

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**MARIA EUGÊNIA FIGUEIREDO PIEGAS**

**DETERMINAÇÃO DA ÁREA DE INUNDAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO  
RIO BUTUÍ, OESTE DO RS, A PARTIR DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO  
REMOTO**

**Itaqui  
2021**

**MARIA EUGÊNIA FIGUEIREDO PIEGAS**

**DETERMINAÇÃO DA ÁREA DE INUNDAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BUTUÍ, OESTE DO RS, A PARTIR 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 Bacharel em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Orientador: Prof. Dr. Sidnei Luis Bohn Gass

**Itaqui  
2021**

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) .

P613d Piegas, Maria Eugênia Figueiredo

Determinação da área de inundação da bacia hidrográfica do Rio Butuí, oeste do RS, a partir de técnicas de sensoriamento remoto / Maria Eugênia Figueiredo Piegas.

33 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade Federal do Pampa, ENGENHARIA CARTOGRÁFICA E DE AGRIMENSURA, 2021.

"Orientação: Sidnei Luis Bohn Gass".

1. Determinação de área de inundação.. 2. Técnicas de sensoriamento remoto.. 3. Índices espectrais. I. Título.

**MARIA EUGÊNIA FIGUEIREDO PIEGAS**

**DETERMINAÇÃO DA ÁREA DE INUNDAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BUTUÍ, OESTE DO RS, A PARTIR 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 Bacharel em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 04 de Outubro de 2021.

Banca examinadora:

---

Prof. Dr. Sidnei Luis Bohn Gass  
Orientador  
UNIPAMPA

---

Profa. Ma. Raíssa Xavaré Kulman  
UNIPAMPA

---

Profa. Ma. Michele da Silva Santos  
UNIPAMPA

Dedico este trabalho ao meu anjo protetor, meu avó José Clair de Almeida Piegas (in memoriam).

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço a Deus por me dar saúde, sabedoria e me guiar nessa caminhada.

Agradeço a todos que estiveram presente nessa trajetória, me ajudando, dando forças para não desistir e vibrando comigo a cada pequena vitória. Em especial a minha mãe Daisy, que é a minha inspiração diária, que não mediu esforços para que eu chegasse até aqui e nunca soltou a minha mão. Ao meu pai Daniel, que mesmo longe se fez e faz presente nos meus dias e sempre me deu o apoio necessário para seguir nessa caminhada. Vó Edina, tia Denise, tia Elaine, tio Ivan, prima-dinda Thaysi, sogra Glaura e sogro Itamar, que estiveram ao meu lado e foram essenciais para que esse momento chegasse.

Ao meu namorado Nathan, que esteve ao meu lado sempre, me incentivando em todos os momentos e dando forças para continuar.

Aos meus amigos, que tornaram essa caminhada mais leve e divertida: Carla Caroline, Ihanna, Richard, Lucas e Leonardo.

Aos professores por todos os ensinamentos e conhecimentos compartilhados, em especial ao professor Sidnei, que aceitou a missão de me orientar, com toda a dedicação e paciência e a professora Janny, que são inspiração e exemplo para mim.

## RESUMO

Ter conhecimento do comportamento dos corpos hídricos em tempos de elevada precipitação é de fundamental importância afim de evitar a perda de vidas humanas e prejuízos financeiros. Sendo assim, as técnicas de sensoriamento remoto oferecem importantes recursos para o mapeamento de recursos hídricos e também do monitoramento das dinâmicas de água da superfície. Esse trabalho teve como principal objetivo determinar a área efetivamente inundada na Bacia Hidrográfica do rio Butuí, aplicando diferentes índices espectrais, considerando como parâmetro o evento extremo ocorrido em 2017. Foram utilizados dados pluviométricos e duas imagens de satélite do Landsat 8, do dia 08 de Junho de 2016 e 11 de Junho de 2017 para o cálculo e comparação dos índices (NDVI, NDWI, NDPI e MNDWI). Foi possível verificar que o índice NDVI apresentou um valor de área efetivamente alagada diferente dos outros índices, mostrando que esse índice não é apropriado para a esse tipo de pesquisa. Os índices NDPI e MNDWI apresentam valores de área efetivamente alagada muito próximos, mostrando que essa técnica é eficiente para a pesquisa, usando os índices apropriados.

Palavras-Chave: Sensoriamento remoto, índices espectrais, inundação.

## **ABSTRACT**

Having knowledge of the behavior of water bodies in times of high precipitation is of fundamental importance in order to avoid loss of human life and financial losses. Therefore, remote sensing techniques offer important resources for mapping water resources and also for monitoring surface water dynamics. The main objective of this work was to determine the area effectively flooded in the Butuí River Hydrographic Basin, applying different spectral indices, considering the extreme event that occurred in 2017 as a parameter. June 2016 and June 11, 2017 for the calculation and comparison of indices (NDVI, NDWI, NDPI and MNDWI). It was possible to verify that the NDVI index presented a value of effectively flooded area different from the other indexes, showing that this index is not suitable for this type of research. The NDPI and MNDWI indices present values of effectively flooded area very close, showing that this technique is efficient for the search, using the appropriate indices.

**Keywords:** Remote sensing, spectral indices, inundation.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo.....	19
Figura 2 – Média nível x Média chuva no Porto de Itaqui, 2016.....	22
Figura 3 – Média nível x Média chuva no Porto de Itaqui, 2017.....	22
Figura 4- Composição colorida 654 com imagem landsat 8, dia 08 de Junho de 2016 (nível normal da bacia hidrográfica).....	23
Figura 5- Composição colorida 654 com imagem landsat 8, dia 11 de Junho de 2017 (situação de inundação).....	24
Figura 6: Índice NDVI da área inundada.....	25
Figura 7: Índice NDWI da área inundada.....	26
Figura 8: Índice MNDWI da área inundada.....	26
Figura 9: Índice NDPI da área inundada.....	27

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Área efetivamente inundada.....	27
Tabela 2 – Composição dos índices.....	28

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	12
2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA .....	14
2.1 BACIA HIDROGRÁFICA E SUA DELIMITAÇÃO .....	14
2.2 SENSORIAMENTO REMOTO E ÍNDICES ESPECTRAIS.....	16
3 METODOLOGIA.....	19
3.1 DELIMITAÇÃO DA BACIA .....	20
3.2 ÍNDICES ESPECTRAIS .....	21
3.3 DADOS PLUVIOMÉTRICOS.....	21
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	23
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	28
REFERÊNCIAS.....	30

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com Tominaga et al. (2009), as cheias acontecem quando há o crescimento do nível d'água no canal de drenagem da bacia em razão do aumento da vazão, assumindo a cota máxima, isto é, o leito maior, mas sem transbordar. O transbordamento caracteriza as inundações, onde as águas chegam às áreas marginais, conhecidas como planície de inundação ou área de várzea. Já o acúmulo de água nos contornos urbanos, são estabelecidos como cheias, onde continuamente acontecem em decorrência das falhas de drenagem.

Reckziegel (2007), ressalta que entre os anos de 1980 e 2005 foram registrados 1.258 ocorrências de enchentes nos municípios do Rio Grande do Sul. Além do que, foram outorgados 42 decretos de Estado de Calamidade Pública e 571 de Situação de Emergência em decorrência dos eventos de cheias dos rios.

Segundo Alcántara-Ayala (2002), os incidentes das inundações não estão ligados somente à vulnerabilidade dos lugares e às propriedades geoambientais mas também a fragilidade do sistema da sociedade, ou seja, sistema econômico-social-político-cultural.

Tucci (1997) ressalta que este problema encontra-se em vários municípios do Brasil, essencialmente nas áreas urbanas, devido ao assoreamento dos leitos dos rios, impermeabilização das áreas de infiltração na bacia de drenagem, fatores climáticos, entre outras causas.

