



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
**“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**  
Campus de São José dos Campos  
Instituto de Ciência e Tecnologia



UNIDADE DE PESQUISA DO  
**MINISTÉRIO DA**  
**CIÊNCIA, TECNOLOGIA,**  
**INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES**



**ALAN DOS SANTOS PIMENTEL**

**ANÁLISE DE IMPACTO DE INUNDAÇÃO FLUVIAL DO**  
**RIO SOLIMÕES NA ÁREA RURAL**

**ALAN DOS SANTOS PIMENTEL**

**ANÁLISE DE IMPACTO DE INUNDAÇÃO FLUVIAL DO RIO SOLIMÕES NA  
ÁREA RURAL**

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Campus de São José dos Campos; Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), como parte dos requisitos para obtenção do título de MESTRE pelo Programa de Pós-Graduação em DESASTRES NATURAIS.

Área: Desastres Naturais. Linha de pesquisa: Desastres associados a eventos extremos, inundações e movimentos de massa.

Orientadora: Dra. Tatiana Sussel Gonçalves Mendes

São José dos Campos

2021

Instituto de Ciência e Tecnologia [internet]. Normalização de tese e dissertação [acesso em 2021]. Disponível em <http://www.ict.unesp.br/biblioteca/normalizacao>

Apresentação gráfica e normalização de acordo com as normas estabelecidas pelo Serviço de Normalização de Documentos da Seção Técnica de Referência e Atendimento ao Usuário e Documentação (STRAUD).

Pimentel, Alan dos Santos

Análise de impacto de inundação fluvial do rio Solimões na área rural / Alan dos Santos Pimentel. - São José dos Campos : [s.n.], 2021.  
72 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Desastres Naturais) - Pós-graduação em Desastres Naturais - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia; Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), São José dos Campos, 2021.

Orientadora: Tatiana Sussel Gonçalves Mendes.

1. Transferência do risco. 2. Severidade do impacto. 3. Eventos extremos. I. Mendes, Tatiana Sussel Gonçalves, orient. II. Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, São José dos Campos. III. Universidade Estadual Paulista 'Júlio de Mesquita Filho' - Unesp. IV. Universidade Estadual Paulista (Unesp). V. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden). VI. Título.

## **BANCA EXAMINADORA**

**Dra. Tatiana Sussel Gonçalves Mendes**

Universidade Estadual Paulista - UNESP

Instituto de Ciência e Tecnologia - ICT

São José dos Campos

**Dra. Rejane Ennes Cicerelli**

Universidade de Brasília - UnB

Instituto de Geociências - IG

Campus Darcy Ribeiro - ICC

**Dr. Conrado de Moraes Rudorff**

Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden)

São José dos Campos, 09 de agosto de 2021.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me abençoado todos os dias.

Agradeço imensamente aos meus pais, Francisco e Tereza, e ao meu irmão Alex, por fazerem parte da minha vida, serem meu porto seguro e sempre doarem o seu melhor por mim, mesmo durante minha ausência.

Ao Programa de Pós-Graduação em Desastres Naturais, especialmente a minha orientadora Dra. Tatiana Sussel Gonçalves Mendes, pela orientação, apoio, paciência, ensinamentos, acessibilidade e por acreditar no meu esforço, foi fundamental para realização deste trabalho. Muito obrigado.

A todos os professores do Programa que fizeram parte da minha formação acadêmica, em especial ao Dr. Conrado de Moraes Rudorff pelas conversas, inúmeros conselhos dados no caminho, valores e conhecimentos agregados.

Ao Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden) pela experiência profissional, em especial Dra. Ana Paula Martins do Amaral Cunha e a Dra. Regina Célia dos Santos Avalá.

Ao Adriano Mota e o Jorge Barbarotto por serem minha família durante minha estadia em São José dos Campos na “República Margosa”, pelo companheirismo, boas conversas e aprendizados, minha gratidão. Ao meu amigo de sala João Victor e minha amiga de mais longa data Ylza Lima, obrigado pela colaboração. A Carolina Amaral que foi importante nesse processo.

Agradeço ao Dr. Irving Foster Brown, Dra. Vera Reis Brown e Dra. Elsa Reneé Huamán Mendoza, e Dr. Rodrigo Otávio Peréa Serrano por terem me incentivado em vários momentos antes de ingressar nesta jornada.

A todos que me apoiaram e tornaram esse trabalho possível,

Muito obrigado.

**“A Lei de Murphy não significa que algo errado vai acontecer. Significa que tudo o que pode acontecer, acontecerá”. Interestelar (2014)**

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>6</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>8</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....</b>	<b>9</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>10</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>11</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 Análise de impacto de inundação.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2 Transferência do risco .....</b>	<b>18</b>
<b>2.3 Mapeamento das áreas de inundação.....</b>	<b>21</b>
<b>2.3.1 Modelos hidráulicos .....</b>	<b>23</b>
<b>2.3.2 Modelo empírico baseado em imagens de radar .....</b>	<b>24</b>
<b>3 PROPOSTA DE PESQUISA.....</b>	<b>28</b>
<b>3.1 Objetivo geral .....</b>	<b>28</b>
<b>3.2 Objetivos específicos .....</b>	<b>28</b>
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>29</b>
<b>4.1 Área de estudo .....</b>	<b>29</b>
<b>4.2 Método.....</b>	<b>32</b>
<b>4.2.1 Mapeamento das áreas de inundação.....</b>	<b>33</b>
<b>4.2.2 Elementos expostos para vinculação ao impacto.....</b>	<b>37</b>
<b>4.2.3 Análise de impacto .....</b>	<b>38</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>43</b>
<b>5.1 Mancha de inundação .....</b>	<b>43</b>
<b>5.2 Análise do impacto de inundação .....</b>	<b>47</b>
<b>5.3 Análise de impacto nas áreas agricultáveis.....</b>	<b>49</b>
<b>5.4 Severidade do impacto .....</b>	<b>54</b>
<b>6 CONCLUSÕES .....</b>	<b>60</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>62</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Risco no contexto da ameaça, exposição e vulnerabilidade.....	16
Figura 2 - Categorização dos danos de inundação. ....	17
Figura 3 - Gestão para transferência do risco.....	20
Figura 4 - Interação das bandas X, C e L por baixo da vegetação. ....	26
Figura 5 - Dispersão do sinal SAR em áreas inundadas.....	26
Figura 6 - Localização da área de estudo no Município de Manaquiri, Amazonas. ....	29
Figura 7 – Variação do relevo na área de estudo no município de Manaquiri.....	31
Figura 8 - Estações climáticas e fluviais em áreas de várzea na Amazônia Central.....	32
Figura 9 - Fluxo metodológico do estudo de impacto de inundação.....	33
Figura 10 - Imagem do Sentinel 1 na composição vermelha (VH), verde (VH) e azul (VH/VV) no período de inundação máxima no mês de junho de 2021. ....	35
Figura 11 - Segmentação do impacto na várzea baixa da várzea alta. ....	39
Figura 12 - Variação do rio Solimões entre 2018 e 2019 exemplificando o período de plantio e colheita na várzea baixa. ....	39
Figura 13 - Demonstrativo da disposição dos elementos utilizados na análise de impacto levando em consideração a área de cheia da cota mediana, o evento de inundação, a área exposta à ameaça de inundação e os elementos impactados, no caso, edificações, propriedades e áreas agricultáveis.....	40
Figura 14 - Mancha de inundação obtida a partir do processamento de imagens SAR do satélite Sentinel 1. ....	43
Figura 15 - Extensão da inundação gerada por modelagem hidráulica a cada 25 centímetros de profundidade.....	46



Figura 16 - Comparativo entre área de água permanente e as áreas afetadas pela cheia mediana. ....	48
Figura 17 - Nível máximo do rio Solimões nos últimos 11 anos. ....	49
Figura 18 - Variação do impacto de inundação em área agricultável (hectares) de acordo com dados dos últimos nove anos na área de estudo no município de Manaquiri.....	50
Figura 19 - Curva de profundidade da mancha <i>versus</i> impacto das edificações, propriedades e áreas agricultáveis (2019) impactadas de acordo com as manchas de inundação simulada. ...	54
Figura 20 - Espacialização da severidade do impacto de inundação nas edificações, propriedades e área agricultável nos anos de 2017, 2019 e 2021.....	56
Figura 21 - Áreas com população afetada de acordo com o relatório FIDE.....	57

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1- Estimativa do impacto de área agricultável para os anos de nível máximo acima da cota da cheia mediana.....	51
Tabela 2 - Histórico de solicitação de reconhecimento de desastre de inundação nos últimos 11 anos na cidade de Manaquiri. ....	52
Tabela 3 - Quantidade dos setores impactados por porcentagem de impacto.....	58

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

1D	1D unidimensional
2D	2D bidimensional
ANA	Agência Nacional de Águas
AERSET/ NASA	Applied Remote Sensing Training Program
ASF	Alaska Satellite Facility
Cemaden	Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
ECP	Estado de Calamidade Pública
ESA	European Space Agency
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nation
FIDE	Formulário de Informações do Desastre
GEE	Google Earth Engine
GS	Garantia-Safra
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFRC	International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies
MDE	Modelos Digitais de Elevação
MDT	Modelo Digital de Terreno
Pronaf	Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar
RRD	Redução de Riscos de Desastres
S2iD	Sistema Integrado de Informações sobre Desastres
SAR	Synthetic Aperture Radar
SE	Situação de Emergência
SEDEC	Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil
Simpdec	Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil
TR	Tempo de retorno
UNDRR	United Nations Office for Disaster Risk Reduction
UN-SPIDER	United Nations Platform for Space-based Information for Disaster Management and Emergency Response

PIMENTEL, A.S. **Análise de impacto de inundação fluvial do rio Solimões na área rural.** 2021. Dissertação (Mestrado em Desastres Naturais) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia; Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), São José dos Campos, 2021.

## RESUMO

Nos últimos anos, os danos ocasionados por eventos extremos de inundação fluvial têm impactado as áreas rurais. Compreender os impactos advindos do processo de inundação é uma premissa indispensável no desenvolvimento e planejamento de estratégias para mitigação dos danos. No entanto, os trabalhos envolvendo análises de impacto de inundação em áreas agrícolas ainda são poucos na literatura, ocasionando lacunas nesta área do conhecimento frente a relevância destas informações no processo de gestão de risco de desastres e sua importância para nortear políticas de transferência do risco. Neste sentido, esta pesquisa tem como objetivo a análise de impacto na área rural com enfoque aos eventos extremos de inundação fluvial associado ao rio Solimões no estado do Amazonas. A análise de impacto combinou a extensão da inundação extraída a partir da modelagem hidráulica, dados de radar da banda C, dados do uso e cobertura da terra referente à área agricultável e dados pontuais com a localização das edificações e propriedades agrícolas. A identificação do início do impacto se deu por adoção do critério climatológico com base na mediana das vazões máximas anuais. A identificação dos elementos expostos aos eventos de inundação foi realizada com base na mancha simulada que representa um evento com tempo de retorno de 100 anos. Posteriormente, foi feita a quantificação do impacto de acordo com as manchas de inundação, que permitiu realizar o dimensionamento das edificações, propriedades e áreas agricultáveis passíveis de danos, resultando na proposta de um limiar para acionamento da transferência do risco que considerou o critério climatológico e a área agricultável impactada igual ou maior que 40%. A severidade do impacto foi obtida a partir da representação espacial das propriedades, edificações e área agricultável impactadas para cada um dos setores censitários. Considerando estes limiares constatou-se que para as inundações ocorridas em 2012, 2013, 2014, 2015 e 2021 haveria necessidade de acionamento da transferência do risco por meio do seguro agrícola. Para o ano de 2021, considerado o evento de maior criticidade, ao espacializar a severidade do impacto, majoritariamente, os setores censitários tiveram impacto igual ou maior que 50%. Os resultados indicaram que a definição do início do impacto vinculado à quantificação dos danos em áreas agricultáveis tem operacionalidade para gerar subsídios na gestão de riscos de desastres, além do potencial uso no acionamento de seguro. O detalhamento do impacto por setor censitário pode ser relevante no planejamento dos locais que devem ser priorizados na disponibilização de recursos. As informações geradas têm potencial de contribuir com políticas públicas e no aperfeiçoamento de alertas, além de servir como um norteador na elaboração de planos de contingência.

Palavras-chave: Transferência do risco. Severidade do impacto. Eventos extremos.

PIMENTEL, A. S. *Impact analysis of River Solimões river flooding in rural area*. 2021. Dissertation (Master's degree in Natural Disaster) - São Paulo State University (Unesp), Institute of Science and Technology, National Center for Monitoring and Early Warning of Natural Disasters (Cemaden), São José dos Campos, 2021.

### **ABSTRACT**

*In recent years, damage caused by extreme river flood events has impacted rural areas. Understanding the impacts arising from the flooding process is an essential premise in the development and planning of strategies to mitigate damage. However, studies involving flood impact analysis in agricultural areas are still few in the literature, causing gaps in this area of knowledge given the relevance of this information in the disaster risk management process and its importance to guide risk transfer policies. In this regard, this research aims at impact analysis in rural area focusing on extreme events of river flooding associated with the Solimões River in the state of Amazonas. The impact analysis combined the extent of the flood extracted from hydraulic modelling, C-band radar data, land use and land cover data for the arable area, and point data with the location of buildings and agricultural properties. The identification of the onset of the impact was carried out by adopting the climatological criterion based on the median of the maximum annual flows. The identification of elements exposed to flood events was carried out based on the simulated spot, which represents an event with a return time of 100 years. Subsequently, the quantification of the impact was made according to the flood inundation maps which allowed dimensioning of buildings, properties and agricultural areas susceptible to damage, resulting in the proposal of a threshold for triggering the transfer of risk that considered the climatological criterion and the impacted arable area equal to or greater than 40%. The severity of the impact was obtained from the spatial representation of the impacted properties, buildings, and arable area for each of the census sectors. Considering these thresholds, it was found that for the floods that occurred in 2012, 2013, 2014, 2015, and 2021 there would be a need to trigger the transfer of risk through agricultural insurance. In the impact severity spatial representation for the year 2021, considered the most critical event, most census sectors had an impact equal to or greater than 50%. The results indicated that the definition of the beginning of the impact linked to the quantification of damages in arable areas is operational to generate subsidies in the management of disaster risks, in addition to the potential use in triggering insurance. The detailed impact by the census sector can be relevant in planning the locations that should be prioritized in the provision of resources. The information generated has the potential to contribute to public policies and improve alerts.*

*Keywords: Risk transfer. Impact severity. Extreme events.*

## 1 INTRODUÇÃO

Quando observadas as últimas décadas, os desastres atribuídos a fenômenos meteorológicos e climáticos aumentaram 73% nos anos 90, 76% nos anos 2000, chegando a 83% na década de 2010. Neste cenário, os danos ocasionados por inundações fluviais têm se tornando cada vez mais frequentes. Somente em 2019, os eventos de inundações se destacaram frente as outras tipologias de desastre correspondendo a 27% dos registros (INTERNATIONAL FEDERATION OF RED..., 2020). Por consequência, espera-se o contínuo agravamento da ocorrência da ameaça de inundação, fundamentada pelo aumento da densidade demográfica, o desenvolvimento de atividades econômicas em áreas susceptíveis a inundação e a variabilidade climática (TANOUE et al., 2016; WINSEMIUS et al., 2016).

Neste contexto, os países em desenvolvimento apresentam maior vulnerabilidade quanto aos desastres de inundação por possuírem recursos limitados para lidar com eventos extremos (SHRESTHA et al., 2018). Além das áreas urbanas serem afetadas por estes eventos, as áreas rurais também têm sido impactadas e, muitas vezes, com maior intensidade. Dados da Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) relatam que, entre os anos de 2006 e 2016, a agricultura absorveu 17% dos danos causados por inundações. Nos países em desenvolvimento, entre 2005 e 2015, as inundações foram responsáveis por 20% da perda cumulativa da produção de lavouras e pecuária, alcançando a ordem de US\$ 19,5 bilhões (FOOD AND AGRICULTURE..., 2015).

No Brasil, entre 2000 e 2019, em torno de 70 milhões de pessoas foram afetadas por eventos de inundação (OFFICE FOR THE COORDINATION..., 2020). No período de 2013 a 2017, os desastres de inundação, enxurradas e alagamentos representaram o segundo maior quantitativo de reconhecimentos de Situação de Emergência (SE) e Estado de Calamidade Pública (ECP) realizados pela Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC). Os reconhecimentos se distribuem de forma mais acentuada na região Sul (58,91%), Norte (19,05%) e Sudeste (11,9%) (MARCHEZINI et al., 2020).

Na região Norte do Brasil, as comunidades ribeirinhas vêm sofrendo perdas sistemáticas na produção agrícola por inundações. No estado do Amazonas, durante os anos de 1991 e 2012, a ocorrência dos desastres de inundação gradual e brusca foi a mais frequente (42,8%) (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, 2013). Durante o ano de 2021, o rio Amazonas, em Manaus, registrou a maior cota (30,02 metros) de toda série histórica (SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL, 2021). Até julho de 2021, houve o

reconhecimento federal de inundação para 48 municípios dos 62 que compõe o estado do Amazonas (SECRETARIA NACIONAL..., 2021).

O aumento observado e previsto na frequência de danos por inundação torna a atividade de avaliação dos impactos e danos essencial para gestão de riscos (SHRESTHA et al., 2018). Os danos podem ser expressos quantitativamente com base no mapeamento da área afetada e na relação entre a profundidade e o dano esperado conforme o tipo de uso e cobertura da terra (BARÓ et al., 2007; PINOS et al., 2017; SHRESTHA et al., 2018). As abordagens utilizadas para mapear áreas alagadas em eventos de cheia de rios podem ser desenvolvidas através de modelagem hidráulica (GRIMALDI et al., 2013) e por meio de técnicas de sensoriamento remoto utilizando imagens de satélite.

No entanto, apesar de vários estudos de análise de danos relacionados à inundação na área urbana (MOURA e ROZELLE, 2019; PINOS et al., 2017; YILDIRIM e DEMIR, 2019), verifica-se uma escassez de trabalhos na área rural. Dentre as dificuldades observadas, podem ser citadas aquelas relacionadas à obtenção de dados de produção, de amostras de dados de campos, da delimitação das áreas específicas de cultura, de disponibilização de imagens de alta resolução (espaciais e/ ou temporais) para identificação do tipo de cultura, especialmente em pequenas propriedades com características de agricultura familiar com diferentes tipos de culturas.

As informações provenientes da avaliação de danos podem subsidiar desde a tomada de decisão, passando pela implementação de políticas públicas ou mesmo ser usada como parâmetro para transferência de risco por meio do seguro agrícola, sendo acionado de acordo com parâmetros pré-estabelecidos, de modo que os agricultores possam ter acesso a uma compensação financeira (FOOD AND AGRICULTURE..., 2016).

No que se refere a seguro agrícola no contexto dos desastres, o Brasil tem tido êxito na incorporação de instrumentos que atendam aos riscos que a agricultura familiar está exposta, a exemplo, tem-se o programa Garantia-Safra (GS), uma ação do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf), que entrega um valor financeiro aos agricultores que tiveram perda verificada de pelo menos 50% da safra decorrente de intempéries climáticas por seca ou excesso hídrico. Atualmente, os agricultores atendidos localizam-se majoritariamente no semiárido, que é recorrentemente impactado por eventos de seca (FOOD AND AGRICULTURE..., 2018).

Em contraste com a região semiárida no Nordeste, o estado do Amazonas, na região Norte, tem vivenciado picos extremos de cheia dos rios, afetando especialmente os produtores

da agricultura familiar, os quais buscam tirar seu sustento convivendo com o impacto das inundações.

Entende-se que a análise conjunta dos dados provenientes das áreas inundadas associada às informações do uso e cobertura da terra, permite desenvolver uma análise de impacto eficiente para indicação de áreas que foram afetadas por eventos de inundação, com perspectiva de poder apoiar na definição de uma metodologia para transferência de risco.

Tendo em vista a importância do tema, este trabalho tem como objetivo propor uma análise de impacto ocasionada por extremos de inundação fluvial no rio Solimões na área rural do município de Manaquiri, no estado do Amazonas. Como objetivos específicos, o presente trabalho propõe verificar o potencial das imagens de radar para o mapeamento de manchas de inundação; analisar o impacto de inundação nas áreas agricultáveis, propriedades e edificações localizadas na várzea alta do município, propor os limiares para acionamento da transferência do risco e representar espacialmente a severidade do impacto.



## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta os conceitos para o desenvolvimento do estudo proposto, os quais são baseados, principalmente, em: Análise de impacto de inundação (seção 2.1), Transferência do risco (seção 2.2) e Mapeamento das áreas de inundação (seção 2.3).

### 2.1 Análise de impacto de inundação

Quanto à estrutura conceitual do termo impacto, Brémond e Grelot (2013) discorrem que o impacto das enchentes pode ser entendido como qualquer efeito que as inundações possam desencadear. A premissa para análise do impacto de desastres decorrente dos eventos de inundação parte da identificação, na área de interesse, das variáveis que estão expostas à ameaça de inundação. Tais variáveis podem ser identificadas por meio do mapeamento e/ou simulações e, posteriormente, ser desenvolvida a avaliação dos danos considerando a vulnerabilidade de cada variável (SHRESTHA et al., 2018).

