

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

MARCELA NISHINA DE AZEVEDO

**DETERMINAÇÃO DA ÁREA EFETIVAMENTE INUNDADA DURANTE O EVENTO
EXTREMO DE 2017, NO MUNICÍPIO DE ITAQUI, RS, ATRAVÉS DE TÉCNICAS
DE SENSORIAMENTO REMOTO**

Itaqui - RS

2019

MARCELA NISHINA DE AZEVEDO

**DETERMINAÇÃO DA ÁREA EFETIVAMENTE INUNDADA DURANTE O EVENTO
EXTREMO DE 2017, NO MUNICÍPIO DE ITAQUI, RS, ATRAVÉS DE TÉCNICAS
DE SENSORIAMENTO REMOTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharela em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Orientador: Sidnei Luís Bohn Gass

**Itaqui - RS
2019**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

A994d Azevedo, Marcela Nishina de
Determinação da área efetivamente alagada durante o evento
extremo de 2017, no município de Itaqui, RS, através de
técnicas de sensoriamento remoto / Marcela Nishina de Azevedo.
34 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, ENGENHARIA CARTOGRÁFICA E DE AGRIMENSURA,
2019.

"Orientação: Sidnei Luís Bohn Gass".

1. Sensoriamento Remoto. 2. Inundação. 3. índices
espectrais. 4. Landsat 8. I. Título.

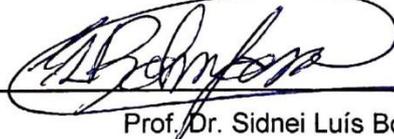
MARCELA NISHINA DE AZEVEDO

**COMPARAÇÃO DE DIFERENTES ÍNDICES PARA O MAPEAMENTO DA ÁREA
EFETIVAMENTE ALAGADA NO EVENTO EXTREMO DE 2017 PARA O
MUNICÍPIO DE ITAQUI –RS**

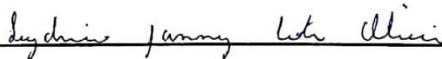
Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Cartográfica e de Agrimensura da
Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título
de Bacharela em Engenharia Cartográfica
e de Agrimensura.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 9, dezembro de 2019.

Banca examinadora:



Prof. Dr. Sidnei Luís Bohn Gass
Orientador
UNIPAMPA – Itaqui – RS



Prof. Dr. Leydimere Janny Cota Oliveira
UNIPAMPA – Itaqui - RS



Prof. Me. Leonard Niero da Silveira
UNIPAMPA – Itaqui - RS

AGRADECIMENTO

Agradeço a Deus e a Nossa Senhora Aparecida, antes de tudo, por me dar saúde, guiar e abençoar nessa caminhada, a São Miguel Arcanjo e meu anjo da guarda, que certamente tiveram muito trabalho.

Agradeço a todos que sempre estiveram comigo, me apoiando, dando forças para não desistir e aos que de alguma forma contribuíram para que eu chegasse até aqui: meus pais Rosana e Nishina, minha irmã Fernanda (Fefê) e meu cunhado Matheus, minha amada avó Sakae (Ne) e meu saudoso avô Waldomiro (in memoriam), meus amigos de Piquete: Ana Cristina, Miguel (Ju) e Luana e a todos os amigos e colegas que conquistei em Itaquí, em especial a Evelyn, Gregory, Guilherme e Raisso, que farão falta nos meus dias.

Ao professor Sidnei que aceitou a tarefa de ser meu orientador, com muita paciência e dedicação e a todos os professores pelos ensinamentos e conselhos, principalmente aos que me inspiraram e foram exemplos: professora Janny, professor Geraldo (in memoriam) e professor Romeu (in memoriam).

“Que nada renasce antes que se acabe
E o sol que desponta tem que anoitecer”.

Antônio Pecci Filho (Toquinho)

RESUMO

As técnicas de processamento de imagens de satélite vêm colaborando para a detecção de áreas de inundações. Este trabalho objetivou determinar a área efetivamente alagada no evento extremo de 2017, para o território do município de Itaqui-RS, com o uso de técnicas de sensoriamento remoto, comparando diferentes índices. Foram utilizados dados de precipitação e nível dos anos de 2016 e 2017 a fim de comprovar a maior cota e demonstrar que não houve uma chuva que interferisse no nível do rio, bem como imagens do satélite Landsat-8 das datas de oito de Junho de 2016 e 11 de Julho de 2017 para a o cálculo e comparação dos índices NDVI, NDWI, MNDWI e NDPI. Foi verificado que os índices MNDWI e NDPI tiveram diferença mínima nos valores de área efetivamente alagada, enquanto o NDVI teve a maior discrepância, sendo possível afirmar que o uso dessa técnica é eficiente, tendo como índices indicados o MNDWI e NDPI, pelo bom contraste, tanto dos corpos d'água quanto da vegetação, contribuindo para a identificação dos mesmos.

Palavras-Chave: Inundação. Índices Espectrais. Landsat 8.

ABSTRACT

Satellite image processing techniques have been contributing to the detection of flood areas. This study aimed to determine the area effectively flooded in the extreme event of 2017, for the territory of the municipality of Itaqui-RS, using remote sensing techniques, comparing different indices. Usage and level data for the years 2016 and 2017 were used to prove the highest quota and demonstrate that there was no rainfall that interfered with the river level, as well as images from the Landsat-8 satellite from the 8th June 2016 and 11th July 2017 for the calculation. and comparison of NDVI, NDWI, MNDWI and NDPI indices. It was verified that the MNDWI and NDPI indices had minimal difference in the values of effectively flooded area, while the NDVI had the largest discrepancy, being possible to affirm that the use of this technique is efficient, having as the indicated indices the MNDWI and NDPI, for the good contrast, both bodies of water and vegetation, contributing to their identification.

Keywords: Inundation. Spectral Indices. Landsat 8.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Áreas inundadas em 2017 e comparativo com o rio no leito normal	14
Figura 2 - Localização da área de estudo.....	20
Figura 3 - Média do Nível do Rio x Média da Chuva (2017).	21
Figura 4 - Média do Nível do Rio x Média da Chuva (2016).	21
Figura 5 - Composições coloridas 654 de imagem do satélite Landsat-8, de 08 de junho de 2016.	23
Figura 6 - Composições coloridas 654 de imagem do satélite Landsat-8, de 11 de junho de 2017.	23
Figura 7 - Índice espectral NDWI da área efetivamente alagada.....	24
Figura 8 - Índice espectral MNDWI da área efetivamente alagada.....	25
Figura 9 - Índice espectral NDVI da área efetivamente alagada.....	25
Figura 10 - Índice espectral NDPI da área efetivamente alagada.....	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – – Área efetivamente alagada.....	26
Tabela 2 – Área efetivamente alagada.....	27

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS.....	12
3 REVISÃO DE LITERATURA	13
3.1 Enchentes e Inundações	13
3.2 Sensoriamento Remoto e Análise Ambiental	14
3.3 Programa Landsat	15
3.4 Índices de Vegetação.....	17
4 MATERIAIS E MÉTODOS	19
4.1 Dados Meteorológicos	20
4.2 Índices	22
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
6. CONCLUSÃO	27
7. REFERÊNCIAS.....	29

1 INTRODUÇÃO

As inundações são causadas por meio da dinâmica natural dos cursos de água, e são capazes de provocar alguns dos principais desastres que acometem frequentemente diversas cidades no mundo. Muitas dessas cidades tiveram seu desenvolvimento às margens de rios e arroios, sendo recorrentes nos noticiários as graves consequências causadas pela elevação dos cursos de água. O crescimento irregular das cidades, principalmente em áreas de planície de inundação, contribui para que esses eventos aumentem a vulnerabilidade da população e consequentemente os riscos, já que muitas vezes ocorrem danos sociais e materiais (BRUBACHER, 2016).