Em 8 de janeiro de 1997, foi promulgada a Lei nº 9.433 (Brasil,1997), que estabeleceu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), a bacia hidrográfica passou a ser indicada como unidade territorial para o gerenciamento dos recursos hídricos, adotando a definição de bacias hidrográficas como elemento de estudo. Desta maneira, é de suma importância para pesquisadores e gestores a compreensão do conceito de bacia hidrográfica e suas subdivisões que, conforme Barrella (2001):

uma bacia hidrográfica constitui-se de um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes. Seu contorno é limitado pelas partes mais altas do relevo, conhecidas como divisores de água. As águas que caem das chuvas escoam superficialmente ou infiltram-se no solo para a formação de nascentes e do lençol freático. As cabeceiras são formadas por riachos que brotam em terrenos íngremes das serras e

montanhas, e à medida que as águas descem juntam-se com a de outros riachos aumentando o volume formando os primeiros rios.

Por sua vez, de acordo com Meneses (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 conhecimento do comportamento dos corpos hídricos em períodos de precipitação elevada pode ser de fundamental importância ao evitar perda de vidas humanas e prejuízos financeiros. Desse modo, as técnicas de sensoriamento remoto têm oferecido importantes recursos para o mapeamento de recursos hídricos e do monitoramento das dinâmicas de água de superfície (Ji et al., 2009).

Sobre os distintos métodos que vem sendo empregado para a definição de áreas úmidas e lâminas de água, está o NDVI – Normalized Difference Vegetation- que corresponde ao índice de Vegetação da Diferença Normalizada, verifica a situação da vegetação natural da região, é medido pela diferença da refletância entre a faixa do NIR pelo RED. Os resultados variam de -1 a +1. Essa diferença é normalizada pela divisão da soma das faixas de NIR e RED.

E também o índice NDWI – Índice de Diferença Normalizada da Água- foi elaborado por McFeeters (1996) para mapear as águas superficiais, enfatizando a presença das águas em imagem conseguida através do sensoriamento remoto. O emprego desse índice concede uma superior das áreas com alto teor de umidade e corpos de água. Segundo Gao (1996), o NDWI varia quase linearmente com a espessura da lâmina da água. Dessa forma, esse índice tem se destacado no monitoramento do comportamento hídrico.

A presente pesquisa tem como objetivo principal analisar a área efetivamente inundada da bacia hidrográfica do rio Butuí, a partir da aplicação de diferentes índices espectrais, considerando como parâmetro o evento extremo ocorrido em 2017.

Foram definidos 3 objetivos específicos para o estudo.

1. Identificar quais os índices que podem ser aplicados para o mapeamento das áreas inundadas;

2. Vincular as imagens de satélite com os dados pluviométricos para a identificação da imagem mais próxima da cota máxima de inundação;
3. Determinar a variação da área inundada a partir de imagens com diferentes resoluções espaciais.

## **2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Bacia hidrográfica e sua delimitação**

No início dos anos 1990, a gestão de recursos hídricos fundamentada no recorte territorial das bacias hidrográficas ganhou estímulo no tempo que os Princípios de Dublin foram estabelecidos na reunião de preparatória à Rio-92. Segundo o Princípio n.1 para que a gestão de recursos hídricos seja eficaz, deverá ser conjunta e levar em consideração todos os aspectos, físicos, econômicos e sociais. Para que essa integração tenha o foco adequado, sugere-se que a gestão esteja baseada nas bacias hidrográficas (WMO, 1992).

A principal pergunta que deve conduzir a gestão é a inserção de diversos aspectos que influenciam no utilização dos recursos hídricos e na sua proteção ambiental. Através da bacia hidrográfica é possível realizar esse comportamento conjunto, e segundo Yassuda (1993), “ a bacia hidrográfica é o palco unitário de interação das águas com o meio físico, o meio biótico e o meio social, econômico e cultural”.

Uma experiência que vale ressaltar na gestão de bacias hidrográficas foi em 1922, a aprovação pelo Congresso dos Estados Unidos, o Pacto do Rio Colorado, que decidia sobre a repartição do uso da água do rio no meio dos Estados que partilhavam a sua bacia hidrográfica. Esse pacto utilizou, aliás, um conceito muito interessante e atual, que coloca, sob a égide do mesmo processo decisório, territórios com produtividade hídrica elevada (Estados doadores) e territórios com produtividade hídrica menor (Estados recebedores), e a utilização conjunta das águas de um mesmo rio (Grigg, 1991).

No Brasil, o reconhecimento da progressiva dificuldade dos problemas ligados à utilização da água levou a instalação, do acordo entre o Ministério das Minas e Energia e o governo do Estado de São Paulo, em 1976, para a evolução das situações sanitárias das bacias do Alto Tietê e Cubatão. O triunfo dessa experiência

fez que, logo na sequência, fosse construída, o Comitê Especial de Estudos Integrados de Bacias Hidrográficas (CEEIBH), em 1978, e a posterior formação de comitês executivos em várias bacias hidrográficas, como no São Francisco, no Paraíba do Sul e no Ribeira de Iguape. Esses comitês só tinham funções de consulta, não era obrigatório a utilização de suas decisões, e dele faziam parte apenas órgãos do governo. Contudo, estabeleceram-se em significativas experiências e foram importantes causas para um futuro progresso da gestão por bacia hidrográficas.

Foi a Lei nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997 (Brasil, 1997), que possibilitou ao Brasil uma nova política de recursos hídricos e estruturou o sistema de gestão, efetivou a gestão por bacias hidrográficas. Atualmente no Brasil, os recursos hídricos tem seu gerenciamento planejado por bacias hidrográficas em toda extensão territorial, seja em corpos hídricos de titularidade da União ou dos Estados. Seguramente, existem dificuldades em tratar desse recorte geográfico, visto que os recursos hídricos demandam a gestão dividida com a administração pública, órgãos de saneamento, instituições relacionadas à atividade agrícola, gestão ambiental, entre outros, e a cada uma dessas esferas corresponde uma divisão administrativa certamente distinta da bacia hidrográfica.

A bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída. A bacia hidrográfica compõe-se de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório (Tucci, 1997).

Pode-se considerar a bacia hidrográfica como um ente sistêmico. No lugar em que fazem os balanços de entrada originária da chuva e saída de água através do exutório, possibilitando a demarcação de bacias e sub-bacias, da qual a interconexão se dá pelo sistemas hídricos.

A respeito da proporção a ser usada decorre do problema ser resolvido, pode ser delimitado a totalidade da bacia, desde suas cabeceiras mais distintas até o seu exutório, ou até mesmo podem ser delimitados suas sub-bacias, maiores ou menores, isso vai depender da necessidade do problema abordado. Considera-se o tamanho ideal da bacia hidrográfica aquele que compreende toda a problemática de interesse. É possível ter interesse em uma bacia pequena de 0,5 km<sup>2</sup> em uma área urbana, como na uma bacia com extensão, como por exemplo a do Rio Francisco,

com mais de 600.000 km<sup>2</sup>. O conceito sistêmico adequa-se muito bem aos sistemas de gestão de recursos hídricos.

## **2.2 Sensoriamento remoto e índices espectrais**

Segundo Pena (2017), a utilização da técnica de sensoriamento remoto é de suma importância, pois com a mesma é possível revelar muitos dados geográficos e históricos inerentes aos espaços naturais, bem como o avanço do desmatamento e o crescimento das áreas urbanas entre outros.