De acordo com o Terminology, publicado pela United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNITED NATIONS OFFICE..., 2019), a ameaça é definida como evento físico, fenômeno ou atividade humana que pode ser prejudicial a ponto de resultar em perdas humanas, danos à propriedade, perdas econômicas ou degradação ambiental. Sua origem pode ser natural ou desencadeada por processos humanos.

A exposição pode ser entendida como ativos humanos tangíveis (infraestrutura, habitação, produção) em áreas passíveis de ameaça. A exposição se refere à pergunta “Quem ou o que será afetado?” (OUBENNACEUR et al., 2019). A vulnerabilidade é caracterizada pelas condições determinadas por fatores ou processos físicos, sociais, econômicos e ambientais que eleva a suscetibilidade de uma comunidade e ativos ao impacto (UNITED NATIONS OFFICE..., 2017).

Por conseguinte, o risco de desastre é considerado uma complexa interação entre a possibilidade de ocorrência e a gravidade de um evento físico danoso (ameaça) associado a fragilidade das pessoas (vulnerabilidade) ou ativos expostos. De forma geral, as perdas e impactos dos desastres estão geralmente relacionados com a exposição, vulnerabilidade e a gravidade do evento físico (UNITED NATIONS OFFICE..., 2017), conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Risco no contexto da ameaça, exposição e vulnerabilidade.

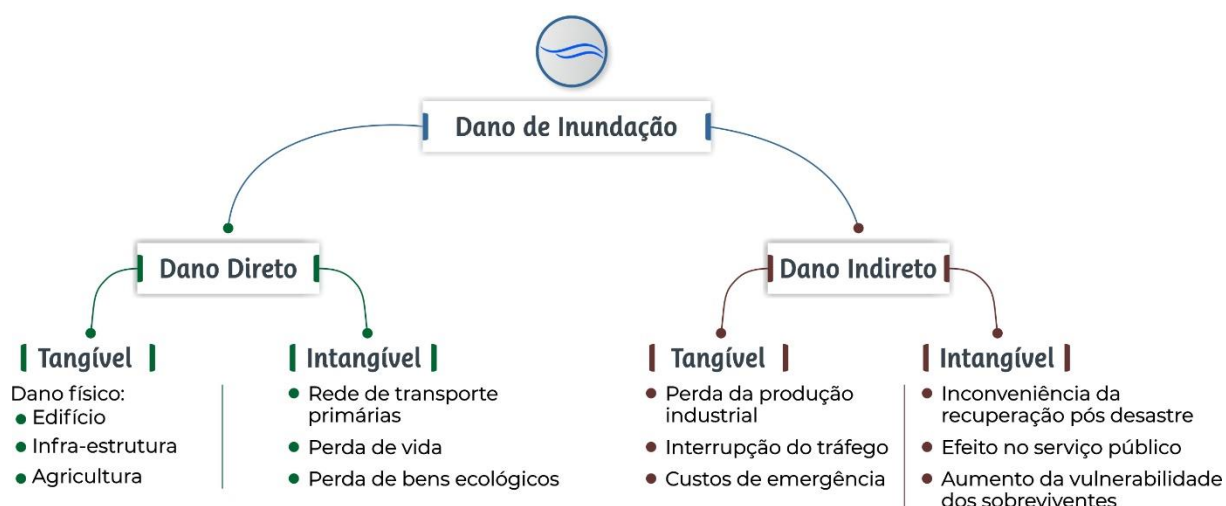


Fonte: elaborado pelo autor.

Quanto aos danos, estes podem ser classificados em tangível e intangível, além de poder ser categorizado em ação de dano direto e indireto. O dano tangível é definido como o impacto que pode ser quantificado e/ ou especificado em valores monetários, como danos a edifícios, propriedades residenciais, safras agrícolas e perda de produção. O dano intangível é de difícil mensuração ou mesmo impossível de ser precificado, por exemplo, a perda de vida e impactos na saúde, como lesões, estresse e ansiedade (HAMMOND et al., 2015; KEFI et al., 2018; SHRESTHA et al., 2018;).

A categoria dano direto corresponde a qualquer impacto ocasionado pelo contato direto com o evento de inundação, enquanto o dano indireto é desencadeado fora da área afetada pela inundação, como o custo da interdição do tráfego de veículos, serviços de emergência (BRÉMOND e GRELOT., 2013; HAMMOND et al., 2015; SHRESTHA et al., 2018). A Figura 2 ilustra a categorização de danos com exemplos.

Figura 2 - Categorização dos danos de inundação.



Fonte: adaptado de Shrestha et al. (2018).

A profundidade do evento de inundação é um fator determinante na estimativa de danos. O método comumente utilizado na avaliação de danos diretos está baseado nas curvas de profundidade-dano, que representam os danos esperados em uma determinada profundidade de inundação e a estimativa de perda econômica. Sua construção se dá por meio do levantamento de custos através da verificação *in loco* após a inundação (abordagem empírica) ou através da sobreposição de mapas de inundação com diferentes alturas e mapas do uso e ocupação da terra (curva sintética) (SOUSA, 2018).

Neste sentido, as informações decorrentes do processo de análise de impacto são relevantes no planejamento e para a tomada de decisão frente à gestão de risco de inundação (KEFI et al., 2018), com aplicações antes, durante e após o desastre. Tais informações também apresentam potencial uso para determinar taxas de seguro contra perdas diante destes eventos (YILDIRIM e DEMIR, 2019). Em razão disso, pesquisadores, governos e seguradoras têm se empenhado no desenvolvimento de metodologias para avaliar e quantificar os danos causados por inundações (PINOS et al., 2017), através do desenvolvimento de metodologias que podem ser aplicadas em áreas urbanas e rurais.

Exemplo desta metodologia de análise de impacto pode ser observada na Federal Emergency Management Agency (FEMA) que possui o modelo Hazus. Este software é capaz de fornecer ferramentas para estimar o risco de terremotos, inundações, tsunamis e furacões que permite estimar perdas e potenciais cenários de impacto (FEDERAL EMERGENCY..., 2020). Neste sentido, Moura et al. (2019) utilizaram o modelo HAZUS-MH para criação de

cenários de inundação aplicado na identificação de perdas por inundação em área urbana, com discriminação das perdas por tipologia de edificação comercial e residencial. Ding et al. (2008) também utilizou o mesmo modelo para realizar o levantamento de dados em escala de bacia hidrográfica.

Já o HEC-FIA, software de análise de impacto de inundações desenvolvido pelo Hydrologic Engineering Center (HEC), calcula as perdas econômicas associadas à estrutura, perdas agrícolas e perda de vida (US ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2019). Mokhtari et al. (2017) utilizaram o HEC-FIA para avaliar o risco de inundação em escala de bacia hidrográfica associado ao mapeamento de áreas inundadas através do software HEC-RAS.

Outros softwares podem ser usados com a mesma proposta de estimar perdas de inundação, como por exemplo, BASEMENT, CAPRA–Flood Model, Delft-3D-FLOW, InsaSAFE – Flood, Kalypso, RiskScape-Flood (DANIELL, et al., 2014).

De modo geral, Pinos et al. (2017) observou que a maioria dos métodos para análise de impacto, fazem a relação da profundidade da inundação e dano em conjunto com dados de uso e cobertura da terra, sendo possível desenvolver esse tipo de análise de impacto apoiada em SIG e fazendo uso das bases de dados disponíveis (modelagem hidráulica, dados cadastrais, mapa de uso e cobertura da terra e dados econômicos).

## **2.2 Transferência do risco**

Ao identificar a vulnerabilidade, exposição e ameaça de um território, é importante desempenhar a gestão do risco de desastres, que consiste em adotar planejamentos necessários para fortalecer as competências que permitam reduzir os novos riscos de desastres, reduzir os riscos existentes e contribuir no desenvolvimento da gestão do risco residual, visando por meios destes, o fortalecimento da resiliência e a redução das perdas por desastres (UNITED NATIONS OFFICE..., 2017). Neste âmbito, o Marco de Sendai para Redução do Risco de Desastres 2015–2030 estabelece quatro prioridades de ação: 1) compreender o risco de desastres; 2) fortalecer a governança do risco de desastres para gerenciar o risco de desastres; 3) investir na redução do risco de desastres para a resiliência; e 4) aumentar a preparação para desastres para uma resposta eficaz (UNITED NATIONS, 2015b).

A prioridade três do Marco de Sendai traz à tona a importância do investimento público e privado na Redução de Riscos de Desastres (RRD) como essencial para melhorar a resiliência econômica, social, cultural e de saúde de pessoas, comunidades, países e ativos,

bem como do meio ambiente. Uma das ações propostas visa identificar, avaliar, criar e promover alternativas financeiras para a transferência do risco de desastre por meio de seguros, títulos, bônus ou outros mecanismos (UNITED NATIONS, 2015b).

O Marco de Ação de Hyogo (2005–2015) também elencou a importância no desenvolvimento de mecanismos financeiros e de compartilhamento de riscos, em particular, o seguro e o resseguro contra desastres (UNITED NATIONS, 2007). O relatório do IPCC SREX destaca que os mecanismos de transferência de risco em escala local, nacional, regionais e globais podem aumentar a resiliência aos eventos extremos (INTERGOVERNMENTAL PANEL..., 2012). Ademais, o artigo 8 do Acordo de Paris deixa claro as soluções de seguro como medida para lidar com perdas e danos ocasionado pelas mudanças climáticas (UNITED NATIONS, 2015a).

A transferência do risco de desastre é, portanto, o processo de transferência das consequências financeiras dos riscos de uma parte para outra, ou seja, um domicílio, uma comunidade, uma empresa ou uma autoridade de estado irá receber recursos de outra parte após a ocorrência de um desastre. O seguro é a forma mais conhecida de transferência do risco, neste a cobertura de um risco é obtida de um segurador em troca do prêmio (LOPERA, 2020). Ressalta-se que o seguro não deve ser entendido como uma medida de mitigação, pois não tem como objetivo evitar ou reduzir o risco. Este deve ser entendido como uma medida de redistribuição das perdas frente a deflagração do desastre (ALONSO e BELTRÁN, 2016) aumentando a capacidade de enfrentamento, mas não reduz a perda (FOOD AND AGRICULTURE..., 2018).

No contexto da gestão de riscos na agricultura familiar, os efeitos do seguro são importantes para diminuir o êxodo rural em decorrência de eventos extremos por gerar uma resposta econômica local positiva. Outro ponto importante é que a concessão de recursos permite que o agricultor consiga se reorganizar parcialmente e continue suas atividades agrícolas com algum nível de segurança (FERNANDO et al., 2019). Portanto, a proteção financeira permite assegurar recursos para enfrentar os desastres e financiar a recuperação.

Neste sentido, produtores agrícolas e o Estado podem incorporar estratégias para retenção do risco residual e a transferência do risco conforme abordado nos níveis a seguir (FOOD AND AGRICULTURE..., 2018).

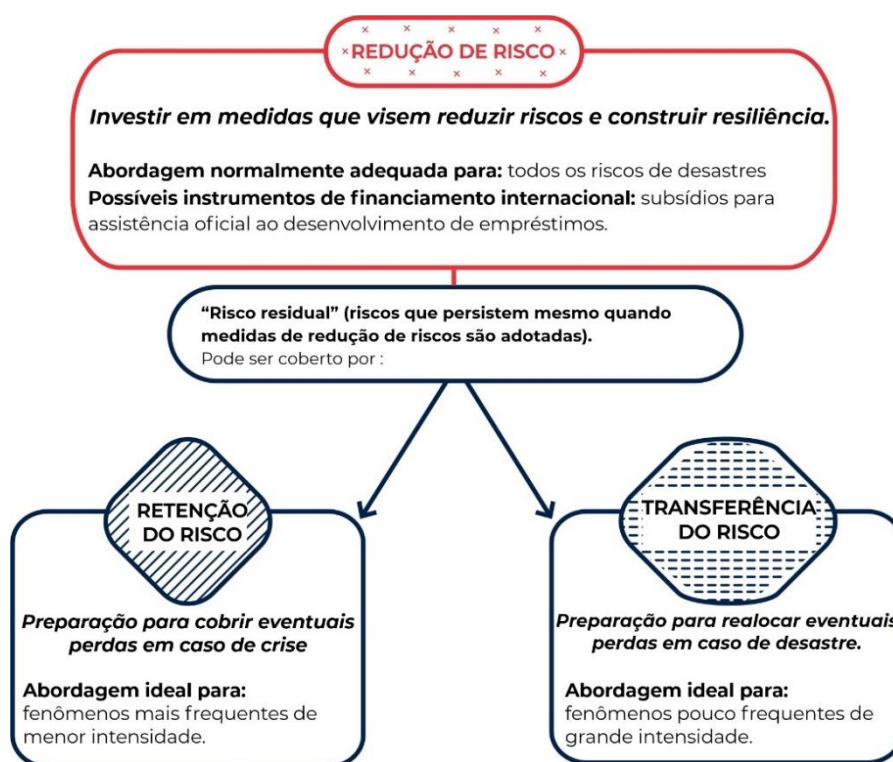
- **Nível produtor:** caberia ao produtor a criação de sua própria reserva através de poupanças individuais ou em regime coletivo. Uma alternativa pode ser recorrer à seguradora para obter uma compensação financeira em caso de

desastre. No entanto, haveria necessidade de intervenção do Estado para a realidade da agricultura familiar.

- **Nível Estado:** caberia ao Estado aportar recursos face a contingência dos eventos extremos ou mesmo intermediar a contratação de seguros de outras seguradoras.

A Figura 3 apresenta os níveis de gestão de acordo com a frequência e intensidade do risco assegurado.

Figura 3 - Gestão para transferência do risco.



Fonte: adaptado de International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies (2020).

Para os eventos de magnitude menor e alta frequência, onde há necessidade da retenção do risco, os próprios agricultores se utilizariam de estratégias práticas, de modo a absorver com seus próprios recursos o impacto deste evento. Nos fenômenos pouco frequentes e de grande intensidade, que superam a capacidade de gestão dos atores envolvidos, seria ativado a transferência do risco por meio do seguro (CARDONA, 2009; FOOD AND AGRICULTURE..., 2018).

No Brasil, o processo de transferência de risco poderia se traduzir no estabelecimento de fundos municipais com recursos financeiros para utilização em situação de emergência

(SULAIMAN, 2021). Como exemplo, a gestão de riscos na agricultura brasileira tem alguns instrumentos para atender a exposição de risco da agricultura familiar, dentre elas, destaca-se o programa Garantia Safra, que repassa um valor financeiro para os agricultores que tiverem perdas reconhecidas acima de 50% da produção nos cultivos específicos em decorrência da seca (FOOD AND AGRICULTURE..., 2018). Entretanto, ainda não há um mecanismo de transferência de risco que atenda aos agricultores afetados por eventos de inundação.

Diferentes metodologias, com grande número de variáveis para desenvolver o projeto de um seguro agrícola, podem ser encontradas. Entretanto, é consenso a necessidade da elaboração de uma base de dados os bens que vão ser assegurados, além de ser necessário considerar o levantamento dos tipos de ameaças, os níveis de exposição agrícola, bem como mensurar a probabilidade de ocorrência e a intensidade dos eventos (ALONSO e BELTRÁN, 2016; FOOD AND AGRICULTURE..., 2018). Além de compreender e quantificar o risco, é importante definir os limiares que irão liberar o financiamento pós desastre (HARRIES e JAIME, 2019).

### **2.3 Mapeamento das áreas de inundação**

O aumento na frequência dos eventos de inundações de alta magnitude associado aos danos socioeconômicos têm engajado pesquisadores na busca por abordagens adequadas para o mapeamento de áreas de inundação (RAJIB et al., 2020). As duas abordagens mais utilizadas para mapear áreas alagadas em eventos de cheia de rios são: simulações computacionais usando modelos hidráulicos (GRIMALDI et al., 2013) e classificação de imagens por meio de técnicas de sensoriamento remoto.

O mapeamento de ameaça de inundação é tratado como uma medida não estrutural fundamental na melhoria do planejamento urbano e territorial de forma sustentável (GRIMALDI et al., 2013) e consiste na delimitação das áreas inundadas (extensão da inundação) e das alturas da lâmina d'água correspondentes às probabilidades de ocorrência (ALMEIDA, 2019).

A modelagem de ameaça de inundações compreende três etapas: (i) medição por estação fluviométrica ou estimativa por simulação hidrológica de séries históricas de vazão; (ii) análise estatística de frequência de cheias que estima a variação da probabilidade (ou tempo de recorrência) de eventos extremos conforme a magnitude de vazão; (iii) e mapeamento de extensões de áreas alagadas conforme variações em magnitude de

vazão/probabilidade.

A modelagem hidrológica busca representar os processos hidrológicos de uma bacia hidrográfica por meio de um modelo chuva-vazão, que tem como objetivo simular a descarga fluvial oriunda da chuva, considerando a sua interação com os diversos aspectos do ciclo hidrológico (LOPES, 2017). A simulação hidráulica representa o escoamento da água na superfície e fornece informações importantes para a compreensão do sistema rio-planície, como a extensão de área inundada, o nível da água, a velocidade e a direção da água (FASSONI-ANDRADE, 2020).

Os modelos hidrológicos podem ser conceituais, empíricos ou de base física. Os modelos conceituais são baseados nas equações que descrevem o processo físico conceitual ou hipotético, não sendo necessariamente baseado no processo real (ALMEIDA e SERRA, 2017). Os modelos empíricos são constituídos de equações que estabelecem uma relação entre os dados de entrada e saída de um sistema hídrico (ULIANA et al., 2019), utilizando funções que não apresentam relação com os processos físicos envolvidos e são baseados em análises estatísticas, como métodos de correlação e análise de regressão (SANTOS, 2009). Os modelos de base física usam as principais equações que representam os processos físicos envolvidos, utilizando parâmetros com valores que se aproximam da física do sistema (TUCCI, 2005).

Os modelos hidrológicos também podem incluir os módulos hidráulicos de forma a propagar a vazão pelo mesmo (LOPES, 2017), resultando nos modelos hidrológicos-hidráulicos acoplados. Em tal estrutura, um ou mais modelos hidrológicos podem simular o fluxo de rio, o que pode fornecer condições de contorno a montante para um ou mais modelos hidráulicos para a produção de mapas de inundação (RAJIB et al., 2020). Assim, dados ou estimativas de vazões a montante do trecho e dados topobatímetros da região de estudo são necessários para a representação das áreas inundadas pelo modelo hidráulico (MONTE et al., 2016).

Os modelos matemáticos hidráulicos unidimensional (1D) e bidimensional (2D), conceituais ou empíricos, representam fenômenos envolvidos de ordem hidráulica, os quais determinam a cotas e as áreas inundadas (MONTE et al., 2016). Tais modelos são ditos conceituais quando levam em consideração os conceitos físicos relacionados aos processos hidrológicos (SANTOS, 2009). Nos métodos conceituais, as análises de ameaça de inundação são geralmente realizadas usando modelagem hidráulica 1D/2D (MOEL et al., 2015).

Neste sentido, a concepção do tempo de retorno (TR) dos eventos de inundação é



importante para análise de eventos extremos, pois refere-se aos anos esperados que um evento de inundação, de certa magnitude, ocorra novamente (SHEN, et al., 2021). Se tratando de seguros residenciais, a FEMA condiciona a contratação de seguro aos residentes dentro da zona de inundação com TR de 100 anos, isto quer dizer que, as ocupações nesta área, a cada ano, têm a probabilidade de 1% de serem atingidas por um evento de inundação.

### 2.3.1 Modelos hidráulicos

Os modelos hidráulicos são modelos matemáticos que tentam replicar o movimento dos fluidos e normalmente requerem solução computacional (TENG et al., 2017). Esses modelos simulam o movimento da água resolvendo equações físicas para o fluxo 1D/2D da água, como as equações de Saint-Venant (MOEL et al., 2015). Tais modelos são caracterizados por sua dimensionalidade ou a forma como combinam abordagens de diferentes dimensionalidades.

Os modelos hidráulicos 1D resolvem as equações de Saint-Venant e utilizam soluções numéricas para estas equações (TUCCI, 2005). A representação mais simples do fluxo da planície de inundação é tratar o fluxo como 1D ao longo da linha central do canal do rio. Neste modelo, o fluxo da planície de inundação, representado por uma série de seções transversais, é assumido estar em direção paralela ao canal principal e uma velocidade média de seção transversal é usada para representar variações na velocidade na planície de inundação (TENG et al., 2017). Como exemplos de modelos 1D podem ser citados: HEC-RAS (US ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2002) e MIKE 11/MIKE (AGRAWAL e DESMUKH, 2016).