As enchentes são fenômenos naturais que só são consideradas desastres quando atingem uma comunidade. Elas ocorrem por todo o mundo, tanto em países desenvolvidos quanto em desenvolvimento. . Robaina & Trentin (2013) afirmam que a única diferença é o tipo de perda: nos países desenvolvidos, as perdas são principalmente materiais e econômicas, enquanto nos países pobres, em função da maior vulnerabilidade da população, vidas são perdidas. Segundo Guasselli *et al.* (2013) as inundações são causadas por precipitações anômalas que extravasam a capacidade de recepção dos corpos hídricos (rios, lagoas, lagunas, etc.), fazendo com que a água transborde para as áreas adjacentes, causando danos.

Na tentativa de sanar essa vulnerabilidade são feitos estudos para identificar áreas de risco, com dados de diferentes fontes e áreas científicas. Segundo Brubacher (2016), diversos pesquisadores vêm utilizando técnicas de Sensoriamento Remoto para investigar, diagnosticar, modelar e mapear inundações, entre os quais Reichenbach (1998), Collishon (2001), Sanyal *et al.* (2004), Oliveira (2010), Mizuochi *et al.* (2014) e Reager *et al.* (2015).

Segundo Sausen & Narvaes (2013) o uso de geotecnologias para o estudo e monitoramento de inundações possibilita que:

Sejam identificadas e mapeadas as planícies de inundação e outras áreas sujeitas à inundação; ocorra o monitoramento da inundação; seja realizado o mapeamento, caracterização e cálculo da área inundada; seja realizada a avaliação do impacto causado por este tipo de desastres; ocorra o planejamento integrado para a prevenção e redução dos impactos causados por inundações; seja realizada a avaliação dos danos ambientais

provocados por inundações; sejam elaborados os mapas da frequência e altura da inundação.

Os dados fornecidos por satélites de sensoriamento remoto têm sido amplamente utilizados para a identificação, o mapeamento e o monitoramento de áreas de risco ou de desastres ambientais. Podem ser classificados, entre outros aspectos, como de baixa, média ou alta resolução espacial, que permitem avaliar cada situação conforme as suas características ambientais (ROBAINA & TRENTIN, 2013).

Diante disso, o uso de técnicas de processamento de imagens de satélite, como aplicação de índices físicos (NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index* - índice da Diferença Normalizada de Vegetação, NDPI - *Normalized Difference Pond Index* - índice da Diferença Normalizada de Corpos d'água, NDWI - *Normalized Difference Water Index* - Índice da Diferença Normalizada de Água), transformação por principais componentes, auxiliam na detecção de informações acerca de determinadas áreas que muitas vezes não são perceptíveis numa imagem sem processamento (MOURA *et al.*, 2017). De acordo com os mesmos autores, o NDVI é um indicador de vegetação e o NDWI é um índice desenvolvido para realçar corpos de água e eliminar a influência do solo na vegetação.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral do presente trabalho é determinar a área efetivamente alagada no evento extremo de 2017, para o território do município de Itaqui, RS, com o uso de técnicas de sensoriamento remoto.

Foram definidos os seguintes objetivos específicos para o presente estudos:

Comparar diferentes índices para a definição do cálculo da área efetivamente inundada;

Vincular as imagens de satélite aos dados pluviométricos e fluviométricos.

3 REVISÃO DE LITERATURA

A pesquisa exige do pesquisador métodos e técnicas de intervenção científicas para que o mesmo não elabore conclusões equivocadas, precipitadas sem uma análise minuciosa das informações ou dados que ele coleta. Pois essas informações serão a fonte para que o investigador apresente explicações ou repostas para sua inquietação. (Silva *et al.*, 2016). Visando aprofundar o conhecimento sobre o assunto, serão abordados tópicos como enchentes e inundações, sensoriamento remoto e análise ambiental, programa Landsat e índices de vegetação.

3.1 Enchentes e Inundações

As inundações são causadas por precipitações anômalas que extravasam a capacidade de recepção dos corpos hídricos (rios, lagoas, lagunas, etc.), fazendo com que a água transborde para as áreas adjacentes, causando danos (GUASSELLI *et al.*, 2013). Da mesma forma como Castro (2007), o presente estudo considera enchente e inundação gradual como sinônimos, situação em que as “águas elevam-se de forma paulatina e previsível, mantêm-se em situação de cheia durante algum tempo e, a seguir, escoam gradualmente”.

De acordo com Sausen & Novares (2015) as inundações são o tipo de desastre que mais ocorre no mundo, e também o que causa mais perdas, sendo um evento natural e que é igualada ou excedida a cada 2,33 anos, de acordo com a análise estatística da média anual.

Reckziegel & Robaina (2007) apontam mais de 25 eventos registrados entre 1980 e 2005 nos municípios que margeiam o rio Uruguai. Muitas cidades ribeirinhas desse rio, já perderam centenas de moradias que ficaram submersas, assim como houve destruição de lavouras, estradas e pontes. Na Figura 1 é possível observar a inundação ocorrida em 2017, em Itaqui – RS, e seu comparativo com período em que o rio estava em seu leito normal.

Figura 1 – Áreas inundadas em 2017 e comparativo com o rio no leito normal.

Área inundada



Área não inundada



Fonte: As fotografias do ano de 2017 foram disponibilizadas pelo site Itaqui na Rede, fundador: Paulo Rocha. As fotografias da área não inundada são da autora, tiradas em 01/12/2019.

Os eventos mencionados ocorrem em função do aumento do nível do rio, em eventos de chuva extrema, atingindo a população ribeirinha, porém é um fato natural e ocorre devido às ações descritas por Tucci (2007, a saber):

no Plano Diretor Urbano da quase totalidade das cidades brasileiras, não existe nenhuma restrição quanto ao loteamento de áreas de risco de inundação, a sequência de anos sem enchentes é razão suficiente para que empresários loteiem áreas inadequadas;
 invasão de áreas ribeirinhas, que pertencem ao poder público, pela população de baixa renda;
 ocupação de áreas de médio risco, que são atingidas com frequência menor, mas que quando o são, sofrem prejuízos significativos.

3.2 Sensoriamento Remoto e Análise Ambiental

O termo sensoriamento remoto apareceu pela primeira vez na literatura científica em 1960 e significava simplesmente a aquisição de informações sem

contato físico com os objetos. Desde então esse termo tem abrigado tecnologia e conhecimentos extremamente complexos derivados de diferentes campos que vão desde a física até a botânica e desde a engenharia eletrônica até a cartografia (NOVO & PONZONI, 2001). Segundo Meneses & Almeida (2012) Sensoriamento Remoto é uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres.

O sensoriamento remoto é uma ferramenta de obtenção de dados da superfície terrestre, que constitui uma importante técnica para o monitoramento sistemático ambiental. Essa ferramenta assume um papel importante no monitoramento e na estimativa dos diversos fenômenos meteorológicos e ambientais (MOREIRA, 2003). A aplicação do sensoriamento remoto tem como recorrência a utilização dos Índices de Vegetação; medidas radiométricas que indicam a quantidade e atividade da vegetação verde (JENSEN, 2009).

Os diferentes sensores têm diferentes objetivos no que diz respeito à captação das ondas eletromagnéticas em diferentes frequências (ou comprimentos de onda) (PINTO, 2001). Para cada objetivo de observação existe um tipo de sensor, como, por exemplo, as indicações feitas pela EMBRAPA (2013): o uso do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), do satélite TERRA para detecção e mapeamento de queimadas, e o uso do sensor TM (*Thematic Mapper*) dos satélites LANDSAT-4 e LANDSAT-5 para trabalhos especializados em recursos naturais.

3.3 Programa Landsat

A série teve início na segunda metade da década 60, a partir de um projeto desenvolvido pela Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA), sendo dedicado exclusivamente à observação dos recursos naturais terrestres. De lá até hoje foram lançados 8 satélites da série, todos com imagens multiespectrais (INPE).