As técnicas de sensoriamento remoto são essenciais para fazer o mapeamento e monitoramento dos recursos naturais. As imagens que são captadas remotamente, podem ser utilizadas para a avaliação de recursos hídricos e sua dinâmica bem como no gerenciamento costeiro. Esses usos abrangem o delineamento de águas abertas utilizando técnicas de extração de informações temáticas, sendo que tais técnicas tem se tornado cada vez mais comum. Existem diversos métodos para se obter essas informações, de acordo com o número de bandas utilizadas, normalmente são divididas em duas categorias, métodos de banda única e multibanda.

O método de banda única geralmente envolve a escolha de uma banda de uma imagem multiespectral para extrair informações de águas abertas (Rundquist et al. 1987). Um limiar é então determinado para a banda distinguir a água da terra. Porém, a escolha subjetiva do valor limite pode levar a uma super ou subestimação da área de águas abertas e as informações da água retirada são regularmente misturadas ao ruído das sombras.

O método da multibanda aproveita a diferenças reflexivas de cada banda que está envolvida. Tem duas maneiras de retirar dados referente a água utilizando o referido método. O primeiro método é pela análise das características de assinatura de cada alvo no solo entre diferentes bandas espectrais, exibindo as diferenças de assinaturas entre a água e outros alvos com base na análise e, após, utilizando uma árvore lógica if-then-else para delinear terras de águas abertas.

O segundo é aproximação a taxa de banda, utilizando duas bandas multiespectrais. Um é atingido pelo comprimentos de onda visíveis e é dividido pelo outro, normalmente dos comprimentos de onda do infravermelho pelo próximo (NIR). Como resultado, a existência de vegetação e terra é excluída, ao mesmo tempo que



as características da água são aperfeiçoadas. Entretanto, o método pode eliminar características não ligadas a água, mas pode remover essas características, e assim, o índice de água com diferença normalizada (NDWI) foi exposto por McFeeters (1996) para atingir o objetivo e também será um dos índices usados na presente pesquisa.

O NDWI é apresentado pela seguinte forma:

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR} \quad (1)$$

Onde, green é uma faixa verde e NIR é uma banda do infravermelho próximo.

Esse índice foi feito para maximizar a refletância da água utilizando comprimentos de ondas verdes, minimizar a baixa reflectância do NIR através das características da água e para tirar benefício da alta reflectância do NIR através das características da vegetação e do solo. Como resultado obtido, as características da água possuem valores positivos e, sendo assim, são aprimoradas, enquanto a vegetação e o solo normalmente tem valores zero e negativos, ou seja, são suprimidos. É um importante índice para os estudos da cobertura vegetal, muito correlacionado com o conteúdo de água na cobertura vegetal, permite também acompanhar mudanças na biomassa e avaliar o estresse hídrico da vegetação. Porém, a execução do NDWI em áreas hídricas com um fundo de terra aglomerado não atinge seu objetivo como desejado e esperado. As informações da água retirada nessas áreas são regularmente misturadas com o ruído da terra aglomerado. Isso quer dizer que várias características da terra construída também possuem valores positivos na imagem NDWI.

Outro índice que será abordado na pesquisa é o NDVI, Normalized Difference Vegetation Index (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada) que é representado pela equação (2), foi elaborado por Rouse (1974), no qual normalizaram a razão simples para o intervalo de -1 a +1.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (2)$$

Onde, nir é uma faixa Infravermelho-próximo e red é uma faixa do vermelho.

Para alvos terrestres, o limite inferior é de aproximadamente zero, e o limite superior, de aproximadamente 0,8 (PONZONI et al., 2012). O índice tem sido largamente estudado em diferentes abordagens, como em estudos do vigor de vegetação, no coeficiente de culturas agrícolas, mapeamento do uso e ocupação do solo, desmatamento florestais, mudanças climáticas, entre outros. Segundo Araújo

(2006), este índice permite identificar a presença de vegetação verde na superfície e caracterizar sua distribuição espacial bem como sua evolução no decorrer do tempo.

O MNDWI, Índice de Diferença de Água Normalizada Modificado ( Modified Normalized Difference Water Index), idealizado por Xu (2006), foi criado a partir de uma modificação do NDWI, com o objetivo de reduzir o principal limite do NDWI, que é a ineficácia em eliminar o ruído oriundo das propriedades das áreas construídas. O índice supõe que um corpo hídrico exibe uma melhor absorção na banda SWIR (Infravermelho de ondas curtas) quando comparado ao da banda NIR, distintivamente das áreas construídas. O índice pode ser obtido através da equação (3):

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

Onde, green representa a onda verde e swir a onda do infravermelho médio.

De acordo com Gil et al, (2019) no MNDWI, água irá possuir valores ainda mais positivos, já que a banda do infravermelho médio capta mais energia nos corpos d'água que a banda do infravermelho próximo. Diferencia água das áreas construídas, uma vez que a utilização da banda do infravermelho médio confere no índice, valores negativos às áreas construídas. O MNDWI evidencia maiores particularidades dos corpos d'água do que o NDWI, proporcionando um aperfeiçoamento na divisão dos alvos "água" e "não-água".

O NDPI, Índice da Diferença Normalizada de Corpos d'água (Normalized Difference Pond Index), é empregado no uso para delimitação de limites e classificação de áreas úmidas estabelecendo suas seções principais. (Ji et al., 2009).

Segundo Ji et al. (2009) a utilização do referido índice para áreas úmidas há ligação direta com as bandas que possibilitam valores superiores de reflectância para objetos referentes a vegetação que se relacionam com a água. Os valores do NDPI, segundo Lacaux et al. (2007) variam de -1 a 1. Sendo os valores próximos a -1 correspondem áreas mais secas, com menos umidade existente no solo, já os valores próximo a 1 estão associados com corpos de água ou solos inundados. O índice pode ser encontrado através da equação (4):

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

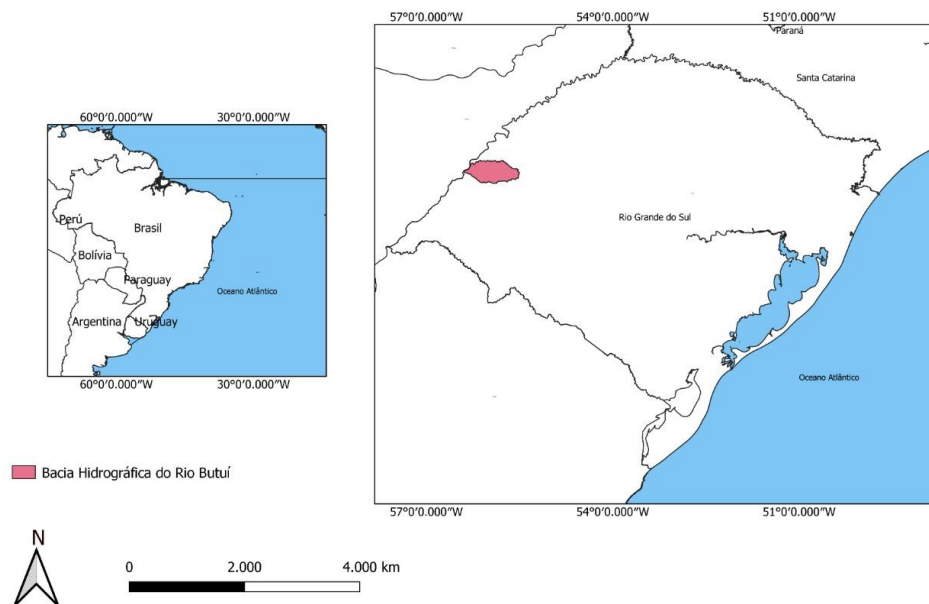
Onde, swir é a banda do infravermelho médio e green é a banda verde.

### 3 METODOLOGIA

A área de estudo definida para o presente trabalho é a bacia hidrográfica do Rio Butuí (Figura 1), a qual pertence ao comitê de gerenciamento da bacia hidrográfica dos rios Butuí-Icamaquã, fazem parte da região hidrográfica do Rio Uruguai.

