, 1996.

ESA – European Space Agency. **Sentinel-2 User Handbook**. ESA Standard Document. 64p. 2015. Disponível em: <https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook> Acesso em: 20 Jul. 2019.

FAUSTINO, J. **Planificación y gestión de manejo de cuencas**. Turrialba: CATIE, 1996. 90p.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. Oficina de textos, São Paulo, 2008.

FLORENZANO, T. G. **Imagem de satélite para estudos ambientais**. Ed. São Paulo, Oficina de Textos, 2002.

FRAZIER, P. S.; PAGE, K. J. Water body detection and delineation with Landsat TM data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 66, pp. 1461–1467, 2000.

GAO, B. C. NDWI – A Normalized Difference Water Index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, v.58, p.257-266, 1996

GOMES, D. F. Uso de imagens Sentinel-2 na identificação de áreas com infestação do capim-anão-2 no complexo eólico Cerro Chato, Santana do Livramento, RS. **Dissertação (Mestrado)** - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Programa de Pós- Graduação em Sensoriamento Remoto, Porto Alegre, BRRS, 2017.

JENSEN, J. R. (2009) **Sensoriamento remoto do ambiente: Uma perspectiva em recursos terrestres**. Parêntese, São José dos Campos, 598 p.

KNIGHT, A. W.; TINDALL, D. R.; WILSON, B. A. A multitemporal multiple density slice method for wetland mapping across the state of Queensland, Australia. **International Journal of Remote Sensing**, v. 30, n. 3, pp. 3365-3392, 2009.

LEMMENS, Mathias. Sentinel-2A in Orbit: An Overview of the Features of the European Sentinel Family. **GIM Internacional**. Disponível em: <<https://www.gim-international.com/content/article/sentinel-2a-in-orbit>>. Acesso em: 20 de jul. de 2019.

LILLESAND, K. R. W. Remote Sensing and Image Interpretation. **Geological Magazine**, v. 132, n. 2, p. 248–249, 1 mar. 1995.

MARGALEF, R. **Limnologia**. Barcelona: Ediciones Omega S.A, 1983.

MARTINS, F. B. et al. Zoneamento Ambiental da sub-bacia hidrográfica do Arroio Cadena, Santa Maria (RS). Estudo de caso. **Cerne**, Lavras, v.11, n.3, p.315-322, jul./set. 2005.

MCFEETERS, S. K. The use of normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal of Remote Sensing**, 7, pp. 1425–1432, 1996.

MEMON, A. A.; MUHAMMAD, S.; RAHMAN, S., HAQ, M. Flood monitoring and damage assessment using water indices: A case study of Pakistan flood-2012. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, 18(1): 99-106. 2015.

MORAES, R. M. DE. **Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto 1999**. Disponível em: <<http://www.de.ufpb.br/~ronei/procimagem/>> Acesso em: 20 jul. 2019.

OUMA, Y. O; TATEISHI, R. A water index for rapid mapping of shoreline changes of five East African Rift Valley lakes: an empirical analysis using Landsat TM and ETM+ data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, n. 15, pp. 3153-3181, 2006.

PENA, D. S.; COSTA, F. R.; CASAROLI, D.; EVANGELISTA, A. W. P.; SILVA, L. V. Morpho physiographic characterization of the Samambaia creek's watershed, Goiânia- GO. **Científica**, v. 43, n. 3, p. 197-202, Fev. 2015.

PEREIRA, J. L. G.; BATISTA G.T.; ROBERTS D. Reflectância de Coberturas Vegetais na Amazônia. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 8, Salvador, 1996. Resumos expandidos, São José dos Campos, INPE, p. 551-556.

SILVA, A. M. **Princípios Básicos de Hidrologia**. Departamento de Engenharia. UFLA. Lavras - MG. 1995.

SILVA, C. B.; PONTES, D. S.; CABRAL, J. F. Geotecnologias Aplicadas aos Estudos de Bacias Hidrográficas. **Anais do XVIII Encontro Nacional dos Geógrafos**. 2016. São Luís –MA, Brasil. ISBN 978-85-99907-07-8. Disponível em: <http://www.eng2016.agb.org.br/resources/anais/7/1468261539_ARQUIVO_Artigo-ENG-1.pdf>. Acessado em: 21 de jul. 2019.

TUCCI, C. E. **Impactos da variabilidade climática e uso do solo sobre os recursos hídricos. Brasília.** ANA, 2002. 150 p. Disponível em:<<https://www.cepal.org/samtac/noticias/documentosdetrabajo/6/23336/InBr02902.pdf>>. Acessado em: 20 de Jul 2019. apud MOREIRA, A. N. H. Uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do córrego samambaia por meio de imagens de diferentes sensores orbitais. **Agrarian Academy**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.5, n.9; p. 444-453 2018. DOI: 10.18677/Agrarian_Academy_2018a44.

TUNDISI, J. G; STRASRABAS, M. Strategies for building partnerships in the context of river basin management: the role ecotechnology and ecological engineering. **Lake and Reservoirs: Research and Management**, v. 1, p. 31-8, 1995

XU, H. Modification of normalized difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, n. 14, pp. 3025-303.