A partir do lançamento da nova série de satélites Landsat em 11 de fevereiro de 2013, denominado Landsat-8 OLI (*Operation Land Imager*), estão à disposição novas possibilidades para a pesquisa no que diz respeito à produção de dados e informações espaciais. Os novos sensores OLI e TIRS (*Thermal Infrared Sensor*),

agregaram melhorias na resolução espectral, causando mudanças nos intervalos espectrais dos canais de todas as bandas (SOARES *et al.* 2015).

No Quadro 1 é possível verificar o comparativo entre os sensores da constelação Landsat, sob o aspecto das suas características espectrais, radiométricas e espaciais.

Quadro 1 – Características dos sensores da constelação Landsat.

Sensor	Satélite	Bandas	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Radiométrica
TM	Landsat 4 Landsat 5	B1	0.45-0.52 μm	30 m	8 bits
		B2	0.52-0.60 μm		
		B3	0.63-0.69 μm		
		B4	0.76-0.90 μm		
		B5	1.55-1.75 μm	120 m	
		B6	10.4-12.5 μm	30 m	
		B7	2.08-2.35 μm		
ETM	Landsat 6	B1	0.45-0.52 μm	30 m	8 bits
		B2	0.52-0.60 μm		
		B3	0.63-0.69 μm		
		B4	0.76-0.90 μm		
		B5	1.55-1.75 μm	120 m	
		B6	10.4-12.5 μm	30 m	
		B7	2.08-2.35 μm	15 m	
		B8	0.52-0.90 μm		
OLI	Landsat 8	B1	0.45-0.52 μm	30 m	12 bits
		B2	0.52-0.60 μm		
		B3	0.63-0.69 μm		
		B4	0.76-0.90 μm		
		B5	1.55-1.75 μm		
		B6	10.4-12.5 μm		
		B7	2.08-2.35 μm	15 m	
		B8	0.52-0.90 μm	30 m	
		B9	1.36-1.39 μm		

Fonte: EMBRAPA.

3.4 Índices de Vegetação

As imagens de sensores remotos, além do papel fundamental que possuem na visualização de grandes áreas e da facilidade que empregam à classificação de uso e cobertura do solo, possuem armazenados em seus pixels valores digitais dos quais se podem extrair diversos tipos de dados e análises, como por exemplo, os índices de vegetação (OLIVEIRA & FREITAS, 2015).

De acordo com Feitosa *et al.* (2004), a utilização de índices de vegetação, que são operações aritméticas de bandas, gerados de dados de sensoriamento remoto, constitui uma importante estratégia para o monitoramento das alterações naturais, ou produzidas pelo homem, nos ecossistemas. Os modelos de índices de vegetação foram desenvolvidos com o objetivo de estudar quantitativamente e qualitativamente o estado de vigor da vegetação através de canais espectrais apropriados à observação da vegetação à superfície.

No caso das áreas úmidas, os índices derivados de diferentes bandas espectrais por operações aritméticas, nem sempre detectam de maneira clara o alvo desejado, pois estes ambientes possuem uma grande dinâmica em sua biodiversidade e possuem grande heterogeneidade. Portanto, para cada área úmida é necessário conhecer a sua dinâmica de inundação com relação à vegetação e ao solo, sendo possível uma análise da resposta da influência da água, gerada por diferentes índices, nos diferentes alvos de interesse (BITTENCOURT, 2017).

O NDVI é uma aplicação dos processos de realce por operações matemáticas entre bandas de sensores satelitários (MELO *et al.*, 2011). Segundo França *et al.* (2010) como vantagem tem-se a redução de muitas formas e ruídos (diferenças de iluminação, sombras de nuvens, algumas atenuações atmosféricas, algumas variações topográficas) presentes em múltiplas bandas de múltiplas datas.

Este índice foi criado para realçar os corpos de água e eliminar a influência do solo na vegetação (FRANÇA, *et al.* 2012). Conforme Zanzarini *et al.* (2013), ele pode ser analisado por meio da interpretação de imagens de sensores remotos e, em particular, por valores obtidos em diferentes datas, que permitem avaliar a variação da área verde em certo período de tempo.

Esse índice pode ser obtido a partir da aplicação da Equação 1:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (\text{Eq. 1})$$

sendo *Red* a banda de reflectância do comprimento de onda do vermelho e *NIR* a banda de reflectância do comprimento de onda do infravermelho próximo.

Os valores obtidos do NDVI estão contidos em uma mesma escala de valores entre -1 e +1. Uma peculiaridade atribuída ao NDVI é sua rápida saturação que o torna insensível ao aumento da biomassa vegetal a partir de determinado estágio de desenvolvimento, ou seja, o índice estabiliza em um patamar apresentando um mesmo valor, embora com o aumento da densidade do dossel (Zanzarini et al., 2013).

Segundo Pereira *et al.* (2016), o NDWI é um método desenvolvido por McFeeters (1996) que tem como objetivo demarcar e realçar as feições presentes no ambiente aquático. O índice pode ser obtido através da aplicação da equação 2:

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

sendo *Green* a banda de reflectância do comprimento de onda do verde e *NIR* a banda de reflectância do comprimento de onda do infravermelho próximo.

Segundo Pereira *et al.* (2016) o valor de NDWI varia de -1 para 1. Brenner & Guasselli (2015) mencionam que McFeeters (1996) definiu zero como o limiar, ou seja, o tipo de cobertura a ser ressaltada é a água. Assim, se o NDWI for maior que zero, é água, e, se o NDWI for menor que zero, não será água. O NDWI proposto por McFeeters permite: (1) maximizar a reflectância típica da água usando o comprimento de onda da luz verde; (2) minimizar a baixa reflectância dos corpos de água no infravermelho próximo; e (3) realçar o contraste entre a água e a superfície terrestre proporcionada pela banda infravermelha.

O MNDWI, índice Modificado da Diferença Normalizada de Água (*Modified Normalized Difference Water Index*) foi criado a partir de uma suposição de que, sabendo-se que os valores (números digitais) para água na banda do infravermelho médio são ainda menores que na banda do infravermelho próximo, poderia ser mais adequado utilizá-lo na equação do NDWI. Assim, o infravermelho médio tenderia a maximizar ainda mais a diferença entre as bandas (Pereira *et al.*, 2016). Esse índice pode ser obtido através da aplicação da Equação 3:

$$MNDWI = \frac{Green - SWIR}{Green + SWIR} \quad (\text{Eq. 3})$$

sendo *Green* a banda de reflectância do comprimento de onda do verde e *SWIR* a banda de reflectância do comprimento de onda do infravermelho médio.

No estudo feito por Gil et al, (2019) aponta que o MNDWI produz uma melhor distinção entre as feições água e não água, além de possibilitar a separação entre a água do rio e a água das áreas inundadas na planície, ou seja, delinea melhor o leito do rio quando comparado ao índice NDWI, sendo mais eficaz e contribuindo para o entendimento da dinâmica de inundações.

Por sua vez, o NDPI, é utilizado para delinear limites e classificar áreas úmidas definindo seus principais compartimentos (JI *et al.*, 2009) Segundo Lacaux *et al.* (2007,) os valores de NDPI variam de -1 a 1. Os valores próximos a 1 são relacionados aos corpos de água ou solos inundados, e os próximos a -1 representam áreas mais secas, e com menos umidade presente no solo. Esse índice pode ser obtido através da aplicação da Equação 4:

$$NDPI = \frac{SWIR - GREEN}{SWIR + GREEN} \quad (\text{Eq. 4})$$

sendo *SWIR* a banda de reflectância do comprimento de onda do infravermelho médio e *Green* a banda de reflectância do comprimento de onda do verde.