A bacia do rio Butuí abrange áreas dos municípios de Itaqui, São Borja e Maçambará. Sua atividade econômica é o plantio de arroz irrigado.

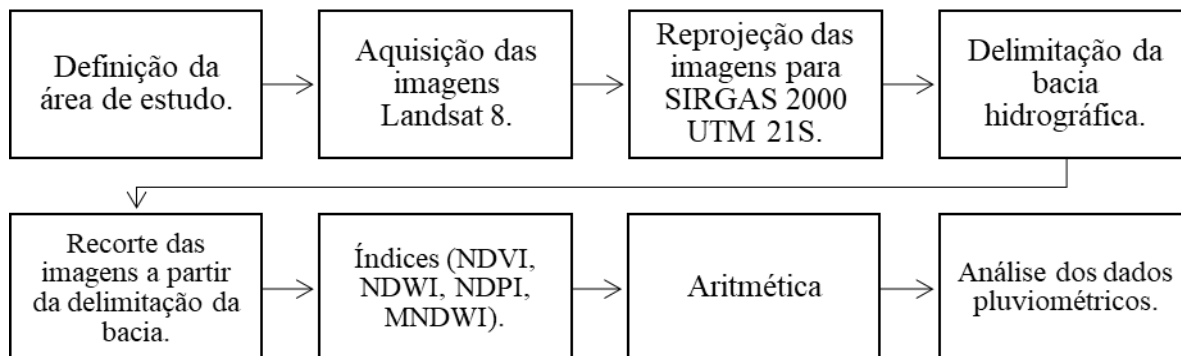
Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Confeccionada pela autora a partir de dados extraídos do IBGE, 2021.

O principal objetivo do presente trabalho foi analisar a área efetivamente inundada da bacia hidrográfica do rio Butuí. No fluxograma (Fluxograma 1) é apresentado um resumo de todos os processos que foram desenvolvidos para a pesquisa. Todos os processos foram realizados no software livre Qgis 3.18.1

Fluxograma 1:Resumo dos processos realizados para o desenvolvimento da pesquisa.



Fonte: Confeccionado pela autora, 2021.

Com a finalidade de atender os objetivos da presente pesquisa, foi necessário utilizar dados morfométricos, no caso o modelo digital de elevação (MDE), disponibilizado pela plataforma online TopoData INPE para realizar a delimitação da bacia hidrográfica do rio Butuí. Posteriormente foram obtidas duas imagens do satélite Landsat 8, nas datas de 08 de Junho de 2016 e 11 de Junho de 2017, uma referente ao rio normal e outra quando o rio atingiu sua cota máxima, respectivamente. As mesmas foram processadas no software Qgis, foram aplicados os índices escolhidos (NDWI, NDVI, MNDWI e NDPI).

Por fim foi realizado o estudo dos dados pluviométricos, da estação localizada no Porto de Itaqui-RS, afim de comparar os dados e vincular as imagens.

### 3.1 Delimitação da bacia

Para realizar a delimitação da bacia hidrográfica do rio Butuí, foi utilizado o Modelo Digital de Elevação, disponibilizados pela plataforma online TopoData Inpe. Posteriormente, esses dados foram reprojatados para SIRGAS 2000 UTM 21S. Para gerar a delimitação da bacia, foi operada a ferramenta Taudem do software Qgis

### 3.2 Índices espectrais

Para a realização dessa fração da pesquisa, foram utilizadas duas imagens do satélite LandSat 8, nas datas já citadas acima, os processos foram realizados no software Qgis. Primeiramente, as imagens foram reprojatadas para SIRGAS 2000 UTM 21S. Após, foi feito o recorte das bandas de utilidade para a pesquisa com base na delimitação da bacia. Bandas de interesse: 3, 4, 5 e 6. Afim de comparar e analisar qual índice se aplica melhor para a pesquisa, foram processados os seguintes índices: NDVI, NDWI, NDPI, MNDWI, composição colorida 654, de acordo com a bibliografia exposta na pesquisa, isto é, fazendo uso das Equações 1,2, 3, 4. Para realizar a reclassificação das imagens em “água” e “não-água” foi utilizada a ferramenta *r.recode*.

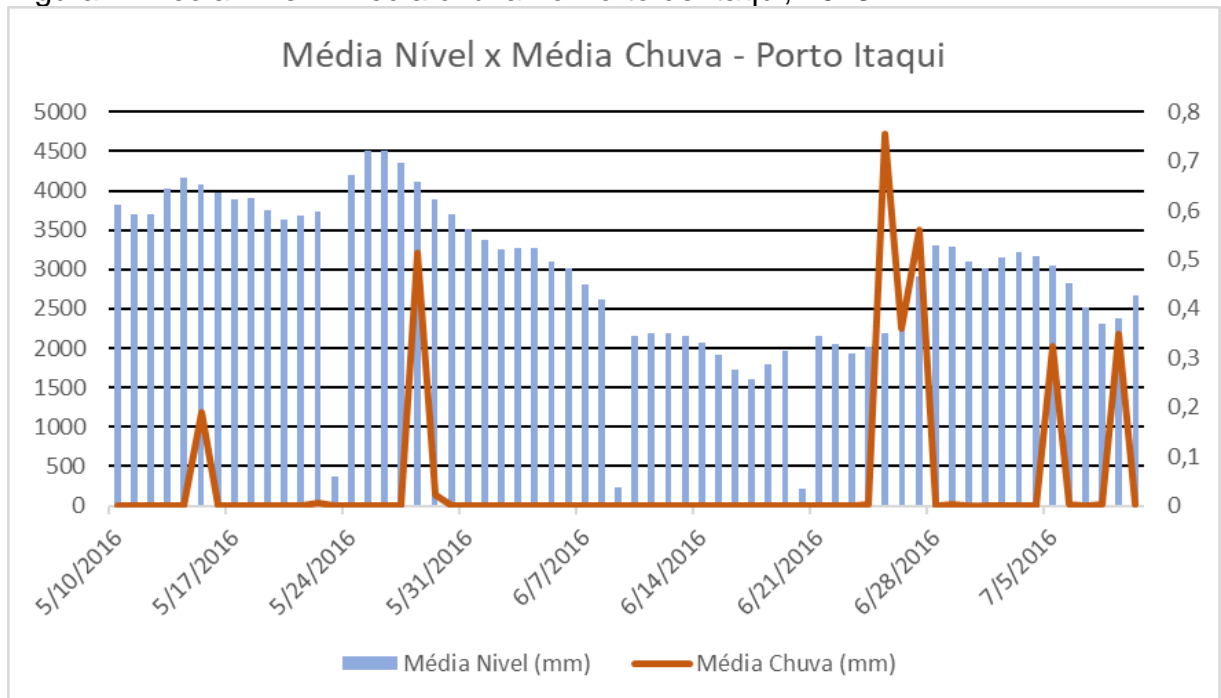
### 3.3 Dados pluviométricos

Os dados utilizados são oriundos do site da SEMA- RS (Secretária de Meio Ambiente e Infraestrutura do Rio Grande do Sul), do qual foi retirado os arquivos com as leituras da régua que esta localizada no porto de Itaqui-RS (código: 75900000), executadas a cada 15 minutos. Foram analisados os dados de 10 de Maio a 10 de Julho de 2016/2017. Foi realizada a média para cada dia analisado e assim comprovado que a maior cota no porto de Itaqui foi em 12 de Junho de 2017, no valor de 13180,52mm.