Uma solução acoplada 1D/2D para os modelos hidráulicos é o modelo LISFLOOD-FP, que pode ser referido como modelo quase 2D, que é baseado em dado do tipo raster e é adequado para condições de escoamentos permanente e variado (DIMITRIADIS et al., 2016). Os modelos hidráulicos 2D são talvez os modelos mais amplamente usados no mapeamento da extensão das cheias e nos estudos de estimativa do risco de cheias (TENG et al., 2017). Como exemplo de modelos 2D podemos citar: O HEC-RAS 2D (BRUNNER, 2016), o MIKE 21 (WARREN et al., 1992) e o LISFLOOD-FP (BATES, 2013).

A maioria dos modelos hidráulicos requer a intervenção dos modeladores para fornecer detalhes espaciais (por exemplo, coeficiente de rugosidade, canal e seções transversais de planície de inundação), que muitas vezes não estão prontamente disponíveis

(AFSHARI et al., 2018). Além disso, as incertezas inerentes ao processo de modelagem estão presentes em vários aspectos, envolvendo a estrutura e os parâmetros do modelo, as condições de contorno e os dados de entrada (DIMITRIADIS et al., 2016).

A topografia da planície de inundação é representada por um Modelo Digital de Terreno (MDT). Um MDT se refere aos valores altimétricos do terreno desconsiderando os objetos acima do solo como as árvores ou construções, ou seja, representa somente a superfície desnuda. O Modelo Digital de Elevação (MDE) normalmente refere-se ao modelo digital de superfície que representa a superfície topográfica e os objetos (vegetação e edificações) inseridos nela.

De um modo geral, a qualidade da modelagem de inundação está relacionada a resolução e a acurácia do MDT, de modo que para ambientes urbanos a resolução mais alta tende a ser mais importante quanto ao detalhamento dos edifícios, enquanto para as áreas rurais, a resolução pode ser menos importante (HAWKER et al., 2018). No entanto, na maioria das vezes, tem-se disponível apenas MDE globais e gratuitos para representar a topografia de uma determinada área. Normalmente, os MDE apresentam interferências de objetos na superfície como vegetação ou construções civis, exigindo processamentos para remoção de tais artefatos (RUDORFF et al., 2014).

### **2.3.2 Modelo empírico baseado em imagens de radar**

Em contraste com os modelos conceituais, os modelos empíricos são baseados em dados de observação, que envolvem medições *in situ*, medições, entrevistas e análise de imagens de sensoriamento remoto (TENG et al., 2017). Tais modelos podem ser usados como insumos para outros tipos de métodos; por exemplo, extensão da inundação detectada remotamente, monitoramento de inundações, bem como uma referência para calibração e validação de modelo hidrodinâmico (SHEN et al., 2019; TENG et al., 2017).

As imagens de sensoriamento remoto são consideradas uma das fontes de informação indispensáveis para uma resposta eficaz a desastres devido à sua capacidade de obter informação de áreas geográficas extensas (OULED SGHAIER et al., 2018). Os sensores passivos, que atuam na região do espectro óptico, e os sensores ativos, que emitem e recebem radiação eletromagnética (REM) na faixa do micro-ondas, podem ser usados para o mapeamento de inundação oferecendo diferentes níveis de capacidade e precisão (SHEN et al., 2019).

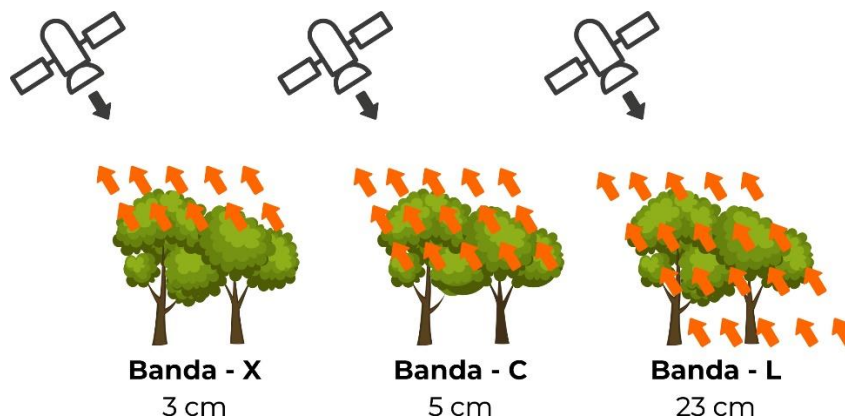
Dentre os sensores disponíveis, o Radar de Abertura Sintética (Synthetic Aperture Radar - SAR) distingue-se no contexto da gestão de cheias dos rios, por sua capacidade de penetrar a cobertura de nuvens e de imagear nos períodos diurno e noturno, além de apresentar robustez nas condições climáticas desfavoráveis (OULED SGHAIER et al., 2018). Com a evolução das tecnologias de radar na última década, os dados SAR têm sido a principal ferramenta de validação para a modelagem numérica de inundações (TENG et al., 2017).

O SAR é um sistema ativo que emite pulsos de micro-ondas constantes conforme o trajeto do radar, gerando imagens com ângulo de visada oblíquo em relação ao alvo. A potência de energia de micro-ondas retroespalhada por um objeto depende da rugosidade da superfície e das propriedades dielétricas, sendo este último um fator secundário (GRIMALDI et al., 2020). Superfícies cobertas e irregulares, como edificações em área urbana, que refletem o sinal do radar em várias direções são denominados de zona de alto retroespalhamento. Já as superfícies lisas, por exemplo, água em áreas abertas localizadas em regiões de planícies com superfície aquática, funcionam como um espelho e reflete o pulso do radar para longe do sensor, e são denominadas de zonas de baixo retroespalhamento (HENDERSON e LEWIS, 2008).

A diferença entre as áreas de alto e baixo retroespalhamento permite realizar a identificação das áreas inundadas (MARTINIS e RIEKE, 2015). Todavia, a interpretação da resposta do retroespalhamento do sinal em áreas com vegetação alagada ainda representa um grande desafio para detectar a extensão da inundação (GRIMALDI et al., 2020). Desconsiderar os dados de água sob a vegetação pode acarretar na subestimação do evento de inundação além de influenciar nas análises de dano (TSYGANSKAYA et al., 2018), entretanto, de acordo com Zhao et al. (2021) a detecção de área inundada sob as condições descritas continua sendo um desafio.

As características do sensor são fundamentais para antever seu potencial uso na detecção de área inundada abaixo da vegetação. A Figura 4 apresenta a relação entre o comprimento de onda e a resposta do sinal SAR sobre vegetação.

Figura 4 - Interação das bandas X, C e L por baixo da vegetação.

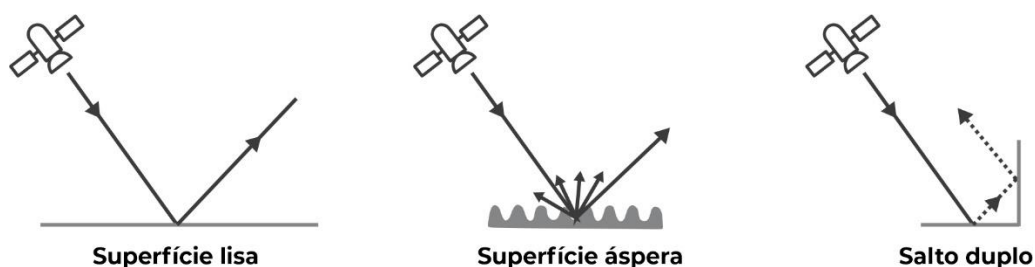


Fonte: adaptado de Bourgeau-chavez et al. (2009).

Estudos apontam que a banda L com comprimento de onda de 23 cm é a mais indicada para detectar inundação sob a vegetação, pois o sinal do radar é capaz de atravessar o dossel, mesmo com limitações referentes a densidade da vegetação. Já a banda C (5 cm), apresenta limitação na penetração do sinal, dependendo da densidade do dossel e a banda X (3 cm) tem uso limitado por apresentar alta interferência das folhas, resultando em maior dificuldade para identificar inundação abaixo da vegetação (ENDO et al., 2020; SHEN et al., 2019; TSYGANSKAYA et al., 2018).

O sinal de radar interage sobre as áreas inundadas por meio de três formas: Dispersão em superfície lisa, superfície áspera e salto duplo, conforme exemplificado na Figura 5.

Figura 5 - Dispersão do sinal SAR em áreas inundadas.



Fonte: adaptado de Bourgeau-chavez et al. (2009).

A dispersão especular do sinal em superfície lisa com águas calmas resulta na maior parte da energia originada do radar sendo refletida na direção oposta do sensor; a dispersão por salto duplo, ocorre quando a superfície forma um ângulo reto em direção ao radar e o

sinal salta duas vezes, refletindo a maior parte da energia ao sensor; e a dispersão na superfície áspera, onde a energia é dispersada para diferentes direções e parte dela retorna para o radar (TSYGANSKAYA et al., 2018).

Outro fator importante é a polarização, que é a representação do modo que o radar envia e recebe o sinal. As polarizações podem ser HH (transmissão horizontal e recepção horizontal), HV (transmissão horizontal e recepção vertical), VH (transmissão vertical e recepção horizontal) e VV (transmissão vertical e recepção vertical). Devido a vegetação inundada apresentar dispersão do sinal por salto duplo, a polarização HV penetra melhor no dossel da vegetação comparado com a polarização VV, por sofrer menos atenuação (MARTINIS e RIEKE, 2015; TSYGANSKAYA et al., 2018).

A missão Sentinel 1, operada pela Agência Espacial Europeia (ESA) no Programa Copernicus da União Europeia, consiste em dois satélites (Sentinel 1A e Sentinel 1B) com ciclo de repetição de seis dias e equipados com SAR de banda C (5,405 GHz). Os dados estão sendo adquiridos em polarização dupla (VV/VH) no modo de faixa ampla interferométrica (IW) e são disponibilizados de forma gratuita (TWELE et al., 2016).

Com base nos dados do Sentinel-1, metodologias propostas pela ESA, Alaska Satellite Facility (ASF), Applied Remote Sensing Training Program (ARSET/NASA) e United Nations Platform for Space-based Information for Disaster Management and Emergency Response (UN-SPIDER) têm sido usadas com a finalidade de utilização rápida para o mapeamento de inundação para o gerenciamento de desastres, as quais normalmente consistem em utilizar uma imagem SAR antes da inundação e outra durante o evento de desastre, visando a distinção das áreas inundadas de corpos d'água.

### **3 PROPOSTA DE PESQUISA**

#### **3.1 Objetivo geral**

O presente trabalho tem como principal objetivo a análise de impacto ocasionado por eventos extremos de inundação fluvial associado ao rio Solimões na área rural do município de Manaquiri, no estado do Amazonas.

#### **3.2 Objetivos específicos**

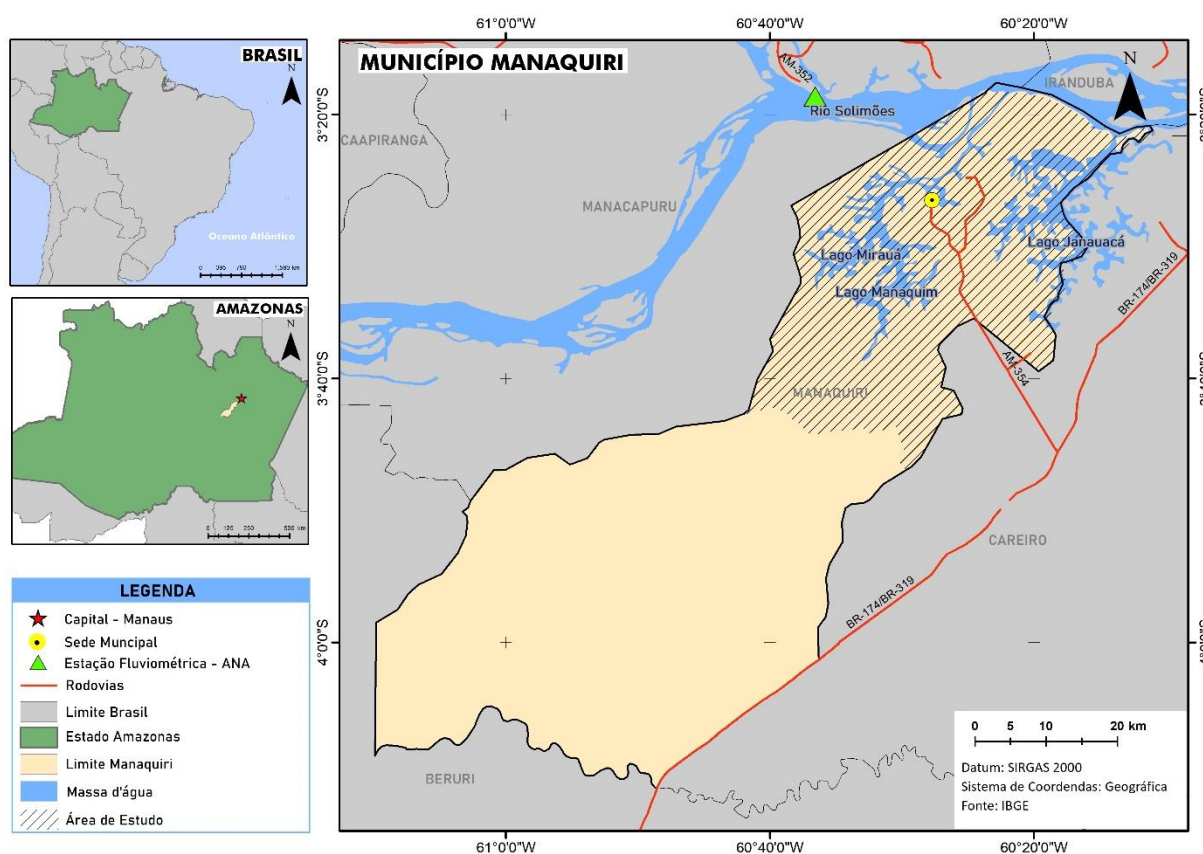
- a) Verificar o potencial dos dados de radar para o mapeamento de inundação de modo a complementar as manchas de inundação simulada por modelagem hidráulica;
- b) Analisar o impacto de inundação para as áreas agricultáveis, propriedades e edificações localizadas na várzea alta do município;
- c) Propor os limiares para acionamento da transferência de risco e espacialização da severidade do impacto com base nos setores censitários.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Área de estudo

O município de Manaquiri (Figura 6), localizado no Estado do Amazonas, foi selecionado como área de estudo devido à sua alta vulnerabilidade frente ao processo de cheia do Rio Solimões (AGÊNCIA NACIONAL..., 2014), que tem acarretado perda da produção agrícola. A área territorial do município corresponde a 3.975,766 quilômetros quadrados estratificado em área urbana, com 758 quilômetros quadrados e área rural, com 3.227 quilômetros quadrados (MANAQUIRI, 2012). A população do município em 2010 era de 22.801 habitantes, dos quais 69% vivem na zona rural (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA..., 2011).

Figura 6 - Localização da área de estudo no Município de Manaquiri, Amazonas.



Fonte: elaborado pelo autor.

O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) do município em 2010 foi de 0,60, que é considerado um patamar de desenvolvimento médio, já o Índice de Gini, que mede o grau de concentração de renda, foi de 0,58 para o mesmo ano. Quanto ao ordenamento territorial do município, cerca de metade (51%) é ocupada por assentamentos especiais (7 Projetos de Assentamento Agroextrativista – PAE e 1 Projeto de Desenvolvimento Sustentável – PDS) além de três terras indígenas que cobrem 4% do território e não há unidade de conservação no município. Os principais produtos produzidos são a mandioca, banana, malva, laranja, batata-doce e maracujá (MEIRELLES et al., 2018)

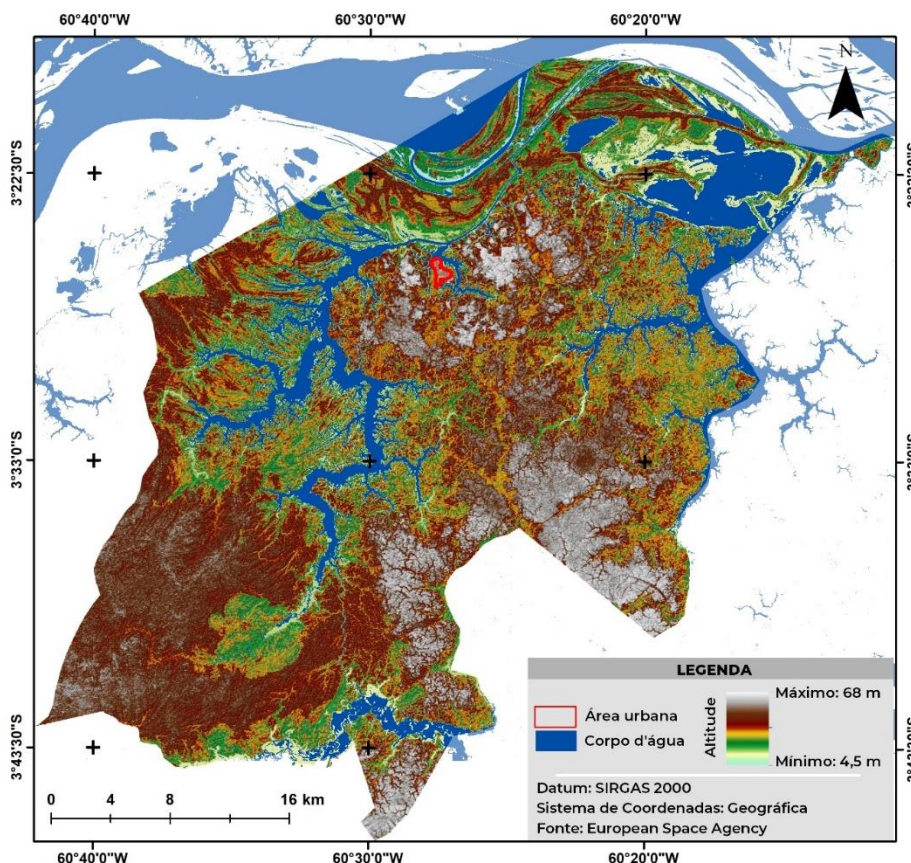
Conforme a Figura 6, a área selecionada para desenvolver o estudo da análise de impacto limitou-se à porção Norte do município, destacada em hachura. É nesse recorte territorial que se concentra o maior quantitativo de estabelecimentos agropecuários (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA..., 2018) e, portanto, passível de sofrer prejuízos decorrente de eventos extremos de inundação, conforme o histórico de desastres do município disponibilizados pelo Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID) da Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil - SEDEC (SECRETARIA NACIONAL..., 2021).

Manaquiri tem registrado impacto de eventos de inundação gradual desde o ano 2002 e foi recorrente nos anos de 2007, 2009, 2010, 2012, 2014, 2015, 2017, 2019 e 2021. Somente no ano de 2021, foi contabilizado cerca de 55 comunidades rurais impactadas, com estimativa de 10.391 pessoas afetadas na área rural e urbana. Os agricultores, que são predominantemente da agricultura familiar, tiveram prejuízo econômico no setor agrícola estimado em R\$ 3.724.000,00 e na pecuária o dano foi de 880.000,00 (SECRETARIA NACIONAL..., 2021).

O município de Manaquiri possui altitudes que variam de 4,5 a 68 metros, conforme pode ser observado na Figura 7, tendo o rio Solimões como principal curso d'água, além de possuir em seu território três lagos de grande extensão (Mirauá, Manaquiri e Janauacá).



Figura 7 – Variação do relevo na área de estudo no município de Manaquiri



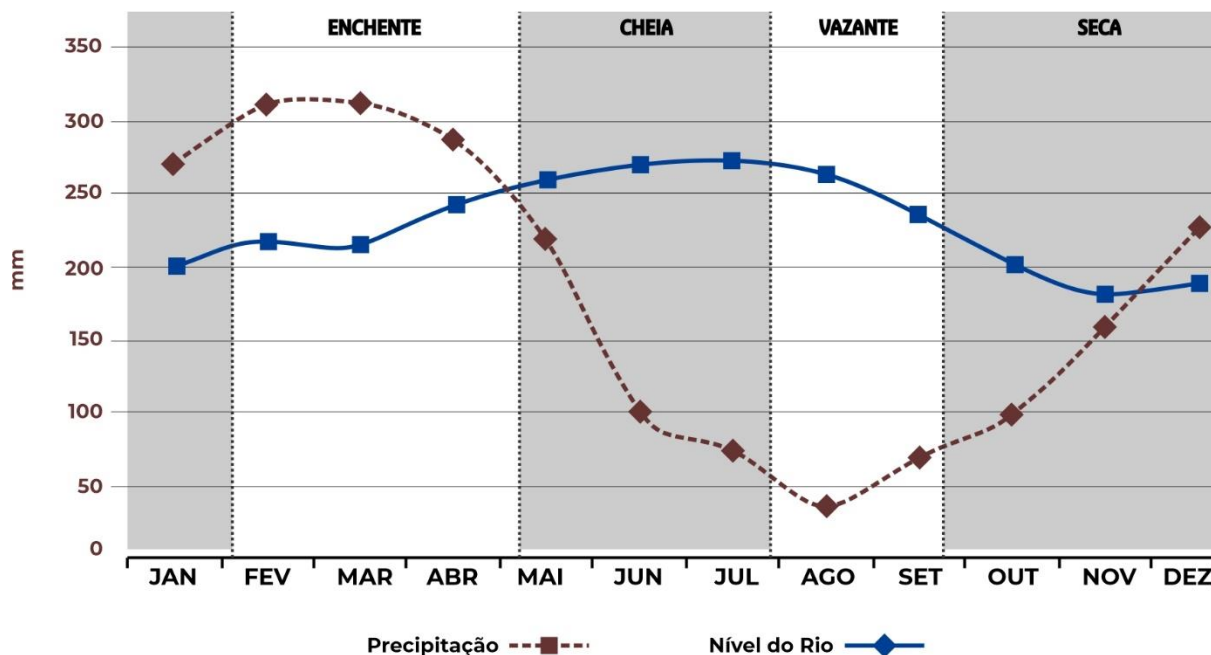
Fonte: elaborado pelo autor.