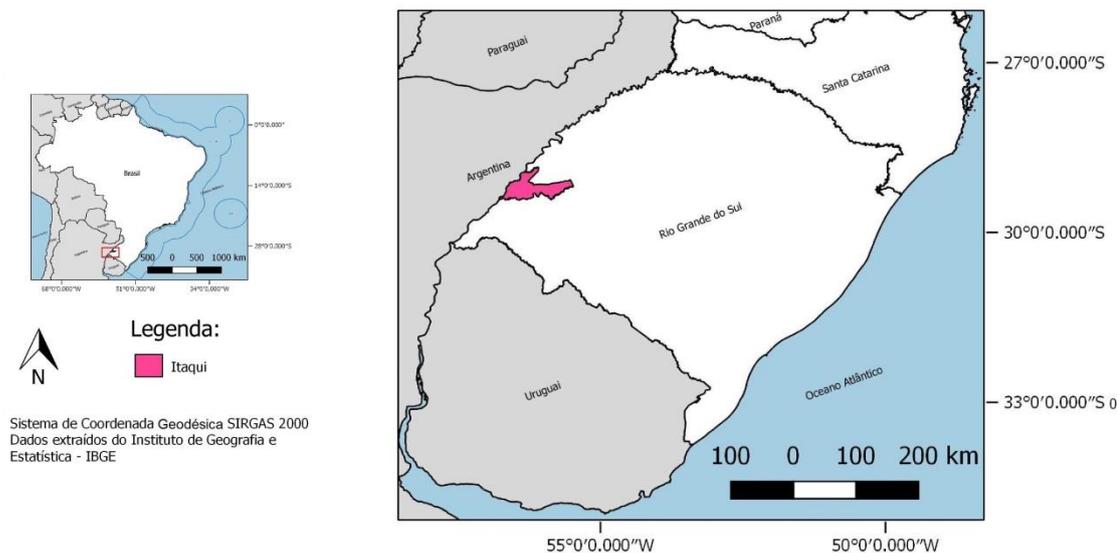
4 MATERIAIS E MÉTODOS

A área definida para o presente estudo é o território do município de Itaqui (Figura 2), localizado na fronteira Oeste do Estado do Rio Grande do Sul, fazendo divisa com a Argentina. É banhado pelo Rio Uruguai e tem como municípios limítrofes Alegrete, Maçambará, Manoel Viana, São Borja e Uruguiana. Ocupa uma área de 3406,6 km² e sua população é estimada em 37.620 habitantes (IBGE, 2019).

A bacia Hidrográfica do rio Uruguai compreende a área de aproximadamente 384.000 km², dos quais 176.000 km² se localizam no Brasil. Sua porção brasileira encontra-se na região sul, cerca de 46.000 km² localizam-se no estado de Santa Catarina e 130.000 km² no estado do Rio Grande do Sul. (LEMOS, 2006).

Na figura 2 é possível observar a localização da área de estudo, a malha territorial municipal foi extraída do site do Instituto Nacional de Geografia e Estatística – IBGE na escala 1:250.000.

Figura 2 - Localização da área de estudo.



Fonte: elaborado pela autora a partir de dados extraídos IBGE.

Segundo Silveira e Guasselli (2019) apud Sausen & Reis (2013) mapearam os municípios do Rio Grande do Sul que decretaram Situação de Emergência, em decorrência de inundações e enxurradas, no período de 1980 a 2012. Verificaram que a maioria dos municípios localizados próximos ao rio Uruguai, apresentam pelo menos um Decreto de Situação de Emergência.

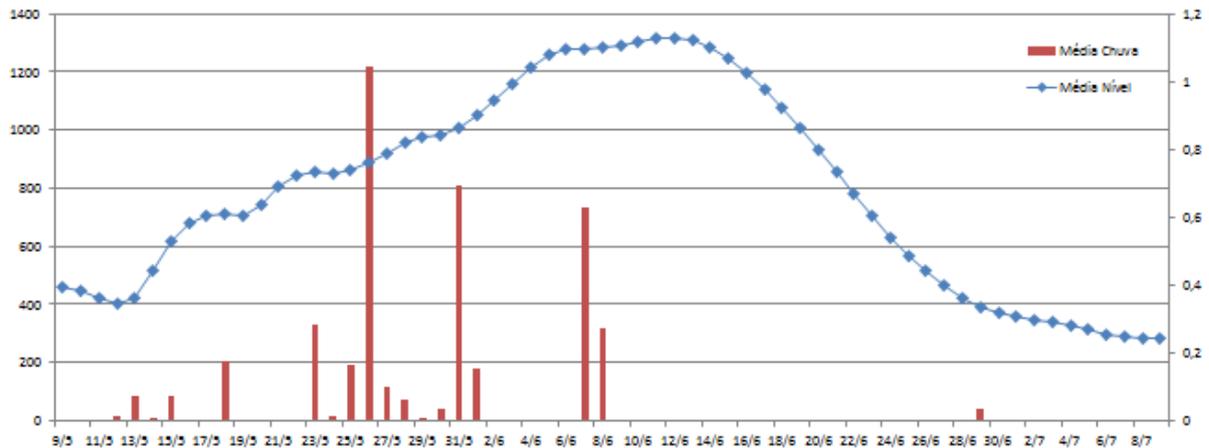
A fim de atender os objetivos desta pesquisa, foram utilizados dados meteorológicos de precipitação e nível para compreender o comportamento do rio, a partir da estação instalada junto ao porto de Itaqui. Posteriormente foram adquiridas e processadas duas cenas de imagens do satélite Landsat 8, instrumento imageador OLI, dos anos de 2016 e 2017, a partir das quais foi realizado o cálculo dos índices selecionados (NDVI, NDWI, MNDWI e NDPI). Por fim foi realizada a comparação entre os dados obtidos com o cálculo de cada índice.

4.1 Dados Meteorológicos

Os dados utilizados são provenientes dos site do SMAD-RS (Sistema de Monitoramento e Alerta de Desastres do Rio Grande do Sul), no qual foi extraído um arquivo com as leituras da régua localizada no porto da cidade de Itaqui-RS, código: 75900000, feitas de 15 em 15 minutos, para os anos de 2015 à 2017, onde foi comprovado a maior cota, em 12 Junho de 2017, no valor de 1321mm.

Após, foi confeccionado um gráfico de barras relacionando a quantidade média diária de precipitação com o nível do rio (altura da régua), entre as datas de 12 de maio à 12 de Julho, com a finalidade de estudar o seu comportamento, exposto na Figura 3.

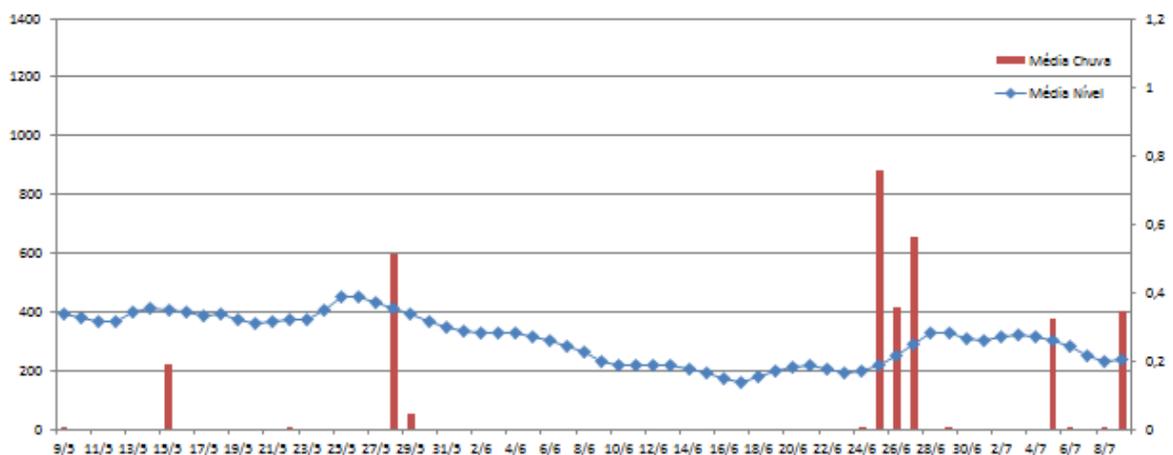
Figura 3 - Média do Nível do Rio x Média da Chuva (2017).