Posteriormente, foram elaborados gráficos de barra afim de comparar a média diária do nível do rio (altura da régua) com a média diária de precipitação, entre as datas de 10 de Maio à 10 de Julho, com o intuito de analisar o comportamento do rio nas duas situações, em sua normalidade e quando atingiu sua cota máxima.

Na figura 2 o gráfico mostra o comportamento do rio no ano de 2016, onde não ocorreu interferência da chuva.

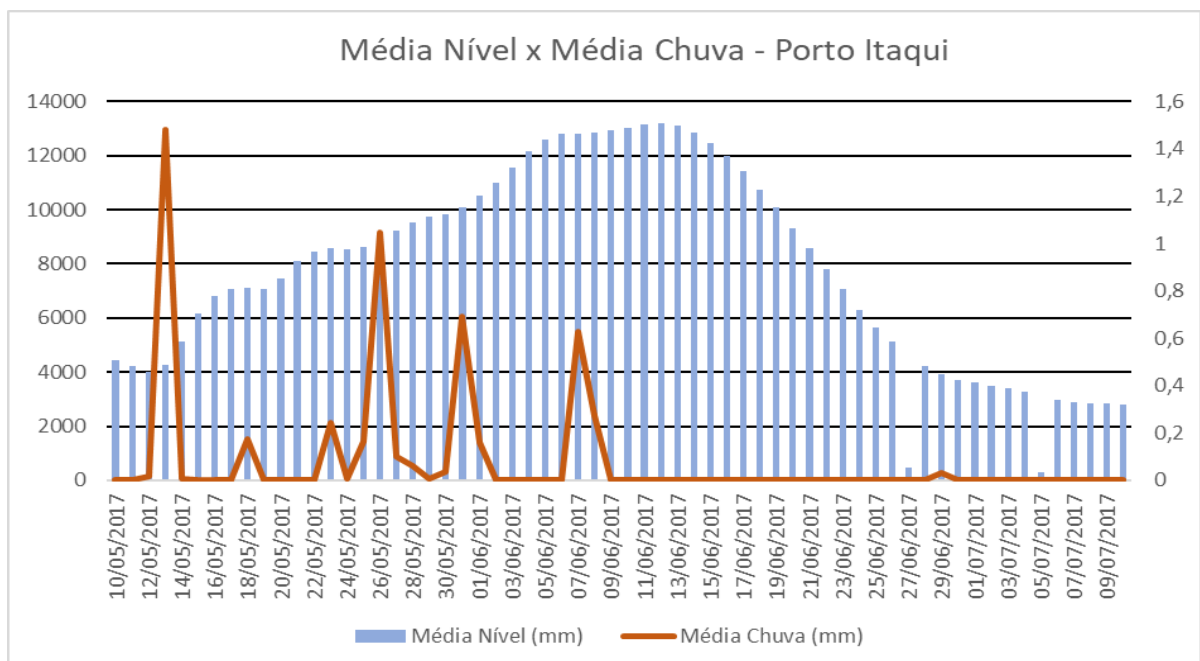
Figura 2: Média nível x Média chuva no Porto de Itaqui, 2016.



Fonte: Confeccionado pela autora a partir de dados extraídos da SEMA-RS.

Foi confeccionado o mesmo gráfico para o ano de 2017 (figura 3) afim de comparar os anos, mostrar a interferência da chuva e vincular os dados pluviométricos as imagens que foram processadas.

Figura 3: Média nível x Média chuva no Porto de Itaqui, 2017.



Fonte: Confeccionado pela autora a partir de dados extraídos da SEMA-RS.

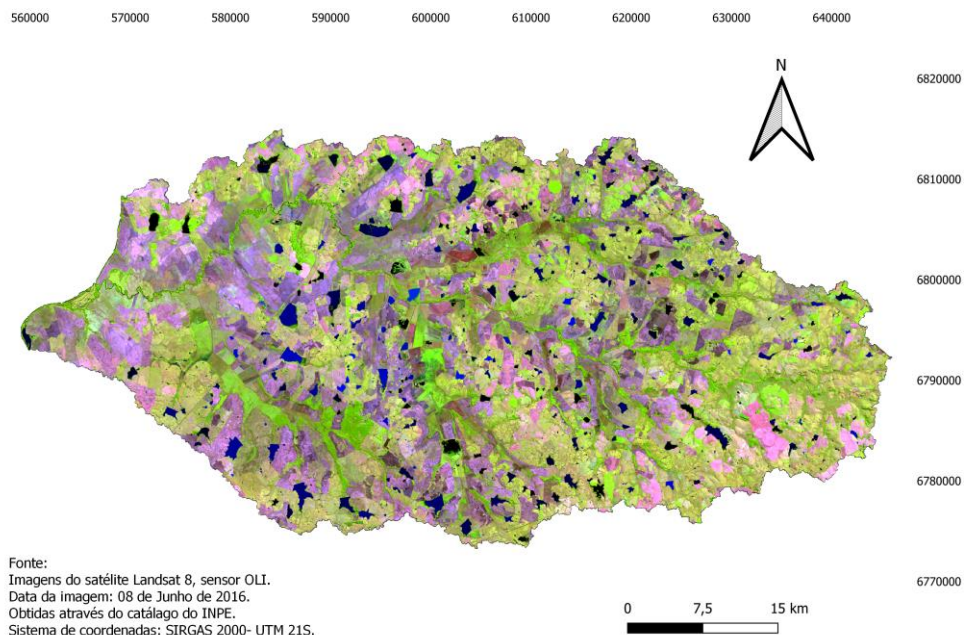
Analisando os gráficos é possível perceber que o mês com o maior nível do rio foi em Junho de 2017, a maior cota foi atingida no dia 12 de Junho no valor de 13180,52mm. Para o mesmo dia do ano anterior a cota foi de 2184,271 mm, a maior cota desse ano foi no dia 26 de maio, no valor de 4512,5mm.

Desta maneira, foi viável estabelecer as datas das imagens que foram utilizadas, dia 11 de Junho de 2017 para a sua cota máxima e dia 08 de Junho de 2016 para sua cota normalizada, também foi levado em consideração a inexistência de interferência nas imagens.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

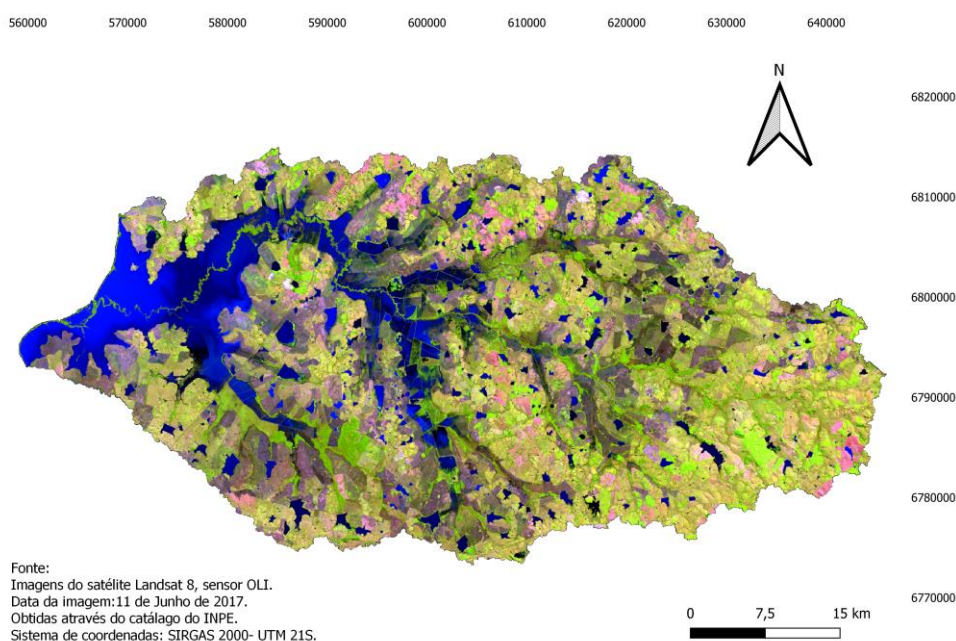
Com o intuito de ilustrar a diferença que ocorreu na área de estudo, nas duas situações observadas pela presente pesquisa, foram elaborados mapas com a composição colorida 654, como pode ser observado nas figuras abaixo. (Figura 4 e Figura 5).