A área urbana do município, representada na Figura 7 pelo polígono vermelho, situa-se em região de altitude mais elevada, de modo a ser menos impactada nos eventos de inundação. Na área rural se concentra a produção agrícola oriunda da agricultura familiar que corresponde a 95,8 % dos estabelecimentos agropecuários (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA..., 2018).

Durante o período de cheia na região amazônica, as áreas de várzea, caracterizadas como planície inundável, podem ficar submersas por um período de 4 a 5 meses. Nesse período ocorre a deposição de novos sedimentos tornando o solo rico em nutrientes e as áreas, conseqüentemente, acabam se tornando aptas para o cultivo agrícola de ciclo rápido e a criação de animais bovinos e bubalinos (CRAVO et al., 2002; JUNK et al., 2020).

Considerando o comportamento fluvial observado na Figura 8, é possível identificar quatro estações que regulam o calendário agrícola na área de várzea: enchente (subida das águas), a cheia (máximo das águas), a vazante (descida das águas) e a seca (nível mais baixo das águas) (FRAXE et al., 2007).

Figura 8 - Estações climáticas e fluviais em áreas de várzea na Amazônia Central.



Fonte: adaptado de Fraxe et al. (2007).

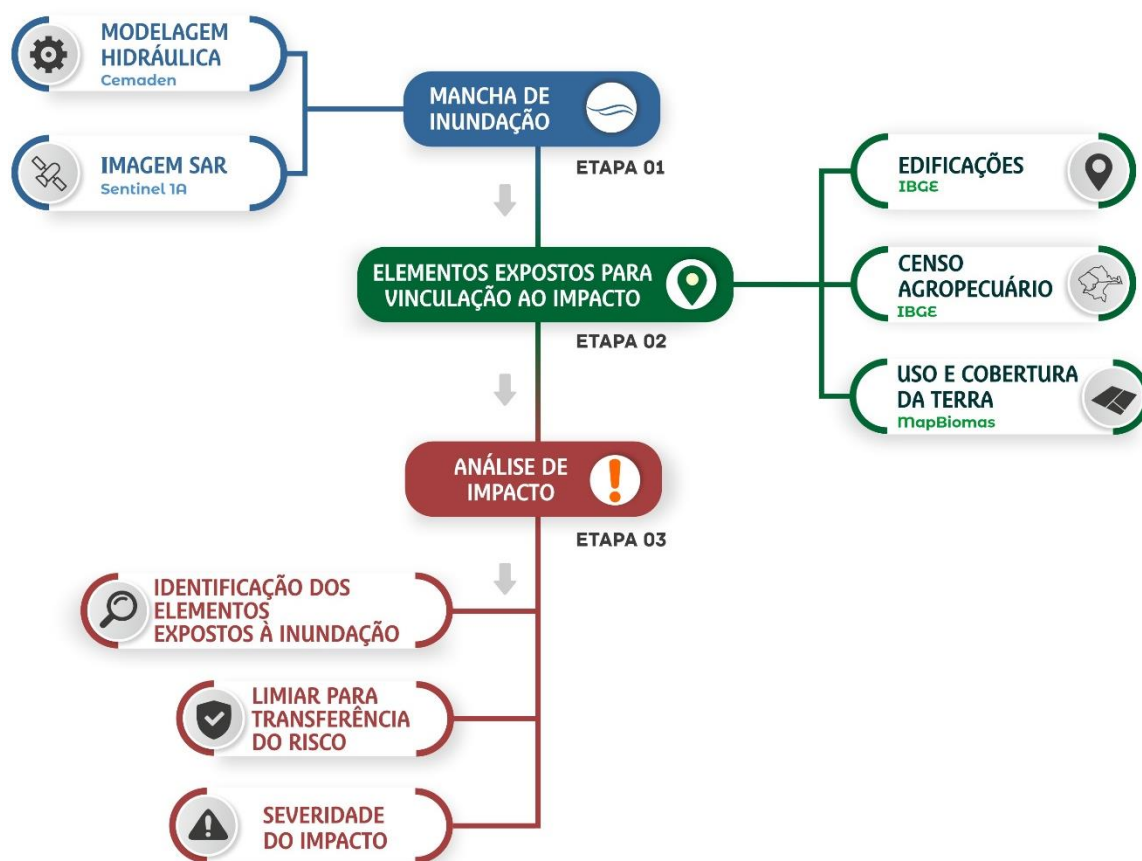
O trimestre fevereiro, março e abril correspondem ao período mais chuvoso com precipitações superiores a 300 mm. Contudo, é importante salientar que o nível do rio nesta região não depende diretamente das chuvas locais, mas da água que chega a montante da bacia hidrográfica desde a região pré-andina até Manaus, podendo chegar de dois a três meses, por exemplo (JUNK et al., 2020).

O período de cheia, quando o rio alcança os níveis máximos a enchente é durante o trimestre maio, junho e julho. Apesar das áreas de terra firme possuírem a característica de não serem afetadas pelas cheias (FRAXE et al., 2007), nos últimos 30 anos ocorreram inundações extremas do rio Amazonas que causaram impactos mesmo nessas áreas de altitude mais elevada (OLIVEIRA et al., 2012).

#### 4.2 Método

O método de análise de impacto foi desenvolvido em três etapas principais: Mapeamento das áreas de inundação, Levantamento dos elementos expostos para vinculação ao impacto e Análise de impacto, conforme mostra o fluxograma da Figura 9. As principais etapas do método são descritas na sequência.

Figura 9 - Fluxo metodológico do estudo de impacto de inundação.



Fonte: elaborado pelo autor.

#### 4.2.1 Mapeamento das áreas de inundação

O mapeamento das áreas de inundação foi realizado usando duas abordagens: uma de modelagem hidráulica e outra empírica, através de imagens de radar.

##### 4.2.1.1 Mancha de inundação por modelagem hidráulica

As manchas de inundação utilizadas nesta pesquisa foram produzidas no escopo do projeto de mapeamento e análise de impacto de inundação na agricultura no estado do Amazonas, desenvolvido no Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (Cemaden). Os dados não foram publicados, mas seguem a metodologia publicada por Rudorff et al. (2014), na qual utiliza um MDE associado à modelagem hidráulica.

As simulações de inundação foram realizadas com o modelo LISFLOOD-FP (BATES et al., 2010). O modelo hidráulico LISFLOOD-FP foi projetado para simular a

dinâmica de inundação com escoamento 2D sobre a topografia complexa de planícies fluviais, com base em equações que descrevem a física de fluídos e métodos numéricos computacionalmente eficientes (BATES et al., 2013).

O modelo é alimentado por dados de vazão e nível. As vazões do rio Solimões para área de estudo foram determinadas com base nos dados da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN) operada pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). A plataforma hidrometeorológica utilizada localiza-se na cidade de Manacapuru (Cod.14100000) distante 22 quilômetros em linha reta da sede municipal de Manaquiri.

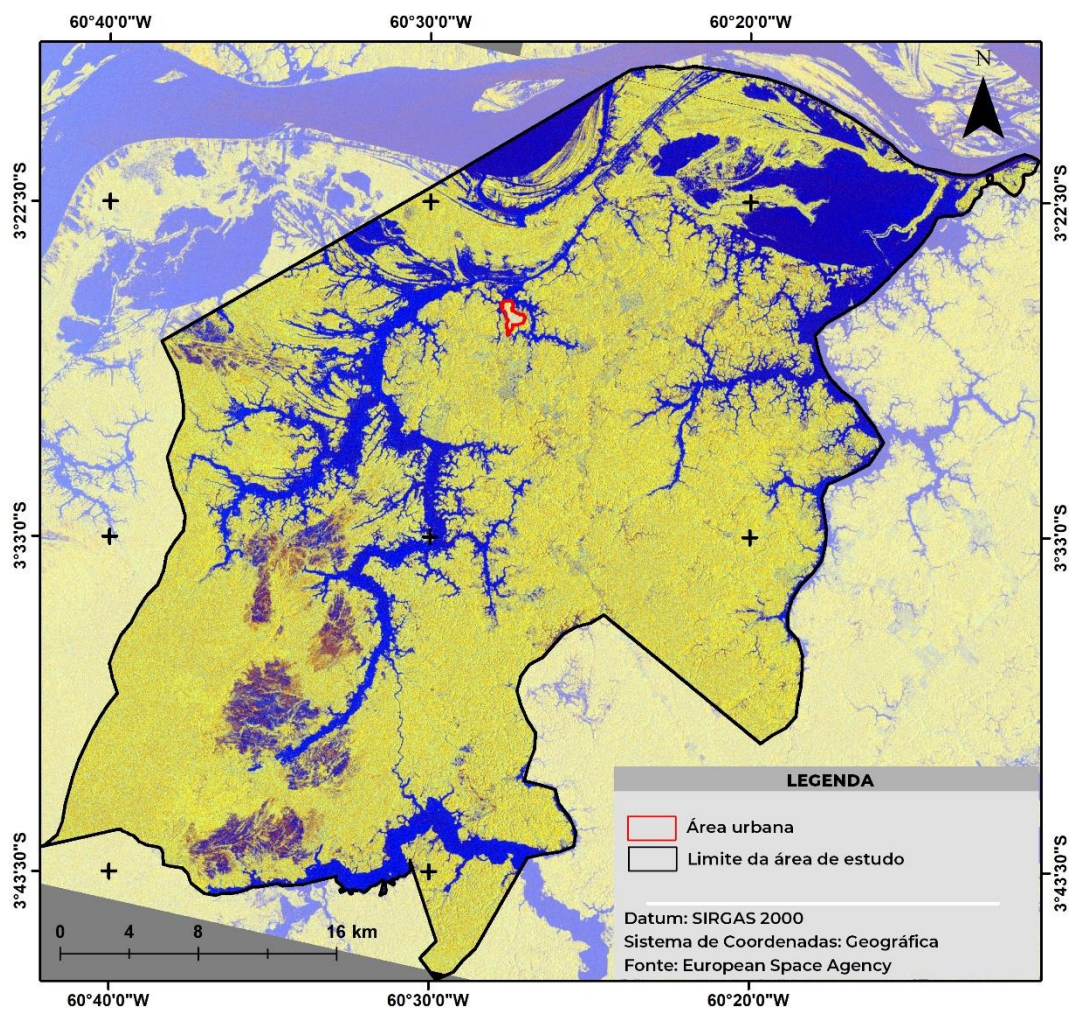
Para realizar a identificação do canal e dos elementos da planície de inundação (rugosidade, topografia), necessários para simular o processo de inundação, o modelo se baseia em um MDE. O MDE utilizado foi do programa Copernicus DEM da Agência Espacial Europeia (ESA) com resolução espacial de 30 metros, baseado em dados da Missão TanDEM-X com acurácia vertical de 2 metros, tendo como referência o modelo geoidal EGM2008.

Foram disponibilizadas para o presente estudo, 13 simulações que representam manchas de inundação correspondentes a variações de níveis de água com intervalos de 25 centímetros entre as cotas 19,00 e 22,00 metros.

#### **4.2.1.2 Mancha de inundação por imagem SAR**

Para elaborar o mapeamento da inundação foram necessárias duas imagens de radar do satélite Sentinel 1 no modo Interferometric Wide (IW) com faixa de aquisição de dados de 250 quilômetros, referente ao pico máximo da cheia no ano 2021 (Figura 10).

Figura 10 - Imagem do Sentinel 1 na composição vermelha (VH), verde (VH) e azul (VH/VV) no período de inundação máxima no mês de junho de 2021.



Fonte: elaborado pelo autor.

As imagens utilizadas foram adquiridas no nível 1 Ground Range Detected (GRD). Neste formato, os dados disponibilizados foram analisados e projetados para o alcance do solo utilizando um modelo elipsoidal da Terra, no caso, o modelo WGS84. A aquisição das cenas se deu por meio da polarização dupla dos canais na banda VV (transmissão vertical e recepção vertical) e polarização cruzada na banda VH (transmissão vertical e recepção horizontal).

O Quadro 1 apresenta as imagens utilizadas neste estudo, as quais foram obtidas gratuitamente no portal da Copernicus Open Access Hub da ESA.

Quadro 1 - Imagens do Sentinel 1 utilizadas no estudo para extração da mancha de inundação em 2021.

Imagem Sentinel 1	Data
S1A_IW_GRDH_1SDV_20210619T093925_20210619T093950_038407_04883E_D367	19/06/2021
S1A_IW_GRDH_1SDV_20210619T093950_20210619T094015_038407_04883E_6AB0	19/06/2021

Fonte: elaborado pelo autor.

O pré-processamento das imagens SAR foi realizado no software Sentinel Application Platform (SNAP), desenvolvido e disponibilizado pela ESA. A mancha de inundação foi determinada com base na metodologia de mapeamento de inundação recomendada pela UN-SPIDER, que inclui a calibração radiométrica, a filtragem speckle, a correção radiométrica do terreno e a conversão para escala em decibéis. Esta metodologia foi aplicada nas duas cenas que foram adquiridas no período mais próximo do pico máximo de cheia do rio.

No software SNAP, após a importação das imagens, a primeira etapa desempenhada foi corrigir radiometricamente as imagens para obter valores de retroespalhamento, que é necessário para extrair as informações quantitativas da imagem de radar. Na segunda etapa, foi aplicado o filtro speckle para reduzir o efeito da interação do feixe com os alvos conhecido como “ruído”, algo inerente às imagens SAR reproduzindo o efeito sal e pimenta. Para tal, o filtro Lee foi utilizado com janela de dimensão 3x3 pixels. A dimensão da janela foi definida após testes, de modo a evitar a suavização exagerada das imagens, o que pode resultar em perda de informação radiométrica. A terceira etapa consistiu na conversão do histograma de uma distribuição linear do número digital (Digital Number – DN) para uma distribuição decibel (dB). Esse processo facilita a extração de informações da imagem, pois a distribuição dos dados é menos distorcida do que na escala linear (MITRAKA et al., 2020). Na quarta etapa, com base nos valores de retroespalhamento apresentados no histograma das imagens, é determinado um limiar para separar área inundada de área não inundada.

Dependendo da imagem analisada, o histograma mostrará picos de magnitude diferentes no intervalo de retrodifusão para separar as áreas inundadas de não inundadas, sendo necessário algumas tentativas para identificar o limiar ideal na polarização. O limiar de separação na polarização VH variou entre -21,23 dB e -18,99 dB, na polarização VV variou entre -17,67 dB e -13,63 dB. Na correção do terreno, a imagem, que está originalmente na geometria do sensor, é reprojeta considerando a localização da área de estudo usando como referência um MDE com resolução de 30 metros do programa Copernicus DEM.

## **4.2.2 Elementos expostos para vinculação ao impacto**

A caracterização das zonas afetadas foi levantada com base na informação do uso e cobertura da terra obtida a partir do Projeto MapBiomas - Coleção 5 (Projeto MapBiomas, 2021). A localização georreferenciada dos estabelecimentos agropecuários foi obtida junto aos dados do Censo Agropecuário, disponibilizado pelo IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA..., 2018). Também foi utilizado o aplicativo Google Earth para identificar e extrair as construções que necessariamente não estão contempladas nos dados do Censo Agropecuário.

### **4.2.2.1 Mapas de uso e cobertura da terra**

A caracterização das áreas agrícolas foi extraída do mapa de uso e cobertura da terra fornecido pelo Projeto MapBiomas. Neste projeto, usando a plataforma Google Earth Engine (GEE), imagens da série Landsat foram preprocessadas e normalizadas para treinar um classificador Random Forest para mapear as classes de uso e cobertura da terra do território brasileiro, com resolução espacial de 30 metros (SOUZA et al., 2020). A classe “agropecuária”, que considera a junção das classes agricultura, pastagem e o mosaico de agricultura e pastagem, foi adotada seguindo o entendimento de ser uma área potencial de produção agrícola. Neste estudo, a nomenclatura área agricultável foi adotada como referência para a classe agropecuária.

Desta forma, a partir de mapas de uso e cobertura da terra do Projeto MapBiomas, as áreas potencialmente agricultáveis foram extraídas para os últimos nove anos (2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 e 2019). Para os anos 2020 e 2021 foi utilizado o último dado publicado como referência (2019).

### **4.2.2.2 Base vetorial de dados**

A localização dos estabelecimentos agropecuários foi obtida a partir dos dados resultantes do Censo Agropecuário 2017 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA..., 2018). De acordo com o IBGE, a coleta desta base ocorreu entre outubro de 2017 e fevereiro de 2018 com o propósito de conhecer as características econômicas do país. Durante o censo,

foram coletadas as coordenadas geográficas que representam os endereços recenseados, tais coordenadas estão associadas à sede do estabelecimento ou à área de cultivo (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA..., 2018). Neste estudo, o termo propriedade foi estabelecido para tratar dos estabelecimentos agropecuários.

Dados vetoriais referente a Malha Setorial do Censo Demográfico contendo a classificação dos setores censitários em urbano e rural foram obtidos a partir do Censo Demográfico de 2010 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA..., 2011).

A identificação das edificações na área de estudo considerou todas as construções que, necessariamente, não constam no censo agropecuário, como depósito, estábulo, casa de farinha, casa, dentre outras construções que foram levantadas e representadas espacialmente usando os recursos do aplicativo Google Earth, resultando em um arquivo de dados vetorial do tipo ponto.

### **4.2.3 Análise de impacto**

São três etapas principais relacionadas à aplicação da análise de impacto e severidade do impacto. A primeira constituiu-se em delimitar e identificar os elementos expostos à inundação na várzea alta; na segunda etapa foi idealizado uma proposta para o acionamento da transferência de risco com base nos dados da área agricultável; e na terceira etapa foi gerado a espacialização da severidade do impacto nos setores censitários considerando as propriedades, edificações e área agricultável.

#### **4.2.3.1 Identificação dos elementos expostos à inundação**

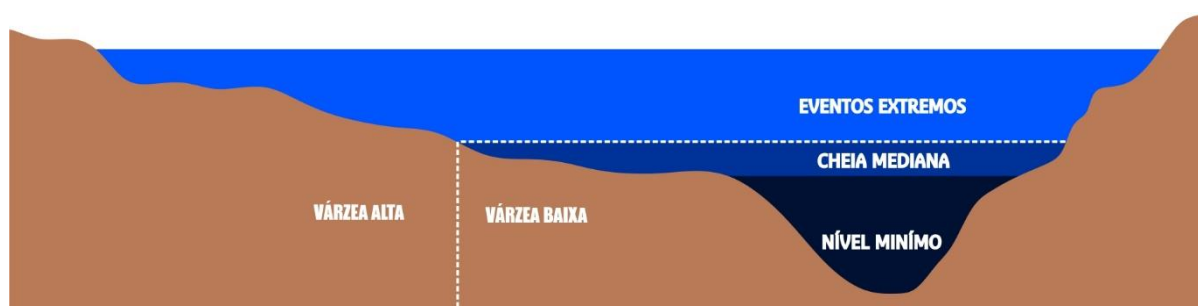
Na primeira etapa, para identificar o impacto de inundação na várzea alta, foi adotado o critério climatológico que representa o momento que o nível do rio inicia o impacto na área de estudo. Este critério foi elaborado com base na análise da mediana das vazões máximas anuais da série histórica de 46 anos (1973 – 2019) do rio Solimões, dados que foram coletados pela plataforma de monitoramento da ANA localizada na cidade de Manacapuru. A nomenclatura cheia mediana foi adotada para especificar quando o nível máximo anual do rio Solimões ficou abaixo da cota mediana.

A separação do impacto decorrente da cheia mediana na várzea baixa dos impactos



deflagrados por extremos de inundação na várzea alta, conforme exemplificado na Figura 11, segue o princípio que a transferência de risco através do seguro agrícola visa ser acionado quando há ocorrência de fenômenos extremos.

Figura 11 - Segmentação do impacto na várzea baixa da várzea alta.