Fonte: elaborado pela autora a partir de dados extraídos do SMAD – RS

Foi efetuado o mesmo gráfico para o ano de 2016, exposto na figura 4, afim de comparação com o ano subsequente e comprovar a interferência da chuva no nível do rio, vinculando então os dados meteorológicos com as imagens de satélites posteriormente processadas.

Figura 4 - Média do Nível do Rio x Média da Chuva (2016).



Fonte: elaborado pela autora a partir de dados extraídos do SMAD – RS

De acordo com o gráfico, o mês com maior aumento do nível do rio foi em Junho de 2017, tendo a maior média de cota no dia 12, com o valor de 1318,0521mm. Para certificar que o valor do nível foge do regular, foi comparado com gráfico de 2016, onde, para o mesmo intervalo, o nível médio máximo foi de 453,63077mm, no dia 25 de Maio, e para o dia 12 de Junho, 218,42708mm, valor muito inferior. Desta forma foi possível definir os dias de maior cota para a obtenção das imagens de satélite (levando em conta também a ausência de interferências nas imagens), sendo selecionada a imagem do dia 11 de Junho de 2017 para maior cota e do dia 8 de Junho de 2016 para a cota normalizada

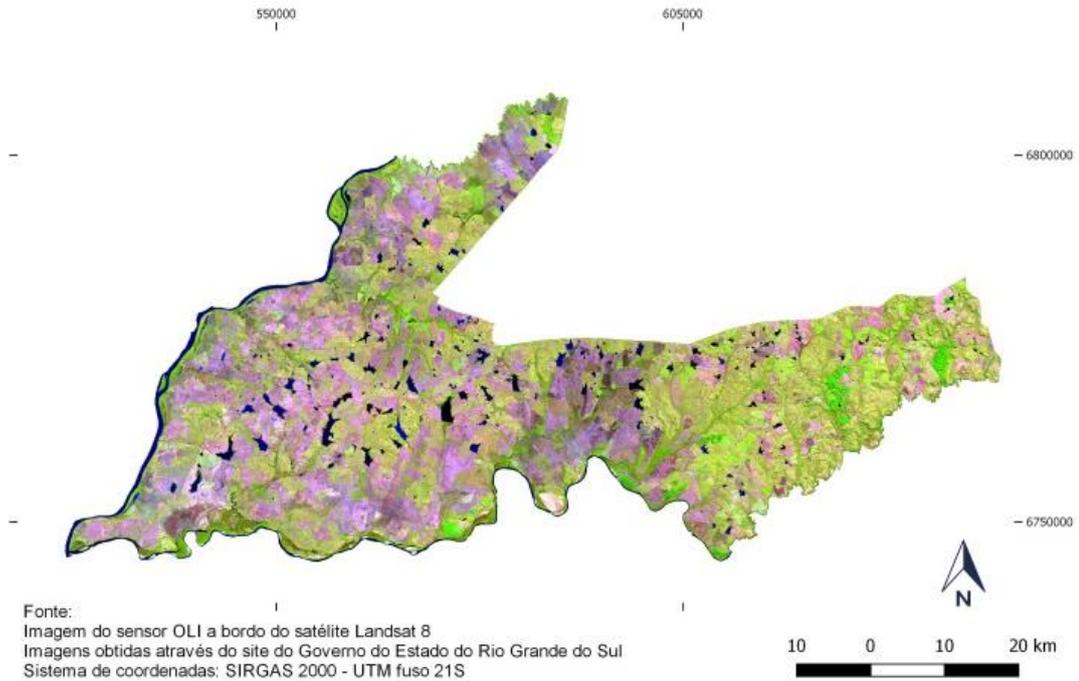
4.2 Índices

Afim de comparação dos índices foi utilizado duas imagens do satélite *Landsat 8*, por ser o mais usual, uma do dia 8 de Junho de 2016 e outra de 11 de Junho de 2017, sendo executado testes de processamento com os índices: *NDVI*, *NDWI*, *NDPI*, *MNDWI* e composição colorida 654. Para tanto, foi utilizado o *Software Qgis 2.16.3*, onde a imagem foi reprojeta. Após, foi feito o recorte de cada banda com base no município da área de estudo, sendo recortadas somente as bandas de interesse: 3, 4, 5 e 6. Os índices foram elaborados de acordo com a bibliografia descrita nesse artigo, ou seja, utilizando as Equações 1, 2, 3 e 4. Para o cálculo da área efetivamente alagada foi feita a subtração das imagens raster (2017-2016), a vetorização e por fim o cálculo da área em hectares, para cada índice.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

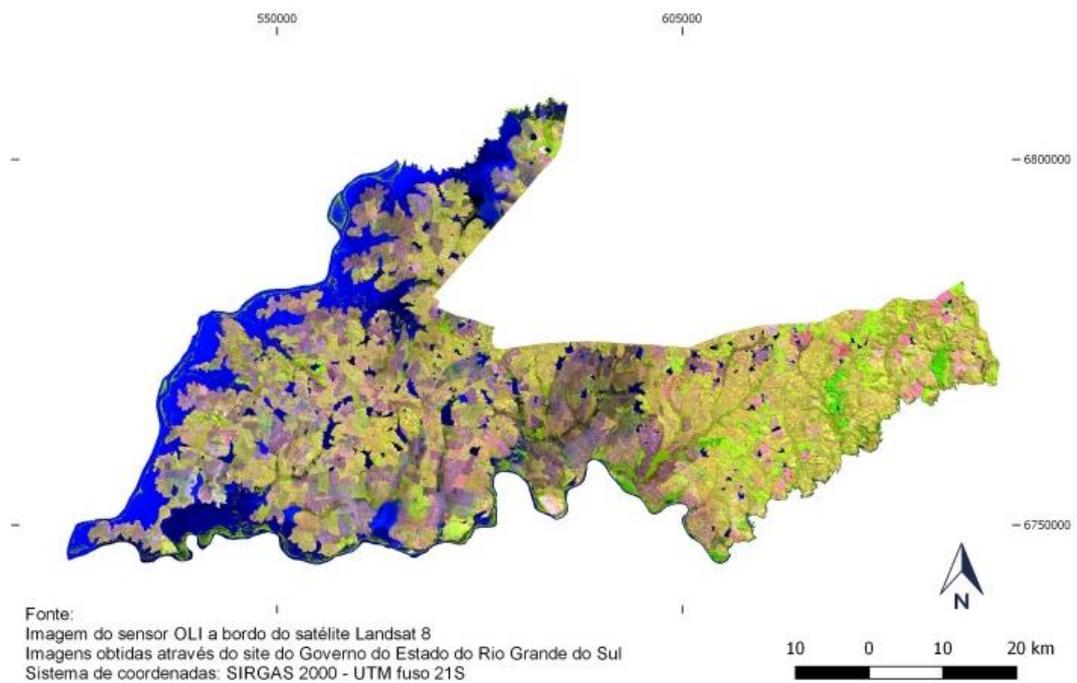
Para percepção visual da diferença da área nas duas condições analisadas pelo presente estudo (nível do rio normal e em situação de enchente), foram confeccionados dois mapas com composições coloridas 654 de imagens do satélite *Landsat-8*, como pode ser observado nas Figuras 5 e 6.

Figura 5 - Composições coloridas 654 de imagem do satélite Landsat-8, de 08 de junho de 2016.



Fonte: elaborado pela autora.

Figura 6 - Composições coloridas 654 de imagem do satélite Landsat-8, de 11 de junho de 2017.