Figura 4- Composição colorida 654 com imagem landsat 8, dia 08 de Junho de 2016 (nível normal da bacia hidrográfica).



Fonte: Confeccionado pela autora, 2021.

Figura 5- Composição colorida 654 com imagem landsat 8, dia 11 de Junho de 2017 (situação de inundação).



Fonte: Confeccionado pela autora, 2021.

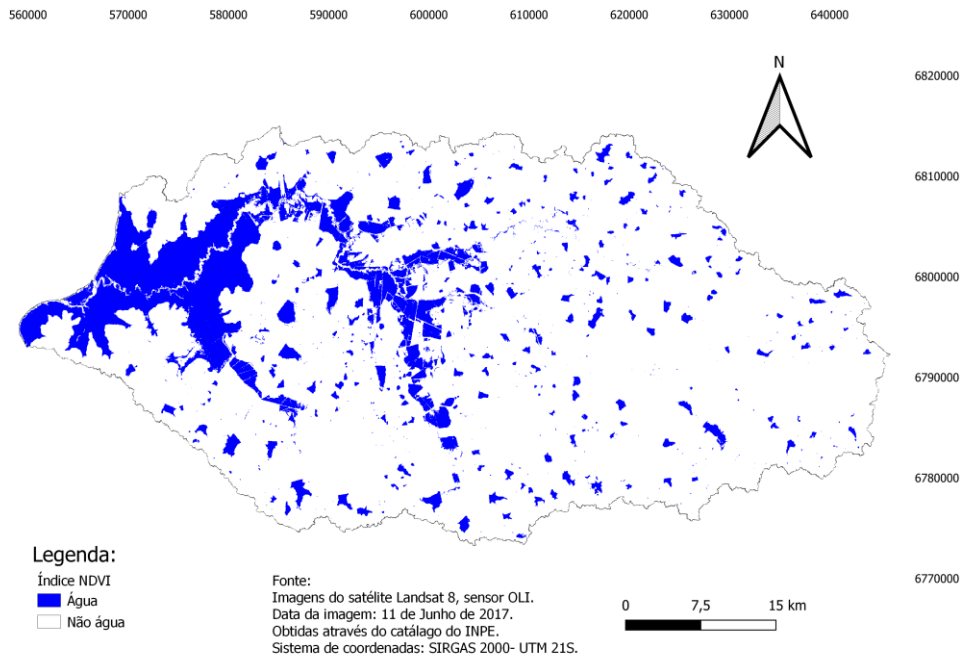
Posteriormente, foram realizados os cálculos dos índices e assim possibilitando a comparação entre eles.

Segundo Debiasi et. al. (2007), o índice NDVI (Figura 6), é um dos mais empregados e aceitos para realizar a análise da cobertura vegetal, além de uma descrição da fitomassa sinteticamente ativa, também corrige os efeitos das sobras provenientes das elevações topográficas sobre a imagem (COSTA et. al. 2007) e (PEOKING et. al.,2007).

De acordo com a tabela 1, o referido índice estabeleceu a menor área inundada referente a área de estudo, Almeida (2018) explica que o índice em questão é muito suscetível à vegetação, o tornando não indicado para delimitação de água, a menos que as faixas SWIR estejam disponíveis no sensor.



Figura 6: Índice NDVI da área inundada.

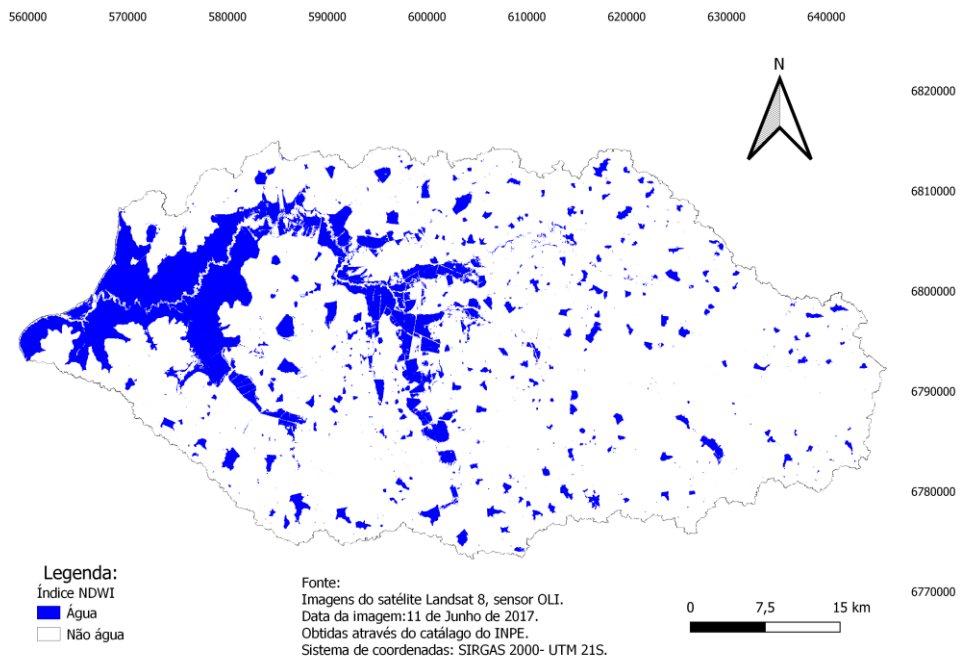


Fonte: Confeccionado pela autora, 2021.

Comparando os índices NDWI (Figura 7) e MNDWI (Figura 8), é possível verificar o que MNDWI delimitou a uma área maior para o corpo d'água. Essa diferença pode ser explicada por dois fatores, uma em relação a cada índice.

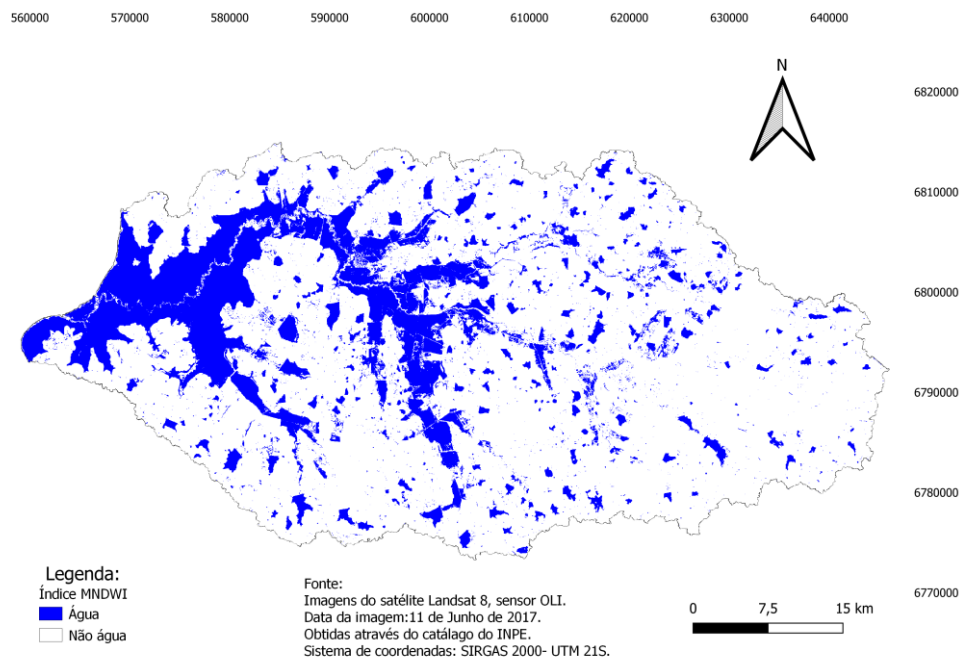
Segundo Brubacher e Guasseli (2013), citam que uma das propriedades do NDWI, é evidenciar como "água" o limiar acima de zero, ou seja, somente áreas com lâminas de água ou vegetação com uma elevada taxa de umidade que serão destacadas a partir das manchas. Pereira et al (2016), expõe que isso se deve ao fato da presença de pixels misturado, como água e vegetação por exemplo. Desta forma, pode-se constatar que o MNDWI considera mais pixels misturados como parte integrante do corpo d'água do que o NDWI.