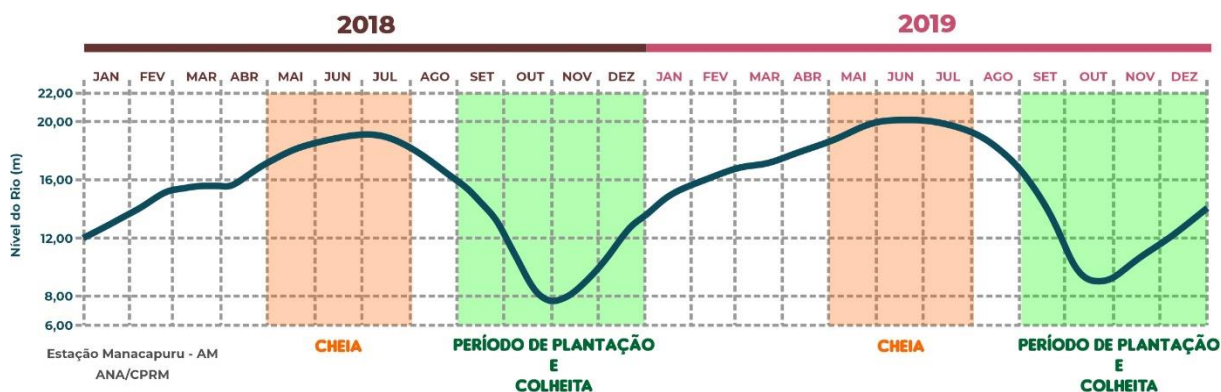


Fonte: elaborado pelo autor.

A várzea baixa (Figura 11) tem uma dinâmica agrícola diferente da várzea alta. Nesta área, o período de plantio é iniciado na água baixa, onde o nível mínimo do rio é quem determina a extensão de várzea disponível para o plantio. Desse modo, as culturas de ciclo rápido localizadas na várzea baixa, estão susceptíveis a serem impactadas pela cheia do rio sem que necessariamente ocorra um evento extremo de inundação.

Portanto, na várzea baixa, o calendário agrícola de plantio e colheita é norteado principalmente pela variação do comportamento da hidrógrafa, conforme exemplificado na Figura 12 que representa o recorte do comportamento do rio Solimões durante os anos de 2018 e 2019.

Figura 12 - Variação do rio Solimões entre 2018 e 2019 exemplificando o período de plantio e colheita na várzea baixa.



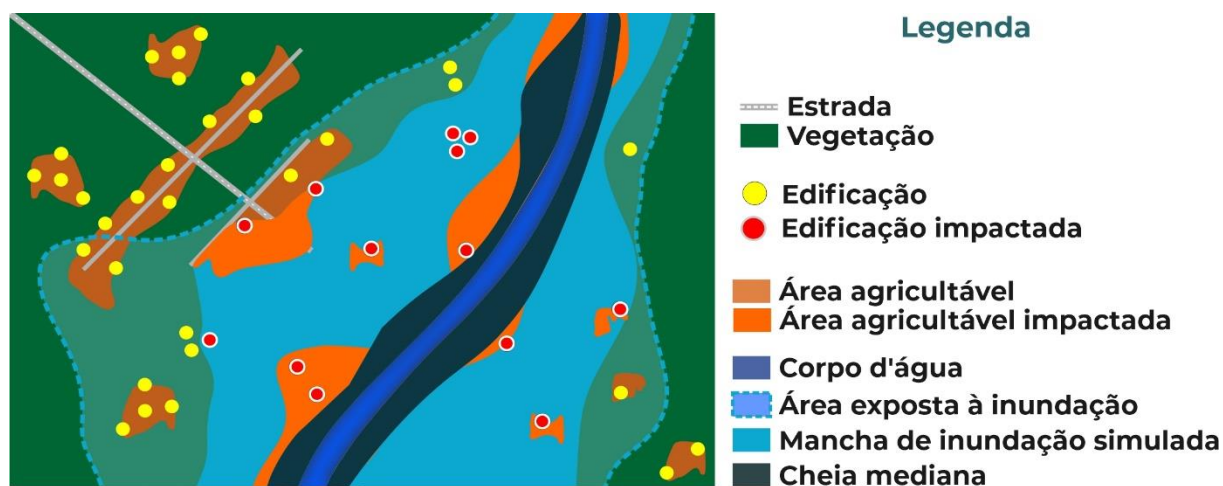
Fonte: elaborado pelo autor.

Ao cultivar na várzea baixa durante o período de água baixa, conforme observado na Figura 12, o agricultor assume o risco de desenvolver sua produção antes que a área seja inundada novamente. Neste cenário, a ascensão do rio antes do previsto pelo produtor, devido a variabilidade hidroclimatológica, poderá acarretar na perda da produção. Por este motivo, o impacto na várzea baixa está associado diretamente ao comportamento da hidrógrafa a cada ano.

Em virtude do exposto, e com base na cheia mediana, foi realizada a exclusão das áreas agricultáveis, propriedades e edificações que se localizam na várzea baixa. Logo, os impactos ocasionados abaixo nas cheias medianas não fizeram parte da análise desta pesquisa.

A análise do impacto de inundação na várzea alta foi desenvolvida utilizando as manchas de inundação simuladas sobre os elementos da área agricultável, edificações e propriedades. Para estes mesmos dados, foi aplicado um recorte com base na mancha simulada de 22,00 metros que representa o quantitativo das variáveis de impacto que estão expostas aos eventos de inundação referenciados dentro da mancha de cheia com TR de 100 anos, conforme exemplificado da Figura 13. Ressalta-se que, neste exemplo, as edificações representam de forma similar à análise feita para as propriedades.

Figura 13 - Demonstrativo da disposição dos elementos utilizados na análise de impacto levando em consideração a área de cheia da cota mediana, o evento de inundação, a área exposta à ameaça de inundação e os elementos impactados, no caso, edificações, propriedades e áreas agricultáveis.



Fonte: elaborado pelo autor.

Os dados resultantes do número de propriedades, edificações e o quantitativo de área agricultável dentro da mancha de inundação com TR de 100 anos serviu como referência para quantificar a porcentagem do que foi impactado pelos eventos extremos de inundação na várzea alta. Esse recorte foi necessário para identificar os elementos suscetíveis aos impactos de inundação, uma vez que a área total do município não está exposta ao risco de inundação, e portanto, ao comparar estes elementos impactados com toda extensão do município poderia resultar na atenuação da severidade do evento.

Por fim, foram obtidos os registros históricos de desastres de inundações em Manaquiri através do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID). O sistema disponibiliza o Formulário de Informações do Desastre (FIDE), documento que serve para registrar a ocorrência de desastres, além de ser usado na abertura e homologação de reconhecimento federal de desastres (OLIVEIRA, 2012) que foram elaborados pela defesa civil municipal de Manaquiri. Estes registros foram sintetizados para uma análise e validação de referenciamento do limiar de cota mediana usado para determinar o início de impacto por eventos extremos.

#### **4.2.3.2 Limiar para a transferência de risco**

A segunda etapa consistiu em analisar o impacto das enchentes deflagradas nos últimos 11 anos (2010 – 2021) nas áreas agricultáveis que superaram o nível da cheia mediana, ou seja, que possivelmente impactou a várzea alta. Para estes anos, foi elaborado a curva de profundidade da inundação *versus* impacto causado, que serviu como base para assimilar a intensidade do evento e quantificar o impacto.

Cada ano analisado resultou em um percentual de impacto de acordo com o quantitativo de área exposta obtido pela TR de 100 anos. Após a análise, foi definido percentual igual ou acima de 40% de impacto da área agricultável exposta para identificar os anos que haveria necessidade de realizar a transferência de riscos por meio de seguro agrícola.

Desse modo, foram definidos dois limiares que devem ser atingidos para o acionamento do seguro agrícola, o primeiro é referente ao nível do rio Solimões ter superado a cheia mediana e o segundo é em relação ao percentual de 40% da área agricultável impactada.

#### **4.2.3.3 Severidade do impacto**

Na terceira etapa, o quantitativo dos elementos expostos identificados na inundação com TR de 100 anos, isto é, área agricultável, edificações e propriedades, foram agregados aos 17 setores censitários presentes na área de estudo considerando os elementos impactados nas inundações de 2017, 2019 e 2021. Posteriormente, a severidade do impacto para os setores censitários foi elaborada com base na porcentagem dos elementos que foram afetados nestas inundações, tendo a espacialização do impacto em cada setor censitário com base na mancha de inundação simulada para cada ano. A escolha destes três anos se deu devido à possibilidade de comparação entre áreas afetadas demonstradas no formulário FIDE.

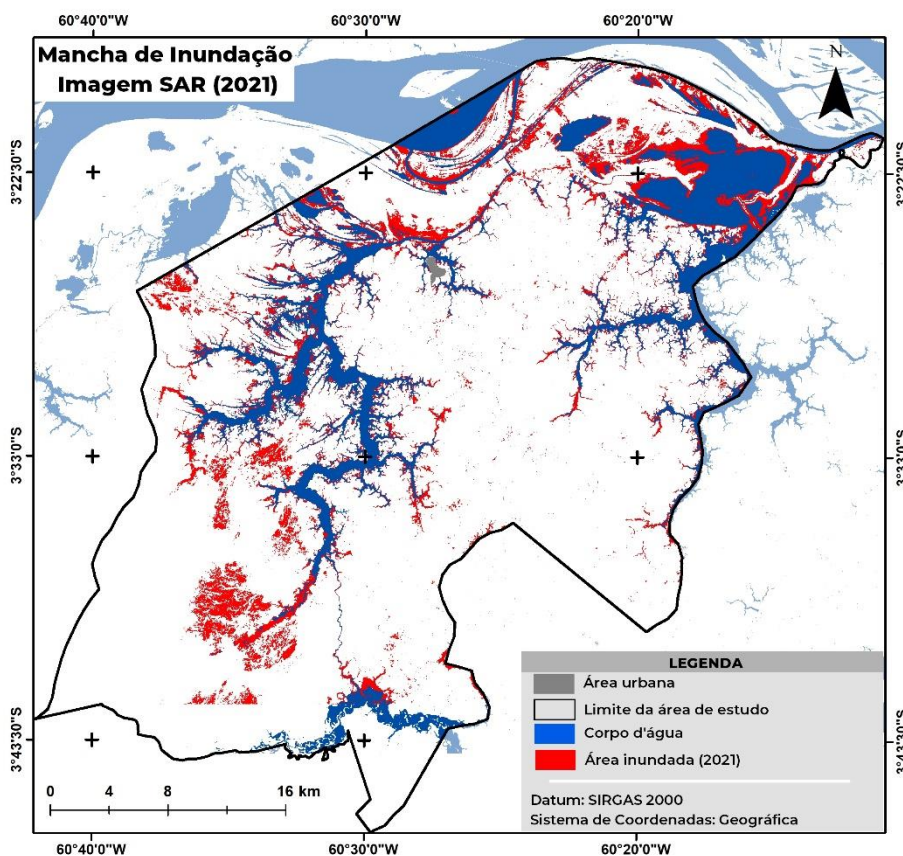
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados apresentados referem-se a análise de impacto. São discutidos os resultados em relação ao mapeamento da inundação usando imagens de radar e modelagem hidráulica, a avaliação da transferência do risco para os últimos onze anos e, por último, é apresentado a espacialização da severidade da inundação.

### 5.1 Mancha de inundação

Na Figura 14 é apresentado o resultado da classificação das áreas inundadas extraída da imagem SAR do satélite Sentinel-1, conforme metodologia descrita na subseção 4.2.1.2. A cor vermelha representa a extensão da área inundada em 2021 e a cor azul refere-se aos corpos d'água permanentes.

Figura 14 - Mancha de inundação obtida a partir do processamento de imagens SAR do satélite Sentinel 1.



Fonte: elaborado pelo autor.

Na inundação ocorrida em 2021, o pico da cheia de 20,86 metros do rio Solimões foi alcançado no dia 16 de junho, a imagem de radar utilizada foi obtida no dia 19 de junho, quando o nível do rio já havia diminuído dois centímetros. O período de descida das águas do rio Solimões é gradual, portanto, o Sentinel-1 mesmo com resolução temporal de 6 a 12 dias, de imagear área inundada próximo ao pico máximo da inundação.

O intervalo de retrodifusão utilizado para delimitar as áreas inundadas na polarização VH foi -17,25 dB e na polarização VV foi de 11,29 dB. Na Figura 14 é possível observar que a mancha resultante da junção das polarizações VH e VV dos dados de radar ficou de fato restrita aos rios e lago, isto é, não houve o espalhamento da água sobre locais com vegetação. Conforme observado por Singha et al. (2020), há incertezas na utilização da banda C do Sentinel-1 no mapeamento da extensão de inundação sob a cobertura da vegetação. Desse modo, detectar vegetação inundada com dados SAR se torna complexo por conta dos padrões de espalhamento além das características do sensor.

Apesar dos trabalhos (MITRAKA et al., 2020; PSOMIADIS et al., 2020; SADEK et al., 2020; SINGHA et al., 2020 UDDIN et al., 2019) usarem dados do Sentinel 1 para obter mancha de inundação, há ressalvas quanto as características da superfície mapeada no que se diz respeito ao tipo e densidade de vegetação presente na área a ser avaliada. As limitações são relativas às características da banda C, pois o feixe do radar acaba não atravessando por completo o dossel da vegetação e conseqüentemente acaba não registrando a parcela de água abaixo do dossel.

Tal como, O'hara et al. (2019) também utilizaram o método proposto pela UN-SPIDER para realizar o mapeamento de inundação. A baixa acurácia obtida em seus resultados no mapeamento das áreas inundadas foi atrelada à capacidade limitada do sensor de banda C em detectar inundação sob vegetação. Desta forma, a partir da análise da mancha de inundação elaborada para área de estudo, verificou-se que a mesma subestimou a área inundada nos locais com vegetação.

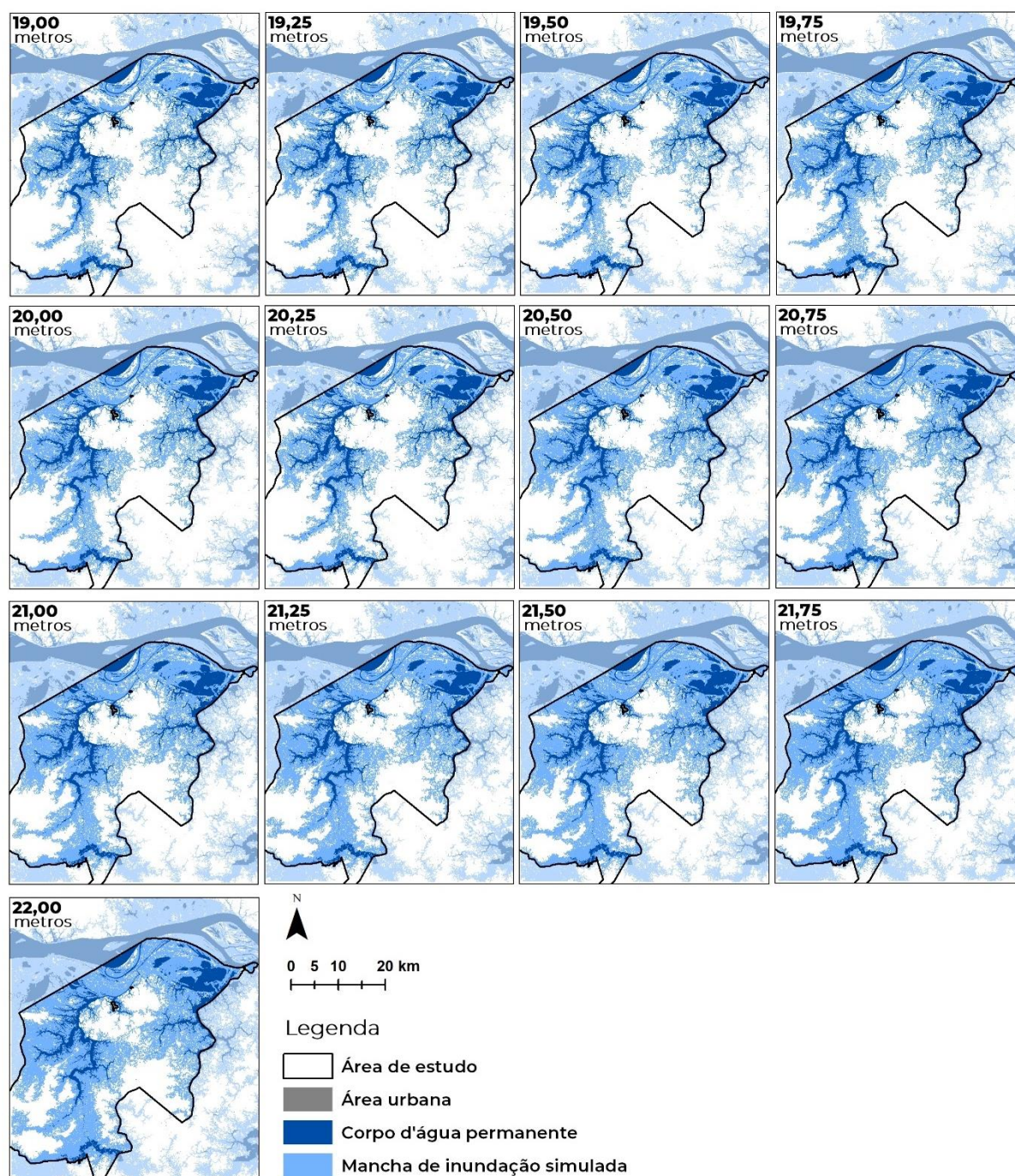
Embora os dados de satélite têm uma boa capacidade de identificar inundações fluviais de grande extensão, há de se considerar, conforme elencado por Clement et al. (2017), que áreas com vegetação podem acarretar na subestimação da extensão de inundação. Apesar das limitações, os dados do Sentinel-1 têm sido amplamente utilizados para o monitoramento de impacto dos desastres, como exemplo, o Copernicus Emergency Management Service (CEMS) tem feito o mapeamento rápido de desastres para a gestão de crises com dados do Sentinel (MITRAKA, et al., 2020). Portanto, o dado SAR pode ser útil ao fornecer a visão do

evento de inundação na conjuntura da resposta ao desastre.

Quanto ao contexto da transferência de risco, este é baseado na construção de um “cenário de impacto” que possa dimensionar a quantidade de pessoas vulneráveis e ativos expostos que vão ser impactados. Nessa perspectiva, a modelagem permite fornecer informação referente à ameaça, que pode ser usada na quantificação e avaliação do impacto. De forma mais prática, isso significa que é possível dimensionar as probabilidades de perdas para diferentes cenários considerando os tempos de retorno, por exemplo, a estipulação da perda esperada, ou perda máxima provável para um TR de 100 anos (UNITED NATIONS OFFICE..., 2017).

O mapeamento de mancha de inundação simulada por modelagem hidráulica é apresentado na Figura 15. São 13 manchas para área de estudo, as quais permitem mensurar o impacto para os níveis do rio que já ocorreram (até a mancha de 20,75 metros), além das cotas que ainda não foram registradas (a partir de 21,00 metros), com potencial de ser associado ao prognóstico de impacto.

Figura 15 - Extensão da inundação gerada por modelagem hidráulica a cada 25 centímetros de profundidade.



Fonte: elaborado pelo autor

A simulação hidráulica utiliza o relevo para apresentar a topografia da planície de inundação para simulação do escoamento da água, por consequência, a resolução do MDE passa a ser o principal limitador na modelagem da mancha de inundação. Essa limitação é dada devido à falta de MDE de melhor resolução para a área de estudo, por exemplo, as áreas



com floresta podem ter a extensão da inundação subestimada pelo modelo por conta do erro associado à altura da copa das árvores.