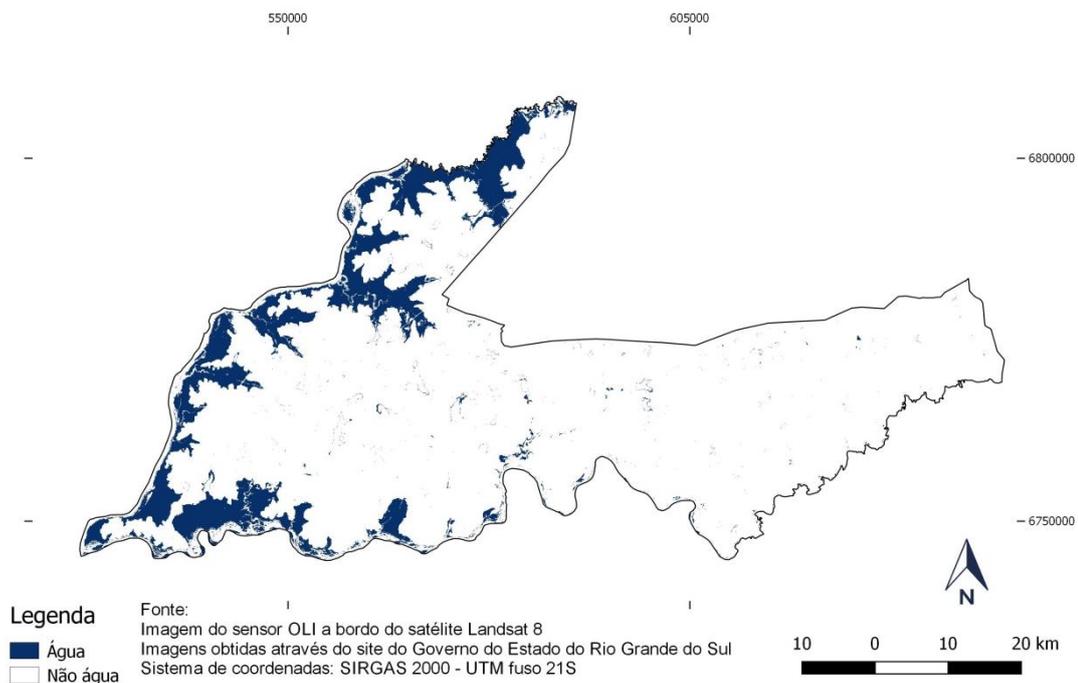


Fonte: elaborado pela autora.

Após a geração dos índices foi possível realizar a sua comparação, a partir da qual se pôde verificar que o limite de corpos d'água gerados pelos índices NDWI (figura 7) e MNDWI (figura 8) demonstra que o NDWI considera uma área maior para o rio. Pereira et al (2016) explica que tal fato é consequência da presença de pixels misturados, por exemplo, entre água e vegetação. Dessa forma, é possível inferir que o MNDWI provavelmente considera mais pixels misturados como parte integrante dos corpos d'água do que o NDWI.

Com relação ao NDVI (Figura 9), Almeida (2018) enuncia que este índice é muito sensível à vegetação, não sendo adequado para delinear água, a menos que as faixas SWIR estejam disponíveis no sensor. De acordo com a tabela 2, o NDVI gerou a menor área inundada para o evento analisado.

Figura 7 - Índice espectral NDWI da área efetivamente alagada.

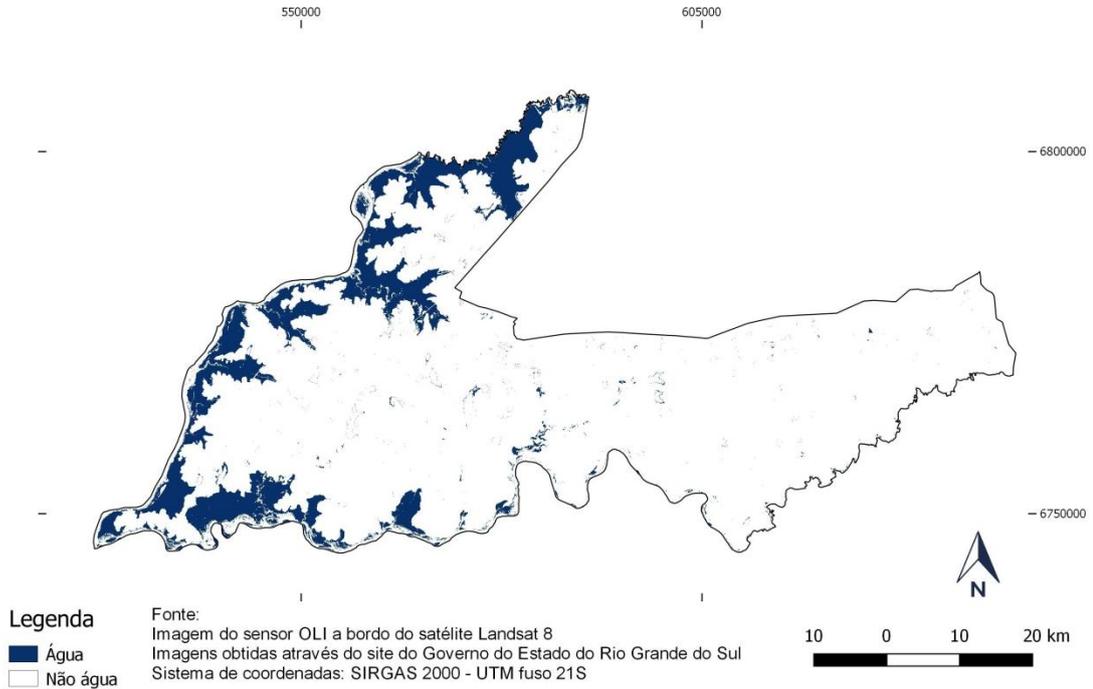


Fonte: elaborado pela autora.

Bittencourt e Guasselli (2017) citando Kumar (2015) e Mozumder et al. (2014), afirmam que o NDPI (Figura 9) é adequado para extrair as áreas de corpos de água e áreas inundadas, a partir de uma composição dos índices NDWI, MNDWI e NDVI para classificar áreas úmidas, diferenciando áreas com vegetação densa ou cobertura de macrófitas. Conforme os autores, a aplicação de um único índice não consegue identificar e classificar os diferentes compartimentos de áreas úmidas,

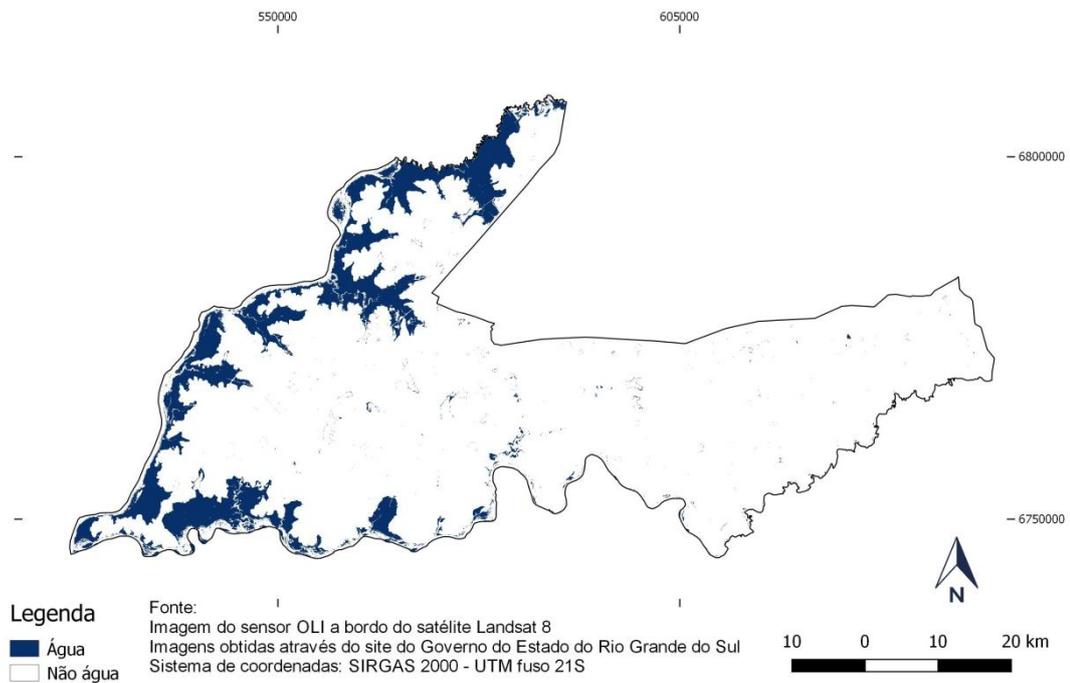
devido às contribuições na resposta espectral do solo, vegetação e água nesse sistema.