Figura 7: Índice NDWI da área inundada.



Fonte: Confeccionado pela autora, 2021.

Figura 8: Índice MNDWI area inundada.

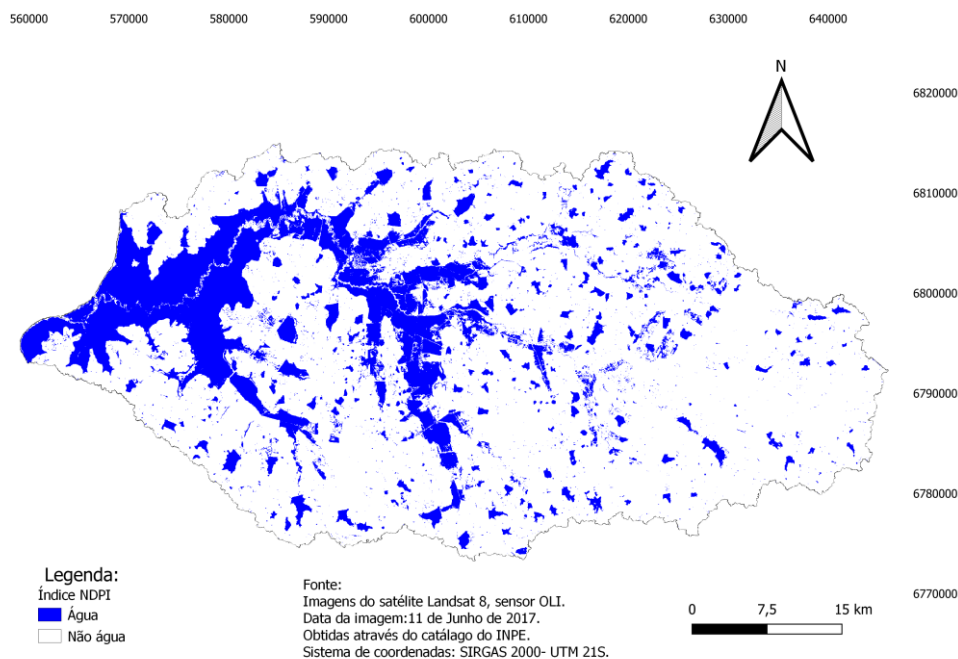


Fonte: Confeccionado pela autora, 2021.

Segundo Mozumder et al (2014) e Kumar (2015) o NDPI (Figura 9) é propício para a extração de corpos d'água e áreas inundadas. Porém, de acordo com

Bittencourt e Guasselli (2017) , a aplicação de apenas um índice não é suficiente para identificar e classificar os diferentes compartimentos de áreas úmidas, dessa maneira é necessário utilizar outros índices como NDWI, MNDWI e NDVI para realizar a composição dos mesmos com o intuito de classificar áreas úmidas, diferenciando áreas que possuem vegetação densa ou cobertura de macrófitas.

Figura 9: Índice NDPI da área inundada.



Fonte: Confeccionado pela autora, 2021.

Posteriormente, foi realizado o cálculo de áreas das classes dos índices, os resultados obtidos estão expostos na tabela (Tabela 1), a seguir.

Tabela 1: Área efetivamente inundada.

Índices	Classes				
	Água (ha)	%	Não água (ha)	%	Área total (ha)
NDVI	35951,4	14,78	207216,7	85,25	243168,2
NDWI	37397,3	15,37	205770,9	84,62	
NDPI	49310,91	20,27	193857,21	79,72	
MNDWI	49329,8	20,28	193838,3	79,71	

Fonte: Confeccionado pela autora, 2021.

Analisando a tabela 1, é possível verificar a discrepância entre alguns índices e a proximidade entre outros. O índice com a maior discrepância foi o NDVI, que teve uma diferença de 5,49% do NDPI, por exemplo. Por outro lado, a diferença entre o NDPI e o MNDWI foi mínima, de apenas 0,01%.

Na tabela 2 é apresentada a composição dos índices, seguindo a indicação dos autores citados acima. As combinações dos índices foram realizadas com o intuito de elevar a qualidade da análise, obter um resultado superior e também possibilita o aumento dos resultados da amostra pois cada índice possui sua particularidade.

Tabela 2: Composição dos índices.

Índices	Classes				
	Água (ha)	%	Não água (ha)	%	Área total (ha)
NDVI+ NDWI	73348,7	15,08	412987,6	84,91	486336,3
NDPI+MNDWI	98640,7	20,28	387695,5	79,71	486336,3
MNDWI+NDWI	86727,1	17,83	399609,2	82,16	486336,3
NDWI+NDPI	86708,2	17,82	399628,1	82,17	486336,3
NDPI+MNDWI+NDWI	136038,01	18,64	593466,4	81,35	729504,4

Fonte: Confeccionado pela autora, 2021.

Analisando a tabela 2, pode-se verificar os índices somados *NDVI+NDWI* foram os que obtiveram o menor valor de área com água (15,08%), já o *MNDWI+NDWI* e *NDWI+MNDWI* tiveram resultados muito próximos, 17,83% e 17,82% respectivamente. Os índices que tiveram o maior valor de área de água foi o *NDPI+MNDWI* (20,28%), enquanto *NDPI+MNDWI+NDWI* obteve 18,64%.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No estado do Rio Grande do Sul, as inundações graduais ou bruscas são habituais, porém, ainda assim é baixo número de municípios que tem conhecimento referente às suas áreas vulneráveis aos desastres naturais e que contemplem a gestão de riscos em seus projetos de avanço urbano. Assim fica evidenciado a indispensável necessidade de detectar e estruturar os dados relacionados aos desastres naturais na esfera nacional, estadual e, essencialmente na esfera municipal, proporcionando a prevenção e o controle dessas ocorrências divergentes.

Tucci (1997) ressalta, é possível realizar o controle das inundações de duas formas: a) Por medidas estruturais (obras hidráulicas, que possui o dever de deter o excedente das águas das chuvas); e b) Por meio de métodos não estruturais, como por exemplo planejamentos, modelagens e mapeamentos.

Deste modo, o estudo e mapeamento de inundações são de suma importância e também de grande complexidade sendo necessário utilizar mais de uma técnica para se obter um resultado coerente.

Observando os resultados alcançados do estudo, pode-se afirmar que os objetivos da pesquisa foram atingidos e também que o uso de técnicas de sensoriamento remoto para esse tipo de pesquisa é eficiente, pois os índices apropriados para a determinação de área inundada apresentaram resultados satisfatórios.

Os índices MNDWI e NDPI, foram os que obtiveram os valores mais próximos, sendo os mais apropriados e indicados para esse tipo de estudo, pelo bom contraste dos corpos d'água e vegetação e também para a composição dos índices, ampliando a probabilidade de resultados.