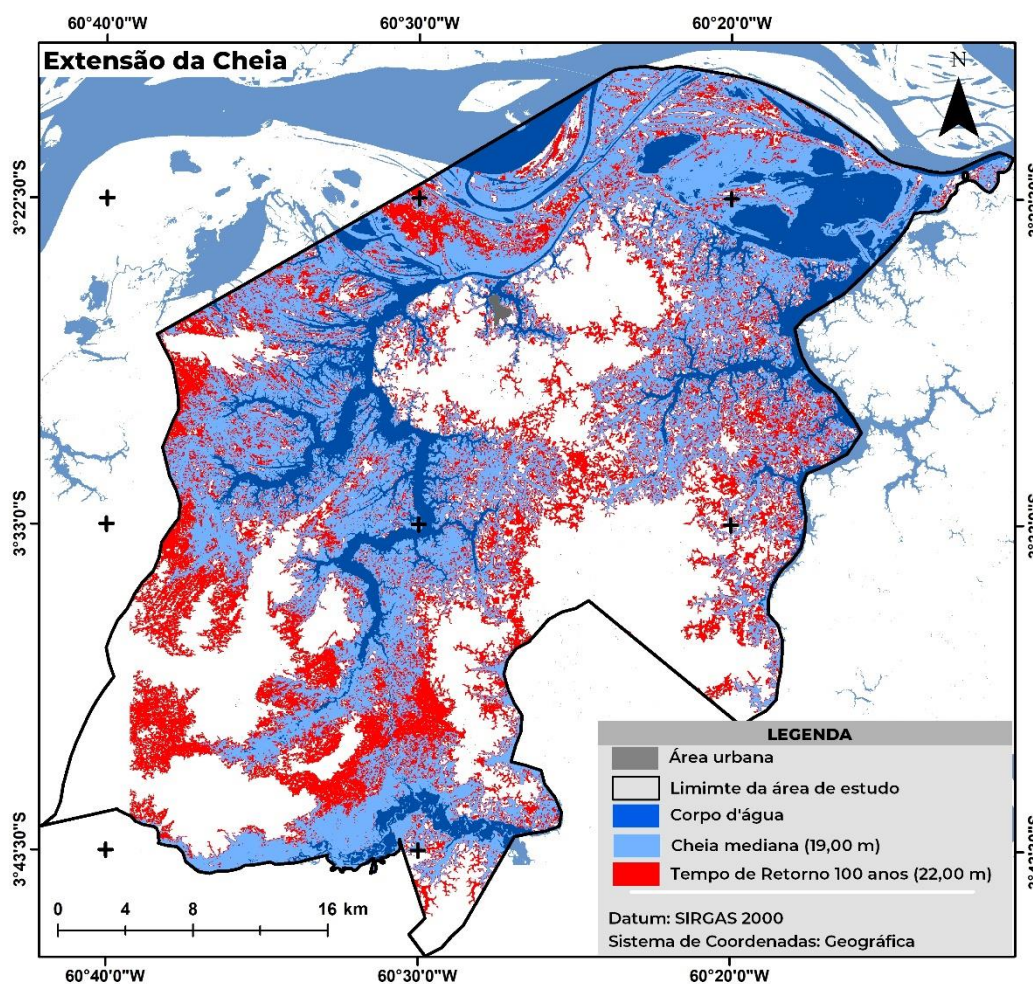
De acordo com Rudorff et al. (2014), apesar das incertezas, concluíram que o LISFLOOD-FP foi capaz de reproduzir bem a extensão da inundação utilizando os dados de MDE de 90 metros. Considerando os resultados obtidos para a obtenção de mancha de inundação usando métodos e dados diferentes, conforme proposto, verificou-se que ambos os métodos apresentaram problemas que evidenciam a dificuldade de obter dados que permite gerar manchas de inundação com alta acurácia.

Dessa forma, em virtude da metodologia utilizada para extrair a extensão de inundação dos dados SAR ter apresentado dificuldades no mapeamento da área agricultável inundada e com foco na transferência do risco, optou-se por utilizar os dados da modelagem hidráulica para desenvolver análise de impacto de inundação por ser mais representativa nos eventos de inundação extrema.

## **5.2 Análise do impacto de inundação**

A análise da mediana dos níveis máximos anuais utilizada para diferenciar os impactos entre a várzea baixa e a várzea alta com base na série histórica (1973 – 2019), conforme descrito na subseção 4.2.3, resultou na cota 19,00 metros e a mancha com TR de 100 anos é referente a cota de 22,00 metros. A Figura 16 apresenta a espacialização da água permanente, a extensão da cheia mediana e a mancha de inundação para o TR de 100 anos.

Figura 16 - Comparativo entre área de água permanente e as áreas afetadas pela cheia mediana.



Fonte: elaborado pelo autor.

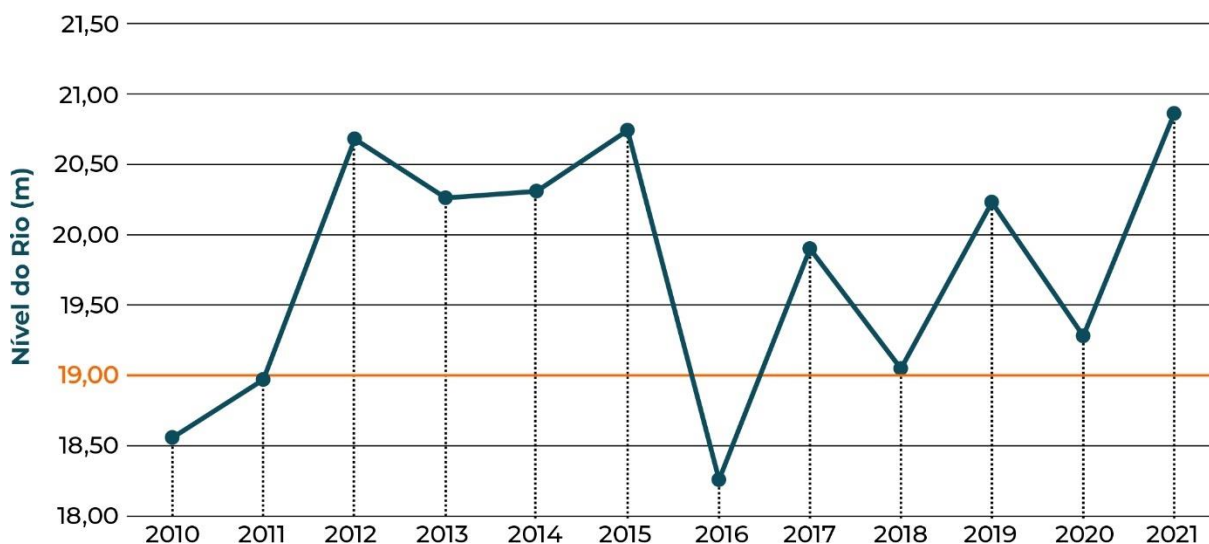
Nas atividades agrícolas desenvolvidas na várzea alta, ou seja, acima da extensão da cheia mediana observada na Figura 16, o agricultor tem a expectativa que o cultivo não seja afetado por enchentes recorrentes. Desta forma, infere-se que nessas áreas há o desenvolvimento de cultivos de ciclo rápido e/ou longo que certamente vão se sobrepôr ao período de cheia do rio Solimões.

Portanto, quando houver deflagração de um extremo de inundação, essas áreas serão impactadas e resultará na perda da produção. O TR de 100 anos representado pela cota 22,00 metros indica as áreas exposta à inundação e o limite máximo adotado para análise de impacto.

### 5.3 Análise de impacto nas áreas agricultáveis

A Figura 17 apresenta o nível máximo do rio Solimões de acordo com os dados da ANA para os anos analisados no presente estudo.

Figura 17 - Nível máximo do rio Solimões nos últimos 11 anos.

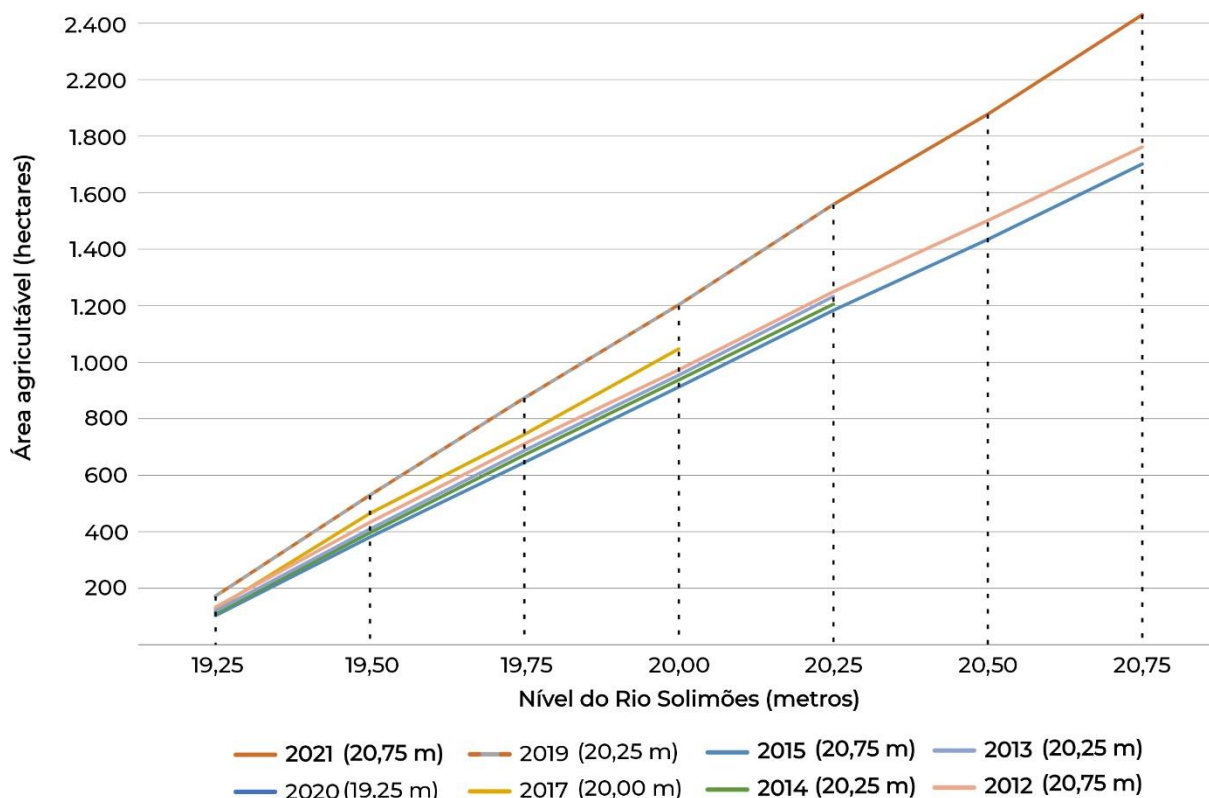


Fonte: elaborado pelo autor.

Objetivando verificar o impacto na várzea alta, na primeira análise ao observar a Figura 17 é possível constatar que nos anos de 2010, 2011 e 2016, o nível máximo do rio não superou a cota da cheia mediana (19,00 metros). Portanto, para estes anos não foi desenvolvida a análise de impacto, pois infere-se que não houve danos decorrente de inundações extremas.

O resultado da evolução do impacto de inundação para os demais anos pode ser observado na Figura 18. Para os anos 2020 e 2021, a área agricultável foi obtida a partir do mapa de uso e cobertura da terra do Projeto MapBiomias referente ao ano de 2019.

Figura 18 - Variação do impacto de inundação em área agricultável (hectares) de acordo com dados dos últimos nove anos na área de estudo no município de Manaquiri.



Fonte: elaborado pelo autor.

No gráfico da Figura 18, o primeiro estágio é referente à área agricultável quantificada da cota de 19,00 metros (cheia mediana) até o nível 19,25 metros. Nesse estágio todos os anos iniciaram com impacto em torno de 350 hectares, só passando a se diferenciar a partir da cota 19,50 metros. Os maiores eventos de inundação foram deflagrados nos anos 2012, 2015 e 2021 que resultou no impacto de 1.961, 1.901 e 2.429 hectares de área agricultável, respectivamente.

A Tabela 1 apresenta a quantificação do impacto nas áreas agricultáveis para cada ano analisado conforme o pico máximo de cheia, de acordo com a mancha de inundação simulada. A porcentagem da área agricultável impactada é referente a extensão da área agricultável dentro da cheia com TR de 100 anos.

Tabela 1- Estimativa do impacto de área agricultável para os anos de nível máximo acima da cota da cheia mediana.

Ano	Nível Máximo (metros)	Mancha Adotada (metros)	Impacto na área agricultável (hectares)	Área exposta TR de 100 anos (hectares)	Porcentagem da área agricultável impactada
2021	20,86	20,75	2.429	4.548	53%
2020	19,28	19,25	372	4.548	8%
2019	20,23	20,25	1.175	4.548	39%
2018	19,05	19,25	364	4.330	8%
2017	19,90	20,00	1.247	3.948	32%
2015	20,74	20,75	1.901	3.516	54%
2014	20,31	20,25	1.405	3.494	40%
2013	20,26	20,25	1.432	3.483	41%
2012	20,68	20,75	1.961	3.430	57%

Fonte: elaborado pelo autor.

Nos anos 2018 e 2020, período que o pico da enchente ficou próximo da cheia mediana, o impacto correspondeu a 8% quando comparado as áreas expostas aos eventos de inundação, conforme a Tabela 1. Conseqüentemente o impacto mais substancial foi observado nos anos mais extremos, 2012, 2015 e 2021. Apesar de 2021 ter registrado evento de cheia histórica, o ano de 2012 se configurou como sendo o que apresentou maior impacto na área agricultável na área de estudo, isso se deve ao fato da dinâmica do uso e ocupação da terra.

A Tabela 2 apresenta o histórico de desastres de inundações nos últimos 11 anos para o município de Manquiri, de acordo com informações do S2ID. Para cada ano, é possível verificar se houve ou não, por parte da defesa civil municipal, o preenchimento do FIDE. Caso preenchido, constam ainda a data da ocorrência do desastre, e com base nas informações da ANA, o nível do rio Solimões para esta data.

Tabela 2 - Histórico de solicitação de reconhecimento de desastre de inundação nos últimos 11 anos na cidade de Manaquiri.

Ano	Registro FIDE	Data da ocorrência do desastre	Nível do rio na data da ocorrência do desastre (metros)	Nível Máximo (metros)
2021	Sim	29/04	19,83	20,86
2020	Sim	11/05	18,29	19,28
2019	Sim	23/05	19,59	20,23
2018	Não	*		19,05
2017	Sim	01/05	19,29	19,90
2016	Não	*		18,26
2015	Sim	25/05	20,26	20,74
2014	Sim	16/06	19,53	20,31
2013	Sim	31/05	20,08	20,26
2012	Sim	23/04	19,56	20,68
2011	Não	*		18,97
2010	Não	*		18,56

Legenda: \*Não houve preenchimento do Formulário de Identificação do Desastre (FIDE).

Fonte: elaborado pelo autor.

Considerando a data da ocorrência do desastre informada no FIDE, que é referente a data da decretação estadual ou municipal do desastre (OLIVEIRA, 2012), infere-se que esta data antecede o período em que a defesa civil municipal elaborou o pedido de reconhecimento de situação de anormalidade, ou seja, o momento em que o município começou a ser impactado pela inundação e não, necessariamente, a data que ocorreu o pico máximo da cheia por se tratar de um evento de evolução gradual.

Portanto, de acordo com a Tabela 2, nos últimos 11 anos houve quatro anos que não houve preenchimento do FIDE. Nos anos que não houve solicitação, o pico máximo do rio Solimões registrado em 2010, 2011 e 2016 ficou abaixo da cota da cheia mediana de 19,00 metros, em 2018 o nível superou a cheia mediana somente em 5 centímetros. Nos oito anos em que a defesa civil municipal elaborou o FIDE (2012, 2013, 2014, 2015, 2017, 2019, 2020 e 2021) o nível do rio na data de ocorrência do desastre estava ligeiramente acima da cota

mediana. Com base nesses registros históricos, verifica-se que o comprometimento decorrente do impacto por eventos extremos de inundação na área rural de Manaquiri, de fato se inicia quando o nível do rio supera o limiar da cheia mediana (19,00 metros).

Frente a estas informações, a definição do primeiro critério para acionamento da transferência de risco por meio de um seguro agrícola, considerando que este deve ser acionado quando há ocorrência de eventos extremos, foi estabelecido quando o nível do rio supera a mediana das cotas máximas que posteriormente foi validado com base no relatório FIDE.

O segundo critério se deu por meio da análise da área agricultável sobreposta à mancha de inundação simulada, excluindo-se as áreas delimitadas abaixo da cheia mediana. Para o município de Manaquiri, o quantitativo proposto de área agricultável impactada para acionamento do seguro agrícola foi igual ou maior que 40% considerando a extensão de área agricultável exposta dentro da zona de inundação equivalente a TR de 100 anos

Portanto, seguindo os critérios de acionamento do seguro agrícola propostos deste estudo, os anos de 2010, 2011 e 2016 ficaram com impacto limitado à várzea baixa, não chegando a atender o primeiro critério da análise de impacto referente a cheia mediana. Para os anos de 2017 (32% de impacto), 2018 (8% de impacto), 2019 (39% de impacto) e 2020 (8% de impacto), apesar de ter superado a cheia mediana, a área agricultável impactada foi menor que 40%. Portanto, para estes anos, também não seria acionado a transferência de risco.

Para os anos de 2012 (57% de impacto), 2013 (41% de impacto), 2014 (40% de impacto), 2015 (54% de impacto) e 2021 (53% de impacto) em que o evento de inundação foi considerado severo ao ponto de ter superado a cheia mediana e ter área impactada igual ou maior que 40%, por tanto atingindo os dois critérios para acionamento da transferência de risco, os agricultores estariam aptos a receber o seguro agrícola.

Não se eximindo que a cheia do rio Solimões em 2010, 2011, 2016, 2017, 2018, 2019 e 2020 possa ter desencadeado algum impacto, o ideal é que para estes anos fosse adotado estratégias no sentido de diminuir o risco residual dos agricultores que, porventura, possam ter tido alguma perda, conforme orientações da Food and Agriculture Organization of the United Nations (2018).

Além da perda da produção decorrente dos eventos extremos de inundação, os agricultores familiares que possuem pequena criação de gado acabam por manter os animais em abrigo temporário suspenso e são alimentados de forma manual ou então remanejados

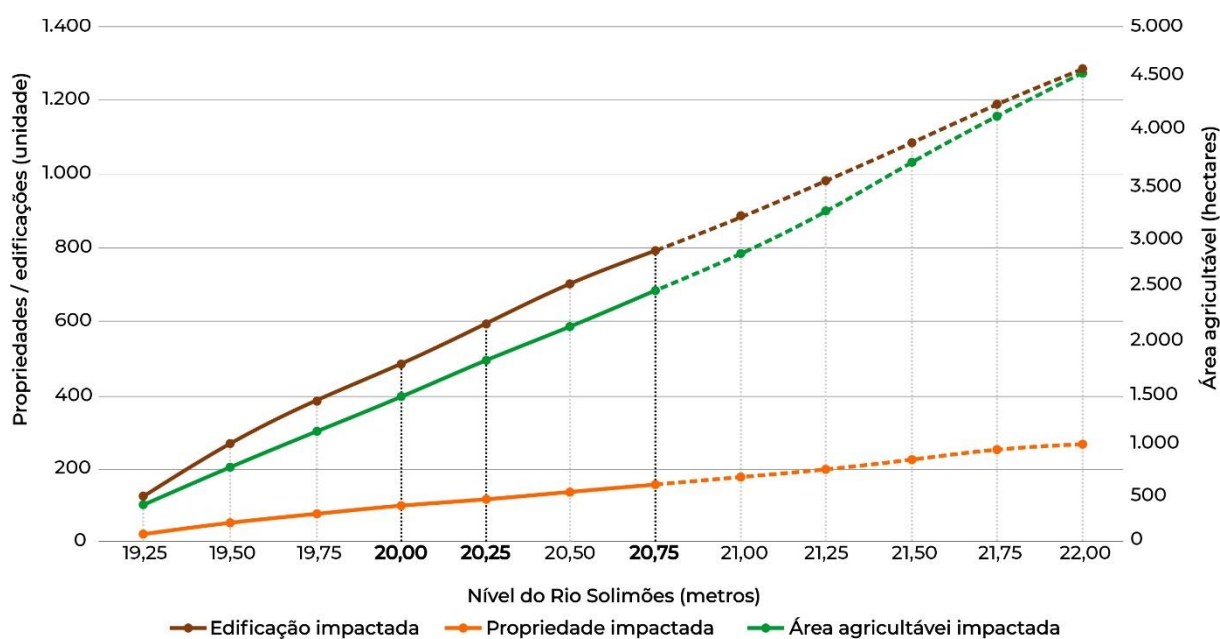
para áreas com relevo elevado (FRAXE et al., 2007). Mesmo adotando estas medidas, os extremos de inundação podem restringir as áreas que o rebanho pode ser remanejado e dependendo da duração da inundação que impõe o racionamento da alimentação destes animais, eles começam a perder peso. A criação de gado por pequenos agricultores muitas vezes assume o papel de poupança ou mesmo para uso em necessidade de emergência (PRADO e RIBEIRO, 2011). Desse modo, a morte ou perda de peso desse animal influencia diretamente no financeiro do agricultor que já está abalado por conta da inundação, o qual pode ser reduzido com seguro agrícola.

#### 5.4 Severidade do impacto

O resultado da quantificação do impacto *versus* cota para as áreas agricultáveis (ano referência 2019), edificações e propriedades é apresentado na Figura 19. O nível histórico de inundação foi de 20,86 metros e considerando a mancha simulada mais próxima, o impacto dessa inundação foi representado pela mancha 20,75 metros.

As cotas acima da mancha de 20,75 metros (linha pontilhada) são para eventos que ainda não ocorreram. A última cota, de 22,00 metros, representa a cota com TR de 100 anos.

Figura 19 - Curva de profundidade da mancha *versus* impacto das edificações, propriedades e áreas agricultáveis (2019) impactadas de acordo com as manchas de inundação simulada.



Fonte: elaborado pelo autor.