Figura 8 - Índice espectral MNDWI da área efetivamente alagada.



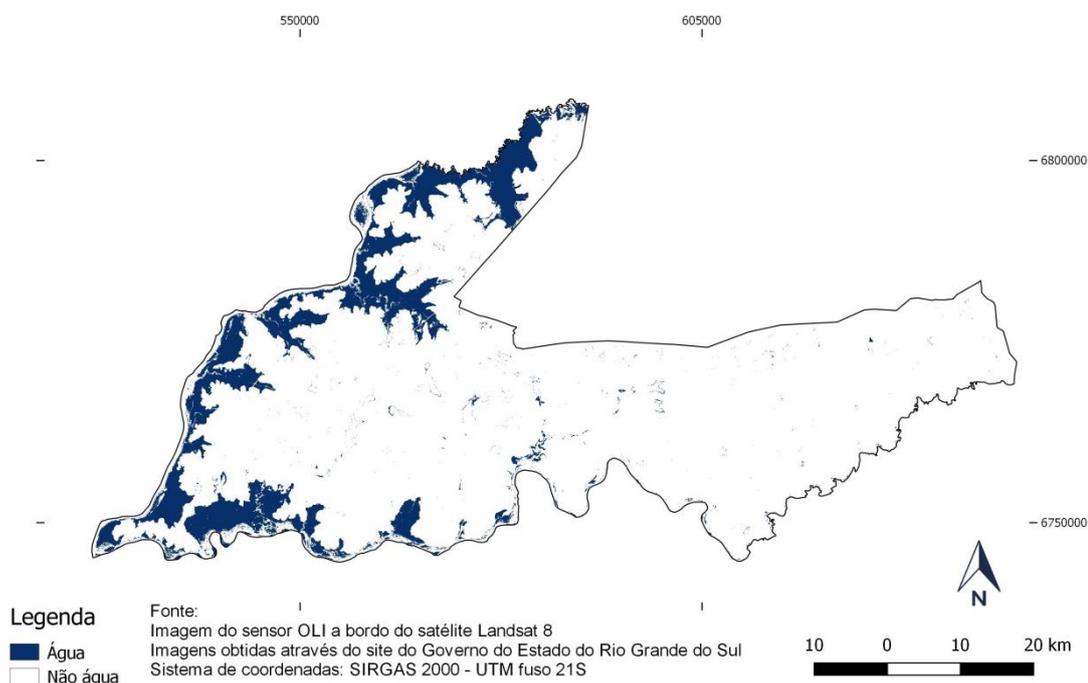
Fonte: elaborado pela autora.

Figura 9 - Índice espectral NDVI da área efetivamente alagada.



Fonte: elaborado pela autora.

Figura 10 - Índice espectral NDPI da área efetivamente alagada.



Fonte: elaborado pela autora.

Após a definição dos índices, as imagens foram vetorizadas a fim de quantificar a área efetivamente alagada, obtendo os resultados apresentados pela tabela 1.

Tabela 1 - Área efetivamente alagada.

Índices	Classes				Área Total (ha)
	Água (ha)	%	Não água (ha)	%	
NDVI	42278,9	12,44	297526,1	87,56	339805
MNDWI	43886,7	12,92	295918,3	87,08	
NDWI	43075,4	12,68	296729,6	87,32	
NDPI	43894,6	12,92	295910,4	87,08	

Fonte: Elaborado pela autora.

Ao comparar os valores de área é possível perceber a proximidade de alguns índices, como por exemplo, o MNDWI e NDPI, onde a diferença é mínima. O índice com maior discrepância foi o NDVI, já citado anteriormente pelo autor Almeida (2018) como inadequado para tal tipo de pesquisa.

Conforme a indicação dos autores Kumar (2016) e Mozumder et al. (2014), foi feita a composição dos índices, apresentada na Tabela 2. Como cada índice caracteriza e discrimina alvos diferentes, ao fazer a combinação de índices aumenta a possibilidade de resultados da amostra, como por exemplo, a combinação do *NDWI* e *NDPI*, um realça feições aquáticas e o outro corpos d'água e solos inundados, obtendo um resultado superior e melhorando a qualidade análise.

Tabela 2 - Área efetivamente alagada.

Índices	Classes				
	Água (ha)	%	Não água (ha)	%	Área Total (ha)
NDPI + MNDWI	86962	12,80	592648	87,20	679610
MNDWI+ NDWI	87781	12,92	591828	87,08	
NDWI + NDPI	86970	12,80	592640	87,20	
NDPI + MNDWI +NDWI	130857	14,73	757701	85,27	888558

Fonte: Elaborado pela autora.

Tendo como base a Tabela 2 verificamos que os índices somados *NDPI+NDWI* e *MNDWI+NDPI* foram os que tiveram o menor valor de área com água (12,80%), enquanto o *NDPI+MNDWI+NDWI* obteve o maior valor (14,73%), e o *MNDWI+NDWI* ficou moderado entre os termos (12,92%).

6. CONCLUSÃO

O mapeamento de inundações é de grande complexidade, sendo necessário o uso de mais de uma técnica para chegar a um resultado coerente. Ao utilizar dados fluviométricos pode-se observar quando o nível começou a aumentar, seu pico e a sua diminuição, podendo encontrar a data propícia pra o estudo. Em relação aos dados fluviométricos seria interessantes fazer o estudo a montade, analisando sua contribuição para o aumento do nível no local de estudo. A partir dos resultados obtidos é possível afirmar que o uso de imagens de satélite para cálculo de área efetivamente alagada é eficiente, sendo que todo os índices tiveram um resultado satisfatório, os índices que tiveram valores mais próximos e que seriam indicados ao uso pela autora são o *MNDWI* e *NDPI*, pelo bom contraste, tanto dos corpos d'água

quanto da vegetação, contribuindo para a identificação dos mesmos, sendo também interessante o uso da composição dos índices, aumentando a possibilidade de resultados e mesclando suas características.

7. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, T. F. S. dos. **Influência de Pequenos Reservatórios no ESCOAMENTO Superficial da Bacia Hidrográfica do Rio Carinhanha**. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/33018/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O%20Thiago%20Franklin%20Santos%20de%20Almeida.pdf>>

BITTENCOURT, D. Z. **Dinâmica e Análise de Fragilidade Ambiental, Banhado da Reserva Biológica de São Donato - RS**. Universidade do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre, 2017. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/166085/001046609.pdf?sequenc e=1>>

BRENNER, V. C.; GUASSELLI, L. A. Índice de diferença normalizada da água (NDWI) para identificação de meandros ativos no leito do canal do rio Gravataí/RS – Brasil. In: **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, João Pessoa, Brasil, 2015. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0727.pdf>>

Brubacher, J.P. 2016. **Inundações e enxurradas, município de Esteio - RS**. Porto Alegre, 110 p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

CASTRO, A. L. C.de. Ministério da Integração Nacional. Brasília: Secretaria Nacional de Defesa Civil. Desastres Naturais Relacionados com o Incremento das Precipitações Hídricas e com as Inundações, 2007. p. 34-48.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Missão LANDSAT**. Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento por Satélite, Campinas, 2013. Disponível em: <https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/sat/conteudo/missao_landsat.html>

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Missão Terra**. Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento por Satélite, Campinas, 2013. Disponível em: <https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/sat/conteudo/missao_terra.html>

FEITOSA, J. R. P.; FILHO, J. F. C.; SILVA, B. B. da. Avaliação de Índices de Vegetação em área irrigada do Sub-Médio São Francisco, Petrolina-PE, a partir de imagens do satélite LANDSAT-5, TM. In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia**. Fortaleza, 2004.