O índice NDVI se mostrou inadequado para a pesquisa, pois apresentou o valor da área com água com a maior diferença dos outros índices estudados.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, EM de et al. Análise do comportamento do NDVI e NDWI sob diferentes intensidades pluviométricas no município de Sousa-PB. **Revista Estudos Geoambientais, Rio Tinto**, n. 01, 2014.

ALCÁNTARA-AYALA, I. Geomorphology, natural hazard, vulnerability and prevention of natural disasters developing countries. **Gromorphology**. v.47, p.107-124, 2002.

ALMEIDA, Thiago Franklin Santos de. **Influência de pequenos reservatórios no escoamento superficial da bacia hidrográfica do rio Carinhanha**. 2018. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

BARRELLA, Walter et al. As relações entre as matas ciliares, os rios e os peixes. **Rodrigues, RR; Leitão Filho; HF (Ed.) Matas ciliares: conservação e recuperação**, v. 2, p. 187-207, 2000.

BITTENCOURT, Daniela Zanetti; GUASSELLI, Laurindo Antonio. Dinâmica de Inundação do Banhado a partir do índice NDPI, Reserva Biológica de São Donato-RS. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 33, p. 85-96, 2017.

BRASIL. Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 09 jan. 1997. Disponível em: <<http://www.camara.gov.br/sileg/integras/470365.pdf>>. Acesso em: 18 out. 2019.

BRUBACHER, João Paulo; GUASSELLI, Laurindo Antonio. Mapeamento da área inundável da planície do rio dos Sinos a partir do índice NDWI, São Leopoldo-RS. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil**, p. 4540-4547, 2013.

CARR, Ralph Lawrence. **Delph Carpenter, Father of Colorado River Treaties: Text of Governor Ralph L. Carr's 1943 Salute to Delph Carpenter**. Colorado Water Resources Institute, Colorado State University, 1991.

CUNHA, Christian Santana; SILVEIRA, Péterson Oliveira; RUHOFF, Anderson Luis. Índices de vegetação, água e temperatura utilizados na busca de padrões em diferentes classes de uso do solo na bacia hidrográfica do rio santa maria-rs entre 1990 a 2017. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (19.: 2019 abr.: Santos, SP). Anais. São José dos Campos: INPE, 2019.**, 2019.

DE ALMEIDA PEREIRA<sup>1</sup>, Gabriel Henrique; LOHMANN, Marciel; MAGANHOTTO, Ronaldo Ferreira. Proposta e avaliação de índices para delimitar e mapear corpos d'água utilizando imagens do satélite LANDSAT 8. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 06, p. 1956-1968, 2016.

DEBIASI, Paula et al. Fusão de imagens MODIS com NDVI do Landsat para a classificação de áreas de cultivo de Soja. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)**, p. 21-26, 2007.

GONÇALVES, Bruno Leonardo et al. ANÁLISE DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO PARA CLASSIFICAÇÃO DE ÁREAS POTENCIAIS DE OCORRÊNCIA DE ATTALEA SPECIOSA MART. EX SPRENG. **Revista Georaguai**, v. 10, n. 2, p. 86-101, 2020.

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.

GIL, Andressa Padovani; PADOVANI, Carlos Roberto; COELHO, André Luiz Nascentes. Comparação entre NDWI e MNDWI para o mapeamento de áreas inundadas no Pantanal do Taquari. In: **Embrapa Pantanal-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 19., 2019, Santos. Anais... São José dos Campos: INPE, 2019., 2019.

GALVÃO, Lênio Soares et al. Possibilities of discriminating tropical secondary succession in Amazônia using hyperspectral and multiangular CHRIS/PROBA data. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 11, n. 1, p. 8-14, 2009.

HARDISKY, M.; KLEMAS, V.; SMART, M. The influence of soil salinity, growth form, and leaf moisture on the spectral radiance of. **Spartina alterniflora**, v. 49, p. 77-83, 1983.

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

JENSEN, John R.; EPIPHANIO, José Carlos Neves. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese Editora, 2009.

JI, Lei; ZHANG, Li; WYLIE, Bruce. Analysis of dynamic thresholds for the normalized difference water index. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 75, n. 11, p. 1307-1317, 2009.

KUMAR, M. C. V. S. S. Automatic extraction of water features at multiple scales. **Master of Technology in Remote Sensing and GIS, Indian Institute of Remote Sensing**, India, 2015, 92 p.

MENESES, Paulo Roberto et al. Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. **Universidade de Brasília, Brasília**, 2012.

MOZUMDER, Chittrini; TRIPATHI, N. K.; TIPDECHO, Taravudh. Ecosystem evaluation (1989–2012) of Ramsar wetland Deepor Beel using satellite-derived

índices. **Environmental monitoring and assessment**, v. 186, n. 11, p. 7909-7927, 2014.

NOVO, E. M. L. M. Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações. 2ª edição. **São Paulo: Edgard Blücher**, v. 308, 2010.

PENHA, Thales Vaz et al. Detecção e delimitação automática de corpos hídricos em imagens Sentinel-2: uma proposta de integração do algoritmo Fmask aos índices espectrais NDWI e MNDWI. **Anais do XVIII GEOINFO, Salvador**, p. 340-345, 2017

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.

POELKING, Everton Luís; LAUERMANN, Andressa; DALMOLIN, Ricardo. Imagens CBERS na geração de NDVI no estudo da dinâmica da vegetação em período de estresse hídrico. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 13, p. 4145-4150, 2007.

PONZONI, Flávio Jorge; SHIMABUKURO, Yosio Edemir; KUPLICH, Tatiana Mora. **Sensoriamento remoto da vegetação**. Oficina de Textos, 2015.

PORTO, Monica F. A.; PORTO, Rubem La Laina. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, [s.l.], v. 22, n. 63, p.43-60, 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40142008000200004>.

QGIS: Um Sistema de Informação Geográfica livre e aberta. Disponível em: <[https://www.qgis.org/pt\\_BR/site/](https://www.qgis.org/pt_BR/site/)> . Acesso em: 01.Nov.2019.

DOS SANTOS, A. M.; GALVÍNCIO, J. D.; DE MOURA, M. S. B. Aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para identificação da cobertura fitogeográfica da Bacia Hidrográfica do rio Goiana-PE. In: **Embrapa Semiárido- Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: SIMPÓSIO DE GEOGRAFIA FÍSICA DO NORDESTE, 2., 2008, João Pessoa. Sustentabilidade e meio ambiente no Nordeste brasileiro. João Pessoa: UFPB: DGEOC: CCEN: PPGG, 2008., 2008.

TOMINAGA, Lídia Keiko; SANTORO, Jair; AMARAL, Rosângela. Desastres naturais. **São Paulo: Ed. Instituto Geológico**, 2009.

TUCCI, C. E. M. **Água no Meio Urbano**. In: Aldo da Cunha REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Org.). Águas Doces no Brasil. São Paulo: Escrituras, 1997.

TUCCI, C. e. M. 1997. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2.ed. Porto alegre: aBRH/ editora da UFRGS, 1997. (Col. aBRH de Recursos Hídricos, v.4).

XU, Hanqiu. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. **International Journal Of Remote Sensing**, [s.l.], v. 27, n. 14, p.3025-3033, 20 jul. 2006. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/01431160600589179>.



YASSUDA, Eduardo Riomey. Gestão de recursos hídricos: fundamentos e aspectos institucionais. **Brazilian Journal of Public Administration**, v. 27, n. 2, p. 5 a 18-5 a 18, 1993.

WMO. the dublin statement and Report of the Conference. international conference on Water and the environment: Development issues for the 21st century. 26-31 January 1992. dublin, Ireland.