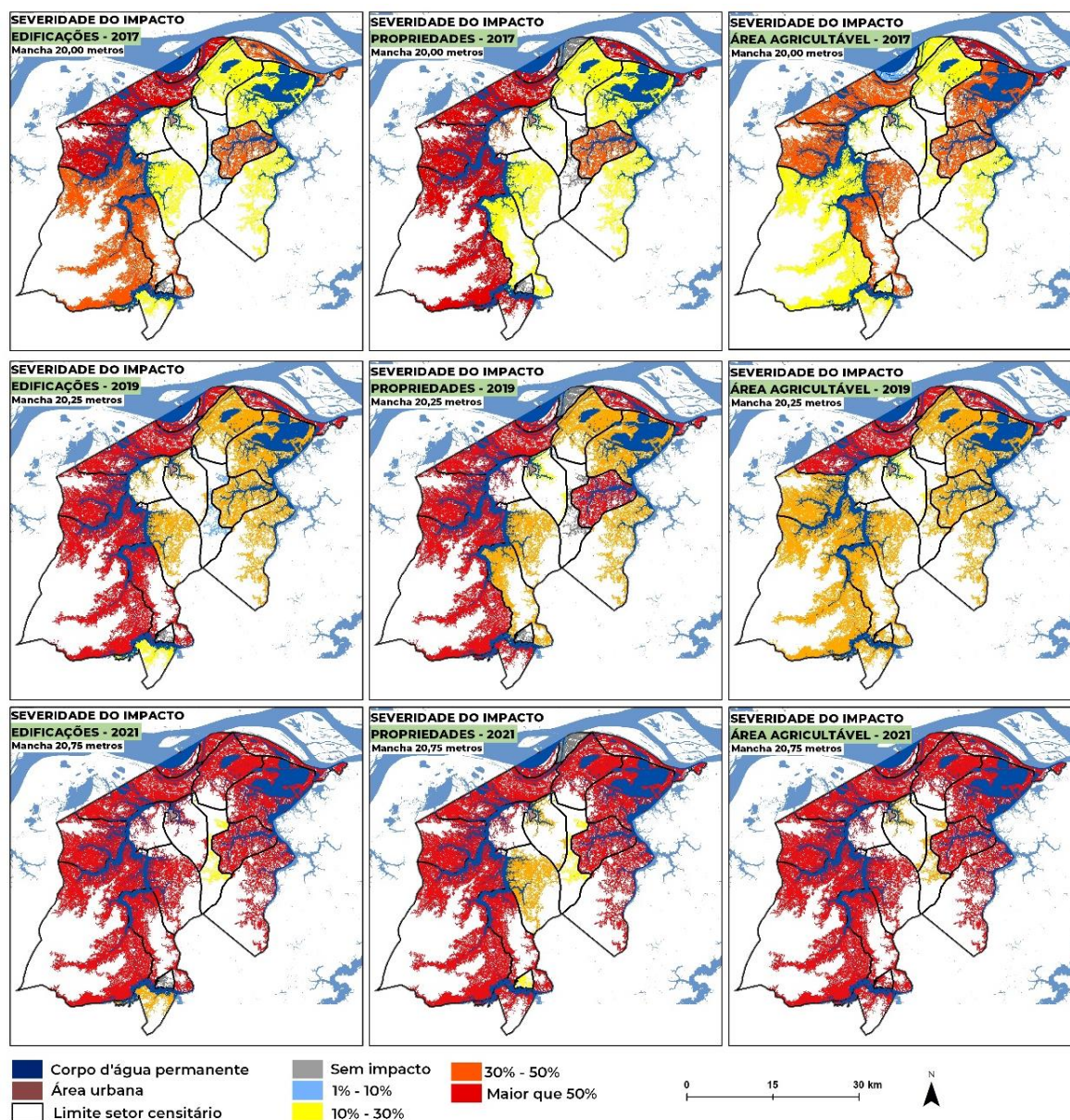


Na área de estudo, acima da cheia mediana, há um total de 3.139 edificações, 595 propriedades e 18.603 hectares de área agricultável. Destas 1.281 edificações, 267 propriedades e 4.547 hectares de área agricultável estão expostas, ou seja, estão passíveis de serem impactadas nos eventos extremos de inundação com TR de até 100 anos.

Os resultados obtidos a partir desta análise podem ser complementares a trabalhos que visam prever o nível do rio. Como exemplo, tem-se o modelo de previsão proposto por Chevuturi et al. (2021) que permite fazer uma previsão do nível do rio Negro em Manaus com aproximadamente três meses de antecedência. Os dados de previsão do nível do rio têm potencial para ser agregada à metodologia de análise de impacto neste estudo, a exemplo da Figura 19, ao ter a estimativa de impacto associado a cada nível do rio, inclusive para cotas que ainda não foram alcançadas (exemplificadas pelas linhas tracejadas). A previsão do nível do rio poderia ser associada à um novo produto de prognóstico de impacto junto a espacialização da severidade do evento.

Na Figura 20 é apresentado o resultado da proposta de espacialização da severidade do impacto considerando cada setor censitário e o percentual das edificações, propriedades e área agricultável impactados com base nas manchas simuladas para o ano de 2017 (cota 20,75 metros), 2019 (cota 20,25 metros) e 2021 (cota 20,75 metros). No Brasil, Assis Dias et al. (2018) também utilizou dados censitários do IBGE no sentido de fazer o mapeamento da população exposta em áreas de risco de deslizamento e inundação em áreas urbanas. A espacialização do impacto por setores censitários torna a visualização das áreas afetadas mais clara, uma vez que é apresentada com diferentes gradações da intensidade do impacto.

Figura 20 - Espacialização da severidade do impacto de inundação nas edificações, propriedades e área agricultável nos anos de 2017, 2019 e 2021



Fonte: elaborado pelo autor.

A vantagem da espacialização do impacto, apresentada na Figura 20, é que ela considera o impacto associado a mancha de inundação dentro do setor censitário, ou seja, fica claro que para cada evento de inundação haverá diferentes níveis de impacto. Essa forma de apresentação da informação tem potencial de melhor nortear as ações dos tomadores de decisão.

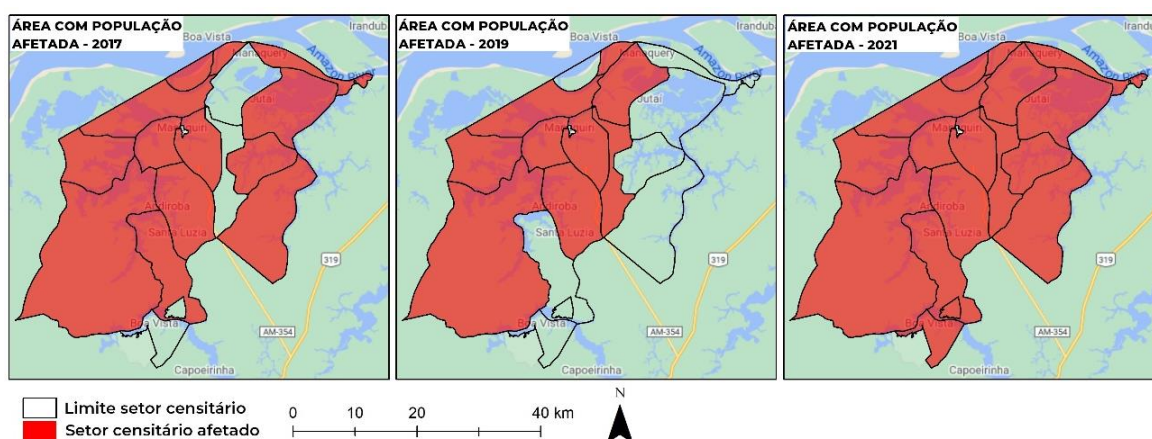
A espacialização da severidade do evento para cada setor é diferente de acordo com a

variável analisada. A evolução do impacto evidencia os setores que carecem de maior atenção e de ações de gestão de risco, principalmente no impacto relacionado às edificações e propriedades, que representam de forma mais fidedigna a ocupação por pessoas. É importante ressaltar que a área agricultável impacta pode ser superestimada em decorrência dos dados espaciais não terem resolução suficiente para identificar os lotes de produção da agrícola familiar e por não ter base de dado cadastral disponível neste nível de detalhamento.

A escassez de dados é, então, outro ponto a ser levantado e que dificulta a análise, principalmente no que se refere aos limites das propriedades rurais. Neste sentido, o Cadastro Ambiental Rural (CAR) poderia ser adotado como uma base de dados estratégica no planejamento (GONÇALVES et al., 2019), entretanto, os dados para o município de Manaquiri encontram-se incompletos e pouco representativo. Estima-se que a pendência de cadastros no município esteja na faixa de 21% – 40% do quantitativo de imóveis inscritos para serem cadastrados (INSTITUTO CENTRO DE VIDA, 2019).

O relatório FIDE tem uma forma de espacializar as áreas afetadas do município com o tipo de ocupação populacional utilizando como base os limite censitário do censo populacional do IBGE (OLIVEIRA, 2012). A Figura 21 apresenta as áreas afetadas pelas inundações em 2017, 2019 e 2021 de acordo com o relatório FIDE.

Figura 21 - Áreas com população afetada de acordo com o relatório FIDE.



Fonte: elaborado pelo autor.

Apesar do pico da cheia em 2017 (19,90 metros) ter sido menor que em 2019 (20,25 metros), o relatório FIDE aponta que a quantidade de setores censitários afetados foi maior em 2017, conforme Figura 21. Mesmo os setores próximos aos cursos d'água estarem mais

expostos, em 2019, estes não foram considerados impactados, contrastando com recortes jornalísticos da época que indicam que para este ano, ao menos os setores próximos ao rio Solimões foram afetados. Portanto, é notável a dificuldade na delimitação do evento de inundação neste relatório.

De modo geral, em 2017 e 2019, a maior parte dos setores censitários teve uma variação de 30% a 50% de impacto, enquanto no ano de 2021, um impacto maior que 50% foi observado quase que na totalidade dos setores (Figura 21), conforme estratificado na Tabela 3, que apresenta a quantidade de setores por porcentagem de impacto.

Tabela 3 - Quantidade dos setores impactados por porcentagem de impacto.

		Sem impacto	1% - 10%	10% - 30%	30% - 50%	Maior que 50%
2017	Edificação	1	1	2	9	4
	Propriedade	3	0	4	4	6
	Área agricultável	0	1	9	6	1
2019	Edificação	1	1	1	7	7
	Propriedade	3	0	1	5	8
	Área agricultável	0	0	1	12	4
2021	Edificação	1	0	1	1	14
	Propriedade	1	0	2	2	12
	Área agricultável	0	0	0	2	15

Fonte: elaborado pelo autor.

Os dados apresentados na Tabela 3 mostram que o impacto aumenta consideravelmente conforme aumenta a profundidade da mancha de inundação simulada. É visível a diferença do impacto em 2021 quando comparado aos outros anos, por este ter sido o maior evento de inundação que resultou em 790 edificações, 158 propriedades e 2.429 hectares de área agricultável impactada.

Após um grande desastre, o impacto associado as perdas econômicas serão persistentes no longo prazo, principalmente para as perdas não asseguradas. Logo, o mecanismo de transferência de riscos pode fornecer um certo nível de proteção econômica, que associado ao zoneamento das áreas impactadas podem ser utilizados no planejamento

para reduzir danos futuros além de aumentar a resiliência (VON PETER et al., 2012)

Portanto, o levantamento e o mapeamento do impacto de inundação é etapa inicial na construção de uma solução que precisa ser cuidadosamente projetada, planejada e aplicada de forma adequada para que os produtores mais vulneráveis possam adotar medidas de resiliência. Em especial à transferência de riscos, com repasse financeiro aplicado ao setor agrícola, tem o potencial de preencher a lacuna de danos ocasionado pelo aumento dos eventos de inundação observados nos últimos anos (WORLD BANK, 2019)

O trabalhos neste sentido ainda dependem fortemente de dados robustos, refinados e que tenham a capacidade de representar os impactos de extremos de inundação em escala local.

## 6 CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou uma abordagem metodológica de análise do impacto de inundação na área rural do município de Manaquiri, com foco no impacto ocasionado por cheias extremas, utilizando dados de extensão da mancha de inundação simulada, dados de uso e cobertura da terra, além de dados de edificações e propriedades para conhecer a severidade do impacto na área de várzea alta.

Na análise de impacto de inundação das áreas agricultáveis, estabeleceu-se dois limiares para acionamento da transferência do risco, o primeiro, seguindo o critério climatológico para identificar os eventos de inundação que superaram a cheia mediana (19,00 metros) e o segundo, referente ao comprometimento de 40% das áreas agricultáveis dentro da cheia com TR de 100 anos. Seguindo estes parâmetros constatou-se que, para as inundações ocorridas em 2012 (57% de impacto), 2013 (41% de impacto), 2014 (40% de impacto), 2015 (54% de impacto) e 2021 (53% de impacto) haveria necessidade de acionamento do seguro agrícola.

Neste contexto, considerando as áreas agricultáveis, as edificações e as propriedades, foi identificado, a nível de setor censitário, para os anos de 2017, 2020 e 2021 a severidade da inundação de acordo com o percentual impactado. Assim, verificou-se que na inundação em 2017 e 2019, um maior quantitativo de setores censitários ficou com impacto entre 30% a 50% e, na inundação em 2021, o impacto nos setores censitários foi majoritariamente maior que 50%. Essa análise tem potencial uso como parâmetro para distinguir quais setores censitários necessitariam de maior atenção.

Para o desenvolvimento da metodologia, uma das dificuldades encontradas é a escassez de dados para a região amazônica, o que não possibilita o monitoramento específico das áreas utilizadas pelos produtores ou mesmo análise individualizada para cada tipo de cultura. Também há limitações quanto à modelagem hidráulica, relacionadas aos erros inerentes ao MDE. Quanto aos dados do Sentinel-1, o método proposto pela UN-SPIDER para realizar o mapeamento de inundação não foi efetivo na área de estudo uma vez que esta possui vegetação densa que pode causar incerteza.

Os resultados obtidos mostraram que, apesar de certa subjetividade, a associação do impacto atrelado à severidade do evento pode colaborar na gestão de desastres no que tange a realização do levantamento de perdas e danos por órgãos da Defesa Civil, além da contribuição metodológica proposta nos critérios para a transferência de risco por meio da

criação de seguros ou fundo de emergência agrícola.

Além disso, a contribuição no mapeamento das áreas exposta a ameaça de inundação em escala municipal pode ser relevante no planejamento de políticas públicas, bem como servir como um norteador na elaboração de planos de contingência e utilização das informações no aperfeiçoamento de alertas.

Ressalta-se que o mecanismo de avaliação de impacto de inundação fluvial, proposto neste trabalho, levou em conta a limitação de dados para região amazônica que por consequência não permitiu uma escala de detalhamento maior. Todavia, destaca-se que esta pesquisa teve como resultado um produto que foi capaz de espacializar o impacto, podendo ser replicado para outras localidades, levando em consideração as informações disponíveis gratuitamente, o que representa um avanço significativo.

No futuro, uma avaliação com mais cenas do Sentinel-1, incluindo estudo detalhado do comportamento de inundação sob diferentes óticas do uso e cobertura da terra, pode ajudar na análise do impacto, além do potencial uso no monitoramento quase que em tempo real dos impactos de inundação. O aperfeiçoamento do fluxo de trabalho da análise de impacto com validação em campo junto aos atores envolvidos também é tratado como perspectivas futuras do trabalhos, assim como o estudo dos impactos das cheias recorrentes na várzea baixa para levantamento de possíveis danos nesta área.

A metodologia proposta também pode ser testada visando verificar seu potencial uso na previsão de impacto quando agregado a modelos de previsão hidrológica e automatizado por um sistema de alerta antecipado.

## REFERÊNCIAS

- AFSHARI, S.; TAVAKOLY, A. A.; RAJIB, M. A.; ZHENG, X.; FOLLUM, M. L.; OMRANIAN, E.; FEKETE, B. M. Comparison of new generation low-complexity flood inundation mapping tools with a hydrodynamic model. **Journal of Hydrology**, v. 556, p. 539–556, 2018.
- ALMEIDA, L.; SERRA, J. C. V. Modelos hidrológicos, tipos e aplicações mais utilizadas. **Revista da FAE**, v. 20, n. 1, p. 129–137, 2017.
- ALMEIDA, R. T. O. **Mapeamento de perigo de inundação incorporando o indicador tempo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019. 46 p.
- ALONSO, E. B.; BELTRÁN, A. R. P. **Guía de aseguramiento bienes inmuebles públicos y la transferencia del riesgo**: protección financiera ante riesgo de desastres. Bogotá: Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. 2016. 54 p. Disponível em: <http://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/handle/20.500.11762/20604>. Acesso em: 14 mai. 2021.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Atlas de vulnerabilidade a inundações**. Brasília, DF: ANA, 2014. 15 p. Disponível em: [https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/2cfa808b-b370-43ef-8107-5c3bfd7acf9c/attachments/Atlas\\_de\\_Vulnerabilidade\\_a\\_Inundaes.pdf](https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/2cfa808b-b370-43ef-8107-5c3bfd7acf9c/attachments/Atlas_de_Vulnerabilidade_a_Inundaes.pdf). Acesso em: 24 mar. 2021.
- ASSIS DIAS, M. C.; SAITO, S. M.; ALVALÁ, R. C. S.; STENNER, C.; PINHO, G.; NOBRE, C. A.; FONSECA, M. R.; SANTOS, C.; AMADEU, P.; SILVA, D.; LIMA, C. O.; RIBEIRO, J.; NASCIMENTO, F.; CORRÊA, C. O. Estimation of exposed population to landslides and floods risk areas in Brazil, on an intra-urban scale. **International Journal of Disaster Risk Reduction**. V.31, p. 499-459, 2018.
- BARÓ-SUÁREZ, J. E. et al. Curvas de daños económicos provocados por inundaciones en zonas habitacionales y agrícolas de México. Parte II. Caso de estudio en la cuenca alta del río Lerma, México. **Ingeniería Hidraulica en Mexico**, v. 22, n. 3, p. 71–85, 2007.
- BATES, P. D.; TRIGG, M.; NEAL, J.; DABROWA, A. **User manual for LISFLOOD-FP code release 5.9.6**. Bristol: University of Bristol, 2013. 49 p. Disponível em: <https://www.bristol.ac.uk/media-library/sites/geography/migrated/documents/lisflood-manual-v5.9.6.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2020.
- BOURGEAU-CHAVEZ, L. L.; RIORDAN, K.; POWELL, R. B.; MILLER, N.; NOWELS, M. Improving wetland characterization with multi-sensor, multi-temporal SAR and optical/infrared data fusion. **Advances in geoscience and remote sensing**, v.33, p. 679-708. 2009.



BRÉMOND, P.; GRELOT, F. Economic evaluation of flood damage to agriculture - review and analysis of existing methods. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 13, n. 10, p. 2493–2512, 2013.

BRUNNER, G. W. **HEC-RAS, river analysis system, hydraulic reference manual**. Davis: US Army Corps of Engineers, 2016. 547 p. Disponível em: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Reference%20Manual.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2020.

CARDONA, O. D. A. **La gestión financiera del riesgo de desastres: instrumentos financieros de retención y transferencia para la Comunidad Andina**. Lima: PREDECAN, 2009. p. 288. Disponível em: <https://www.comunidadandina.org/StaticFiles/Temas/AtencionPrevencionDesastres/EJET1GestionFinancieraRiesgoInstrumentosFinancierosCAN.pdf>. Acesso em: 21 mai. 2021.

OLIVEIRA, M. **Capacitação dos Gestores de Defesa Civil para uso do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2iD)**. 2. ed. Florianópolis: CAD/UFSC, 2012, 116 p.

CHEVUTURI, A. KLINGAMAN, N. P. WOOLNOUGH, S. J. RUDORFF, C. M. COELHO, C. A. S. SCHONGART, J. Forecasting annual maximum water level for the Negro River at Manaus. **Climate Resilience and Sustainability**, v. 18, p. 1-17, 2021.

CLEMENT, M. A.; KILSBY, C. G.; MOORE, P. Multi-temporal synthetic aperture radar flood mapping using change detection. **Journal of Flood Risk Management**, v. 11, n. 2, p. 152–168, 2018.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Boletim de monitoramento hidrometeorológico da Amazônia Ocidental**: boletim n. 27 de 09/07/2021. Manaus: CPRM, 2021. 13 p. Disponível em: [https://www.cprm.gov.br/sace/boletins/Amazonas/20210709\\_18-20210709%20-%20182521.pdf](https://www.cprm.gov.br/sace/boletins/Amazonas/20210709_18-20210709%20-%20182521.pdf). Acesso em: 15 jul. 2021.

CRAVO, M. S.; XAVIER, J. J. B. N.; DIAS, M. C.; BARRETO, J. F. Características, uso agrícola atual e potencial das várzeas no Estado do Amazonas. **Acta Amazonica**, v. 32, n. 3, p. 351-365, 2002.

DANIELL, J.; SIMPSON, A. R.; MURNANE, A.; TIJSSEN, A.; NUNEZ, V.; DEPARDAY, R.; GUNASEKERA, A.; BACA, O.; ISHIZAWA.; SCHÄFER, A. **Review of open source and open access software packages available to quantify risk from natural hazards**. Washington: World Bank and Global Facility for Disaster Reduction and Recovery, 2014. 72 p.