FRANÇA, A. F.; SILVA, L. M.; CANDEIAS, A. L. B. Uso de Softwares Gratuitos Como Ferramenta na Obtenção de Índices de Vegetação. In: **III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**. Recife, 2010. 001-006p. Disponível em: <https://www3.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIII/IIISIMGEO_CD/artigos/FotoeSR/SR_e_PDI/A_2.pdf>

FRANÇA, A. F.; TAVARES-JÚNIOR, J. R.; MOREIRA-FILHO, J. C. C. Índices NDVI, NDWI e NDBI como ferramentas ao mapeamento temático do entorno da lagoa Olho D'Água, em Jaboatão dos Guararapes – PE. In: IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação. Recife, 2012.

GIL, A. P.; PADOVANI, C. R.; COELHO, A. L. N. Comparação entre NDWI e MNDWI para o mapeamento de áreas inundadas do Pantanal do Taquari. In: **Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - INPE**. Santos, 2019.

GUASSELLI, L. A.; DE OLIVEIRA, G. G.; ALVES, R.C. M. **Eventos extremos no Rio Grande do Sul: Inundação e Movimentos de Massa**. Porto Alegre: Evangraf, 2013. 208p.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **LANDSAT**. Divisão de Geração de Imagens. Disponível em: <<http://www.dqi.inpe.br/documentacao/satelites/landsat#wrapper>>

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 376-395p.

Ji, L., Zhang, L., & Wylie, B. **Analysis of dynamic thresholds for the normalized difference water index**. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 1307–1317, 2009.

KUMAR, M. C. V. S. S. **Automatic extraction of water features at multiple scales. Dehradun: Master of Technology in Remote Sensing and GIS, Indian Institute of Remote Sensing**, 2015. 92p. In BITTERNCOURT, D. Z.; GUASSELLI, L. A. **Dinâmica de Inundação do Banhado a partir do índice NDPI, Reserva Biológica de São Donato - RS**. Revista do Departamento de Geografia: Universidade de São Paulo, 2017.

LACAUX, J.P.; TOURRE, Y. M.; VIGNOLLES, C.; NDIONE, J. A.; LAFAYE, M. **Classification of ponds from high-spatial resolution remote sensing: Application to Rift Valley Fever epidemics in Senegal**. *Remote Sensing of Environment*, v.1, n. 106 p. 66– 74, 2007. Disponível em: <<https://www.deepdyve.com/lp/elsevier/classification-of-ponds-from-high-spatial-resolution-remote-sensing-dN0zaUMsJ0?key=elsevier>>

LEMOS, C. A. **Hidrelétricas na bacia do rio Uruguai: guia para ONGs e movimentos sociais**. Porto Alegre: Núcleo Amigos da Terra/Brasil, 2006. Disponível em: <<http://www.nacionmulticultural.unam.mx/mezinal/docs/4315.pdf>>

McFeeters, S.K. **The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features**. *International Journal of Remote Sensing*, v.17, n.7, p.1425-1432, 1996.

MELO, E. T.; SALES, M. C. L.; OLIVEIRA, J. G. B. Aplicação do índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do riacho dos cavalos, Crateús-CE. In: **Revista RA´E GA**, v.23, Curitiba, Departamento de Geografia – UFPR, 2011. 520-533p.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Universidade de Brasília, Brasília, 2012, 266 p. Disponível em: <http://memoria.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8>>

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e metodologias de aplicação**. Viçosa: Ed. UFV, 2003.307 p.

MOURA, C. J. M. de.; NASCIMENTO, P. H. O. de; CADEIAS, A. L. B. Análise Temporal a Partir do Mapeamento Regional do Solo e Declividade de 1995 e Imagens de Sensoriamento Remoto de 2014. In: **Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Santos, 2017. 5721-5728p.

MOZUMDER, C.; TRIPATHI, N. K.; TIPDECHO, T. **Ecosystem evaluation (1989-2012) of Ramsar wetland Deepor Beel using satellite-derived indexes. Environmental Monitoring and Assessment**, v.186, n. 11 p.7909-7927, 2014. In BITTERN COURT, D. Z.;GUASSELLI, L. A. **Dinâmica de Inundação do Banhado a partir do índice NDPI, Reserva Biológica de São Donato - RS**. Revista do Departamento de Geografia: Universidade de São Paulo, 2017.

NOVO, E. M. L de M.; PONZONI, F. J. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos, 2001. 68p. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/Miguel/AlunosPG/Jarvis/SR_DPI7.pdf>

OLIVEIRA, G. C. M. de; FREITAS, M. A. V. de. Análise de Correlações Entre o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e Dados Hidrometeorológicos do Entorno do Reservatório da Usina Hidrelétrica de TucuruíPA Utilizando Imagens Landsat-5 TM. In: **Anais XVII Símpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, João Pessoa, 2015. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0144.pdf>>

PEREIRA, G. H. de A.; Lohmann, M; Maganhotto, R. F. Proposta e Avaliação de Índices para Delimitar e Mapear Corpos D'água Utilizando Imagens do Satélite LANDSAT 8. In: **Revista Brasileira de Geografia Física**. v.09, 2016. 1956-1968p.

PINTO, D. F. **A Utilização do Sensoriamento Remoto e o Geoprocessamento como Ferramentas Aplicadas às Ciências da Terra e do Mar.** Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 2001. Disponível em: <[Pinto, 2001
http://www.inf.ufsc.br/~j.barreto/trabaluno/Pinto00.pdf](http://www.inf.ufsc.br/~j.barreto/trabaluno/Pinto00.pdf)>

RECKZIEGEL, B. W; ROBAINA, L. E. S. Desastres Naturais no Estado do Rio Grande do Sul no Período de 1980 a 2005: Enchentes e Enxurradas. In: **Anais II Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais e Tecnológicos - SIBRADEN**, Santos-SP Brasil, 9 a 13 de dezembro de 2007.

ROBAINA, E. de S.; TRENTIN, R. **Desastres Naturais no Rio Grande do Sul.** Santa Maria: Ed da UFSM, 2013. 365p.

SAUSEN, T. M. ; NARVAES, I.da S. . **Desastres Naturais e Geotecnologias-Inundação, Caderno Didático Nº 7.** São José dos Campos, SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2013.

SAUSEN, T. M.; NAVARES, I. S. **Sensoriamento remoto para inundação e enxurrada.** In: SAUSEN, T. M.; LACRUZ, M. S. P. **Sensoriamento remoto para desastres.** São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 285p.

SAUSEN, T.M. & REIS, J.T. **Levantamento e avaliação das inundações ocorridas no Rio Grande do Sul.** In: GUASSELLI, L. A.; OLIVEIRA, G.G.; ALVES, R.C.M. (Editores), **Eventos extremos no Rio Grande do Sul: inundações e movimentos de massa.** Porto Alegre: Ed. Evangraf, p. 25-44, 2013

SILVA, M. F. da; SILVA, J. P. da; RAMOS, C. S. A Pesquisa na Formação Acadêmica: Aprender a Pesquisar Fazendo Pesquisa. In: **ANAIS III CONDEU - Congresso Nacional de Educação.** Campina Grande: Realize Eventos & Editora, 2016.

SOARES, R. B.; SOARES, C. B. S. S.; COSTA, J. A. L.; COSTA, S. S.; SOARES, R. B. **Aplicação de técnica de fusão em imagens Landsat 8/ OLI**. XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 2015.

TUCCI, C. E. M. **Inundações Urbanas**. Porto Alegre: ABRH/RHAMA, 2007. 393p.

ZANZARINI, F. V.; PISSARRA, T. C. T.; BRANDÃO, F. J. C.; TEIXEIRA, D. D. B. **Correlação espacial do índice de vegetação (NDVI) de imagem Landsat/ETM+ com atributos do solo**. In: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.17, n.6, p.608-614. Campina Grande, 2013.