DIMITRIADIS, P.; TEGOS, A.; OIKONOMOU, A.; PAGANA, V.; KOUKOUVINOS, A.; MAMASSIS, N.; EFSTRATIADIS, A. Comparative evaluation of 1D and quasi-2D hydraulic models based on benchmark and real-world applications for uncertainty assessment in flood mapping. **Journal of Hydrology**, v. 534, p. 478–492, 2016.

DING, A.; WHITE, J. F.; ULLMAN, P. W.; FASHOKUN, A. O. Evaluation of HAZUS-MH flood model with local data and other program. **Natural Hazards Review**, v. 9, n. 1, p. 20–28, 2008.

ENDO, Y.; HALABISKY, M.; MOSKAL, L. M.; KOSHIMURA, S. Wetland surface water detection from multipath SAR images using gaussian process-based temporal interpolation. **Remote Sensing**, v. 12, n. 11, p. 1756, 2020.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Estrategias innovadoras de gestión de riesgos em mercados financieros rurales y agropecuários: experiencias en América Latina**. Roma: FAO/ Academia de Centroamérica, 2016. 196 p. Disponível em: <https://www.fao.org/3/i5503s/i5503s.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2020.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Seguros agrícolas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe: lineamientos para su desarrollo e implementación**. Santiago de Chile: FAO, 2018. 70 p. Disponível em: <https://www.fao.org/3/CA1484ES/ca1484es.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2020.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The impact of disasters on agriculture and food security**. Nepal: FAO, 2015. 70 p. Disponível em: <https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/a-i5128e.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2021.

FASSONI-ANDRADE, A. **Mapeamento e caracterização do sistema rio-planície da Amazônia central via sensoriamento remoto e modelagem hidráulica**. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020. 167 p.

FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY. **Hazus earthquake model technical manual**. Washington: FEMA, 2020. 436 P. Disponível em: [https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-10/fema\\_hazus\\_earthquake\\_technical\\_manual\\_4-2.pdf](https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-10/fema_hazus_earthquake_technical_manual_4-2.pdf). Acesso em: 21 mai. 2020.

FERNANDO, C. B.; MURILLO, E.; GALLARDO, G. Enfoque epistemológico del seguro agrario para la agricultura familiar en Bolivia. **Revista de la Carrera de Ingeniería Agronómica – UMSA**, v. 5, n. 1, p. 1517–1523, 2019.

FRAXE, T. J. P.; PEREIRA, H. S.; WITKOSKI, A. C. **Comunidades ribeirinhas amazônicas: modos de vida e uso dos recursos naturais**. Manaus, AM: EDUA, 2007.

SULAIMAN, S. (coord.). **GIRD+10: Caderno técnico de gestão integrada de riscos e desastres**. 1. ed. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional, 2021. 154 p.

GONÇALVES, J.G.; CASTRO, C.V.; TAGLIAFERRO, E.R. Empresa e sustentabilidade: o cadastro ambiental rural como instrumento efetivador do socioambientalismo. **Multítemas**, v. 25, p. 27-51, 2020.

GRIMALDI, S.; PETROSELLI, A.; ARCANGELETTI, E.; NARDI, F. Flood mapping in ungauged basins using fully continuous hydrologic–hydraulic modeling. **Journal of Hydrology**, v. 487, p. 39-47, 2013.

GRIMALDI, S.; XU, J.; LI, Y.; PAUWELS, V. R. N.; WALKER, J. P. Flood mapping under vegetation using single SAR acquisitions. **Remote Sensing of Environment**, v. 237, p. 111582, 2020.

HAMMOND, M. J. et al. Urban flood impact assessment: a state-of-the-art review. **Urban Water Journal**, v. 12, n. 1, p. 14–29, 2015.

HARRIES, C. JAIME, C. **Thinking impact before instruments in humanitarian disaster risk financing**. [S. l.: s. n.], 2019. 20 p. Disponível em: [https://www.anticipation-hub.org/Documents/Academic\\_Papers/Impact\\_Before\\_Instruments.pdf](https://www.anticipation-hub.org/Documents/Academic_Papers/Impact_Before_Instruments.pdf). Acesso em: 05 dez. 2020.

HAWKER, L.; BATES, P.; JEFFREY, N.; ROUGIER, J. Perspectives on Digital Elevation Model (DEM) simulation for flood modeling in the absence of a high-accuracy open access global DEM. **Frontiers in Earth Science**, v. 6, p. 233, 2018.

US ARMY CORPS OF ENGINEERS. **HEC-FIA: flood impact analysis technical reference manual**. Davis: Hydrologic Engineering Center (HEC), 2019. 81 p. Disponível em: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-fia/documentation/CPD-81c,%20HEC-FIA%20Technical%20Reference%20Manual.pdf>. Acesso em: 21 mai. 2020.

US ARMY CORPS OF ENGINEERS. **HEC-RAS: river analysis system hydraulic reference manual**. Davis: Hydrologic Engineering Center (HEC), 2002. 547 p. Disponível em: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Reference%20Manual.pdf>. Acesso em: 21 mai. 2020.

HENDERSON, F. M., LEWIS, A.J. Radar detection of wetland ecosystems: a review. **International Journal of Remote Sensing**, v. 29, n. 20, p. 5809 – 5835, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico: 2010: características da população e dos domicílios: resultados do universo**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Divulgação do cadastro de estabelecimentos agropecuários do Censo Agropecuário 2017: nota técnica 01/2018**. Rio de Janeiro: IBGE, 2018. 10 p. Disponível em: [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101638\\_notas\\_tecnicas.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101638_notas_tecnicas.pdf). Acesso em: 10 abr. 2020.

INSTITUTO CENTRO DE VIDA. **Análise e validação do CAR no estado do Amazonas**. [S. l.]: ICV, 26 p. Disponível em: <https://www.icv.org.br/drop/wp-content/uploads/2020/02/diagnostico-amazonas-v02.pdf>. Acesso em: 27 set. 2020.

INTERNATIONAL FEDERATION OF RED CROSS AND RED CRESCENT SOCIETIES. **World disasters report 2020: come heat or high water**. Geneva: IFRC, 2020. 378 p. Disponível em: [https://www.ifrc.org/sites/default/files/2021-05/20201116\\_WorldDisasters\\_Full.pdf](https://www.ifrc.org/sites/default/files/2021-05/20201116_WorldDisasters_Full.pdf). Acesso em: 19 dez. 2020.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation: a special report of working groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. United Kingdom: Cambridge University Press, 2020. 582 p. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SREX\\_Full\\_Report-1.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SREX_Full_Report-1.pdf). Acesso em: 14 jun. 2020.

JUNK, W.J.; PIEDADE, M.T.F.; WITTMANN, F.; SCHÖNGART, J. **Várzeas amazônicas: desafios para um Manejo Sustentável**. Manaus: Editora do INPA, 2020.

KEFI, M. et al. Assessment of tangible direct flood damage using a spatial analysis approach under the effects of climate change: case study in an urban watershed in Hanoi, Vietnam. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 7, n. 1, 2018.

LOPERA, C. C. F. La protección financiera para la gestión del riesgo de desastres en América Latina. **Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres REDER**, v. 4, n. 2, p. 22–35, 2020.

LOPES, V. A. R. **Modelagem hidrológica e hidrodinâmica integrada de bacias e sistemas lagunares com influência do vento**. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017. 200 p

MARCHEZINI, V.; FERREIRA, A. M.; TEIXEIRA DE LIMA, G. R.; GONÇALVES, D. A. Emergency funding public policy for disaster response in Brazil from 2013 to 2017. **Sustentabilidade em Debate**, v. 11, n. 2, p. 266–303, 2020.

MARTINIS, S.; RIEKE, C. Backscatter analysis using multi-temporal and multi-frequency SAR data in the context of flood mapping at River Saale, Germany. **Remote Sensing**, v. 7, n. 6, p. 7732–7752, 2015.

MEIRELLES, F.A.; CARRERO, G.C.; NETO, J.G.F.; CENAMO, M.C.; GUARIDO, P.C.P. **Análise ambiental e socioeconômica dos municípios sob influência da rodovia BR-319**. Manaus: IDESAM, 2018. 118 p. Disponível em: <https://idesam.org/publicacao/analise-municipios-br319.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2020.

WORLD BANK. **Zimbabwe-agriculture sector disaster risk assessment**. Washington: World Bank, 2019. 108 p. Disponível em: <https://www.gfdrr.org/sites/default/files/publication/Zimbabwe%20Agriculture%20Sector%20Disaster%20Risk%20Assessment%20Report.pdf>. Acesso em: 23 ago. 2020.

MITRAKA, P. D.; HORRITT, M. S.; FEWTRELL, T. J. A simple inertial formulation of the shallow water equations for efficient two-dimensional flood inundation modelling. **Journal of Hydrology**, v. 387, n. 1–2, p. 33–45, 2010.

MITRAKA, Z.; SIACHALOU, S.; DOXANI, G.; PATIAS, P. Decision support on monitoring and disaster management in agriculture with Copernicus Sentinel applications. **Sustainability**, v. 12, n. 3, p. 1233, 2020.

MOEL, H. D.; JONGMAN, B.; KREIBICH, H. MERZ, B.; PENNING-ROUSELL, E.; WARD, P. J. Flood risk assessments at different spatial scales. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 20, n. 6, p. 865–890, 2015.

MOKHTARI, F.; SOLTANI, S.; MOUSAVI, S. A. Assessment of flood damage on humans, infrastructure, and agriculture in the Ghamsar watershed using HEC-FIA software. **Natural Hazards Review**, v. 18, n. 3, p. 1–9, 2017.

MONTE, B. E. O.; COSTA, D. D.; CHAVES, M. B.; MAGALHÃES, L. F. O.; UVO, C. B. Hydrological and hydraulic modelling applied to the mapping of flood-prone/areas. **Brazilian Journal of Water Resources**, v. 21, n. 1, 2016.

MOURA, E. N.; ROZELLE, J. R. Adaptação Internacional do Modelo HAZUS-MH para Estimativa de Perdas por Inundações em Curitiba-PR. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**. 2015, p. 241–250, 2019.

O'HARA, R. GREEN, S.; MCCARTHY, T. The agricultural impact of the 2015–2016 floods in Ireland as mapped through Sentinel 1 satellite imagery. **Irish Journal of Agricultural and Food Research**, v. 58, n. 1, p. 44–65, 2019.

OFFICE FOR THE COORDINATION OF HUMANITARIAN AFFAIRS. **Natural disasters in Latin America and the Caribbean: 2000-2019**. [S. l.: s. n.], 2020. 20 p. Disponível em: [https://www.humanitarianresponse.info/sites/www.humanitarianresponse.info/files/document/s/files/20191203-ocha-desastres\\_naturales.pdf](https://www.humanitarianresponse.info/sites/www.humanitarianresponse.info/files/document/s/files/20191203-ocha-desastres_naturales.pdf). Acesso em: 21 fev. 2021.

OLIVEIRA, V. P. DE; MAFRA, M. V. P.; SOARES, A. P. A. Eventos climáticos extremos na Amazônia e suas implicações no município de Manaquiri (AM). **Revista Geonorte**, v. 3, n. 8, p. 977–987, 2012.

OUBENNACEUR, K.; CHOKMANI, K.; NASTEV, M.; LHISSOU, R.; ALEM, A. E. Flood risk mapping for direct damage to residential buildings in Quebec, Canada. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 33, p. 44–54, 2019.

PINOS, J.; TIMBE, L.; ORELLANA, D. Métodos para la evaluación del riesgo de inundación fluvial: revisión de literatura y propuesta metodológica para Ecuador. **Maskana**, v. 8, n. 2, p. 147–162, 2017.

MANAQUIRI (AM). **Plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos do município de Manaquiri**: versão para aprovação. Manaquiri, [s. n.], 2012. 122 p. Disponível

em:

<https://transparenciamunicipalaam.org.br/uploads/32513PLANO%20MUNICIPAL%20DE%20GEST%C3%83O%20INTEGRADA%20DE%20RES%C3%8DDUOS%20S%C3%93LIDOS.pdf>. Acesso em: 04 jan. 2021.

PRADO, G. B.; RIBEIRO, H. Pecuarização na Amazônia e consumo de carne: o que está por trás? **Saude e Sociedade**. São Paulo, v. 20, n. 3, p. 730–742, 2011.

PSOMIADIS, E.; DIAKAKIS, M.; SOULIS, K. X. Combining SAR and optical earth observation with hydraulic simulation for flood mapping and impact assessment. **Remote Sensing**, v. 12, n. 23, p. 3980, 2020.

RAJIB, A.; LIU, Z.; MERWADE, V.; TAVAKOLY, A. A.; FOLLUM, M. L. Towards a large-scale locally relevant flood inundation modeling framework using SWAT and LISFLOOD-FP. **Journal of Hydrology**, v. 581, p. 124406, 2020.

AGRAWAL, N.; DESMUKH, T. S. Rainfall runoff modeling using MIKE 11 nam: a review. **International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology**, v. 3, n. 6, p. 659-667, 2016.

RUDORFF, C. M.; MELACK, J. M.; BATES, P. D. Flooding dynamics on the lower Amazon floodplain: 1. Hydraulic controls on water elevation, inundation extent, and river-floodplain discharge. **Water Resources Research**, v. 50, p. 619–634, 2014.

SECRETARIA NACIONAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL (Brasil). **Sistema integrado de informações sobre desastres: S2ID**. Disponível em: <https://s2id.mdr.gov.br/>. Acesso em: 10 jul. 2021.

SADEK, M.; LI, X.; MOSTAFA, E.; FREESHAN, M.; KAMAL, A.; SIDI ALMOUCTAR, M. A.; ZHAO, F.; MUSTAFA, E. K. Low-cost solutions for assessment of flash flood impacts using Sentinel-1/2 data fusion and hydrologic/hydraulic modeling: Wadi El-Natrun Region, Egypt. **Advances in Civil Engineering**, v. 2020, p. 1–21, 2020.

SANTOS, L. L. Modelos hidráulicos-hidrológicos: conceitos e aplicações. **RBGF-Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 2, n. 3, 01-19, 2009.

OULED SGHAIER, M.; HAMMAMI, I.; FOUCHER, S.; LEPAGE, R. Flood extent mapping from time-series SAR images based on texture analysis and data fusion. **Remote Sensing**, v. 10, n. 2, p. 1–30, 2018.

SHEN, J.; DU, S.; MA, Q.; HUANG, Q.; WEN, J.; YIN, Z.; GAO, J. A new multiple return-period framework of flood regulation service—applied in Yangtze River basin. **Ecological Indicators**, v. 125, p. 107441, 2021.

SHEN, X.; WANG, D.; MAO, K.; ANAGNOSTOU, E.; HONG, Y. Inundation Extent Mapping by Synthetic Aperture Radar: A Review. **Remote Sensing**, v. 11, n. 7, p. 879, 2019.

SHRESTHA, B.B.; SAWANO, H.; OHARA, M.; YAMAZAKI, Y.; TOKUNAGA, Y. Methodology for agricultural flood damage assessment. **Recent Advances in Flood Risk Management**, n. 13, p. 1-19, 2018.

SINGHA, M.; DONG, J.; SARMAH, S.; YOU, N.; ZHOU, Y.; ZHANG, G.; DOUGHTY, R.; XIAO, X. Identifying floods and flood-affected paddy rice fields in Bangladesh based on Sentinel-1 imagery and Google Earth Engine. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 166, p. 278-293, 2020.

SOUSA, P. S. D. **Proposta metodológica para estimar danos relacionados à inundação em áreas urbanas**. Dissertação (Mestrado em Desastres Naturais) – Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018. 113 p

SOUZA, C. M.; Z. SHIMBO, J.; ROSA, M. R.; PARENTE, L. L.; A. ALENCAR, A.; RUDORFF, B. F. T.; HASENACK, H.; MATSUMOTO, M.; G. FERREIRA, L.; SOUZA-FILHO, P. W. M.; DE OLIVEIRA, S. W.; ROCHA, W. F.; FONSECA, A. V.; MARQUES, C. B.; DINIZ, C. G.; COSTA, D.; MONTEIRO, D.; ROSA, E. R.; VÉLEZ-MARTIN, E.; WEBER, E. J.; LENTI, F. E. B.; PATERNOST, F. F.; PAREYN, F. G. C.; SIQUEIRA, J. V.; VIERA, J. L.; NETO, L. C. F.; SARAIVA, M. M.; SALES, M. H.; SALGADO, M. P. G.; VASCONCELOS, R.; GALANO, S.; MESQUITA, V. V.; AZEVEDO, T. Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, v. 12, n. 17, p. 2735, 2020.

TANOUE, M.; HIRABAYASHI, Y.; IKEUCHI, H. Global-scale river flood vulnerability in the last 50 years. **Scientific Reports**, v. 6, n. 1, p. 1–9, 2016.

TENG, J.; JAKEMAN, A. J.; VAZE, J.; CROKE, B.F.W.; Dutta,D.; Kim, S. Flood inundation modelling: A review of methods, recent advances and uncertainty analysis. **Environmental Modelling & Software**, v. 90, p. 201-216, 2017.

TSYGANSKAYA, V.; MARTINIS, S.; MARZAHN, P.; LUDWIG, R. Detection of temporary flooded vegetation using Sentinel-1 time series data. **Remote Sensing**, v. 10, n. 8, p. 1286, 2018.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. ABRH. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS, 2005. 679 p.

TWELE, A.; CAO, W.; PLANK, S.; MARTINIS, S. Sentinel-1-based flood mapping: a fully automated processing chain. **International Journal of Remote Sensing**, v. 37, n. 13, p. 2990–3004, 2016.

UDDIN K.; MATIN M. A.; MEYER F. J. Operational flood mapping using multi-temporal Sentinel-1 SAR images: a case study from bangladesh. **Remote Sensing**, v. 11, n. 13, p. 1581, 2019.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2012**. Florianópolis: CEPED UFSC, 2013. 104 p. Disponível em:

[https://www.ceped.ufsc.br/wp-content/uploads/2012/01/AMAZONAS\\_mioloWEB.pdf](https://www.ceped.ufsc.br/wp-content/uploads/2012/01/AMAZONAS_mioloWEB.pdf). Acesso em: 20 jan. 2021.

ULIANA, E. M.; SILVA, D. D. D.; MOREIRA, M. C.; PEREIRA, D. D.; ALMEIDA, F. T. D. Modelo hidrológico híbrido para previsão de vazões na bacia do rio Piracicaba-MG. **Revista brasileira de meteorologia**, v. 34, n. 4, p. 471-480, 2019.

UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION. **Terminology on disaster risk reduction**. Geneva, UNDRR, 2019.

UNITED NATIONS a. **Paris Agreement**. [S. l.: s. n.], 2015a. 27 p. Disponível em: [https://unfccc.int/sites/default/files/english\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf). Acesso em: 14 jun. 2020

UNITED NATIONS b. **Sendai framework for disaster risk reduction 2015 - 2030**. [S. l.: s. n.], 2015b. 37 p. Disponível em: [https://www.preventionweb.net/files/43291\\_sendaiframeworkfordrren.pdf](https://www.preventionweb.net/files/43291_sendaiframeworkfordrren.pdf). Acesso em: 26 jan. 2021.

UNITED NATIONS. **Hyogo framework for action 2005-2015**: building the resilience of nations and communities to disasters. Geneva: UN/ISDR, 2007. 28 p. Disponível em: [https://www.unisdr.org/files/1037\\_hyogoframeworkforactionenglish.pdf](https://www.unisdr.org/files/1037_hyogoframeworkforactionenglish.pdf). Acesso em: 14 jun. 2020.

UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION. **National disaster risk assessment**: governance system, methodologies, and use of results. Geneva: UNISDR, 2017. 81 p. Disponível em: [https://www.unisdr.org/files/globalplatform/591f213cf2fbe52828\\_wordsintoactionguideline.nationaldi.pdf](https://www.unisdr.org/files/globalplatform/591f213cf2fbe52828_wordsintoactionguideline.nationaldi.pdf). Acesso em: 14 jun. 2020.

VON PETER, G.; VON DAHLEN, S.; SAXENA, S. Unmitigated disasters? new evidence on the macroeconomic cost of natural catastrophes. **BIS Working Papers**, v. 394, n. 394, p. 1–38, 2012.

WARREN, I. R.; BACH, H. MIKE 21: a modelling system for estuaries, coastal waters and seas. **Environmental Software**, v. 7, n. 4, 1992.

WINSEMIUS, H. C.; AERTS, J. C.; VAN BEEK, L. P.; BIERKENS, M. F.; BOUWMAN, A.; JONGMAN, B.; WARD, P. J. Global drivers of future river flood risk. **Nature Climate Change**, v. 6, n. 4, p. 381–385, 2016.

YILDIRIM, E.; DEMIR, I. An integrated web framework for HAZUS-MH flood loss estimation analysis. **Natural Hazards**, v. 99, n. 1, p. 275–286, 2019.

ZHAO, J.; PELICH, R.; HOSTACHE, R.; MATGEN, P.; CAO, S.; WAGNER, W.; CHINI, M. Deriving exclusion maps from C-band SAR time-series in support of floodwater mapping. **Remote Sensing of Environment**, v. 265, p. 112668, 2021.