



IDENTIFICAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE E PERIGO DE INUNDAÇÕES NAS CIDADES DE TAQUARA E PAROBÉ, RS

Igor da Silva Knierin¹, <https://orcid.org/0000-0002-0825-5425>
Luís Eduardo de Souza Robaina², <https://orcid.org/0000-0002-2390-6417>

¹ Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil*

² Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil**

Artigo recebido em 28/09/2022 e aceito em 28/03/2023

RESUMO

O presente artigo aborda, como temática, a suscetibilidade e o perigo de inundação no baixo curso da bacia hidrográfica do Rio Paranhana nos municípios de Taquara e Parobé, localizados na Região Metropolitana de Porto Alegre, RS. No período entre 1975 e 2020, ocorreram 77 eventos de inundação que ocasionaram danos e perdas aos sujeitos e seus ativos. Para isso, foram realizados o inventário de registro de eventos de inundação e trabalhos de campo na área de estudo para a identificação das áreas suscetíveis à inundação e posterior validação dos dados obtidos. Para a análise do perigo, foi realizada a seleção de indicadores condicionantes e atribuição de pesos que foram estabelecidos com base na revisão da literatura, decisão multicritério e suporte do sistema de informação geográfica na integração de dados e definição de classes. Na área de estudo, os locais suscetíveis à inundação abrangem aproximadamente 9,27 km². Nessas áreas, as dinâmicas fluviais distinguem-se em processos de inundação do Rio Paranhana, do Arroio Taquara e de afluentes do Rio Paranhana e segmentam-se nas classes de perigo baixo (7%), médio (16%), alto (25%) e muito alto (52%). A pesquisa poderá ser utilizada pela administração pública no emprego de práticas de gerenciamento de risco. Nas áreas de perigo mais elevado, a colaboração de múltiplos setores da sociedade é elementar para que o gerenciamento de risco atue na prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação aos desastres.

Palavras-chave: inundação; suscetibilidade; perigo; desastre; Rio Paranhana.

* Doutor em Geografia pela Universidade Federal de Santa Maria, Professor da Secretaria Municipal de Educação de Sapiranga, E-mail: igorknierin@gmail.com

** Doutor em Geociências pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Professor Titular da Universidade Federal de Santa Maria, E-mail: lesrobaina@yahoo.com.br

IDENTIFICATION OF FLOOD SUSCEPTIBILITY AND DANGER IN THE CITIES OF TAQUARA AND PAROBÉ, RS

ABSTRACT

This article aims to identify the susceptibility and hazard of flooding in the lower course of the Paranhana river basin in the municipalities of Taquara and Parobé, located in the Metropolitan Region of Porto Alegre, RS. In the period between 1975 and 2020, 77 flood events occurred that caused damage and losses to subjects and their assets. For this, an inventory of records of flood events and fieldwork were carried out in the study area to identify areas susceptible to flooding and subsequent validation of the research. For the analysis of the hazard, the selection of conditioning indicators was carried out and the assignment of weights that were established based on the literature review, multi-criteria decision and support of the geographic information system in the integration of data and definition of classes. In the study area, the sites susceptible to flooding cover approximately 9.27 km². In these areas, the fluvial dynamics are distinguished by the flooding processes of the Paranhana River, the Taquara Stream and tributaries of the Paranhana River and are divided into low (7%), medium (16%), high (25%) and very high (52%). The research may be used by the public administration in the use of risk management practices. In areas of higher hazard, the collaboration of multiple sectors of society is elementary for risk management to act in the prevention, mitigation, preparedness, response, and recovery to disasters.

Keywords: Flood; Susceptibility; Hazard; Disaster; Paranhana River.

IDENTIFICATION DE LA SUSCEPTIBILITÉ ET DU MENACE D'INONDATION DANS LES VILLES DE TAQUARA ET PAROBÉ, RS

RÉSUMÉ

Cet article aborde, comme thème, la susceptibilité et menace d'inondation dans le cours inférieur du bassin de la rivière Paranhana dans les municipalités de Taquara et Parobé, situées dans la région métropolitaine de Porto Alegre, RS. Entre 1975 et 2020, 77 inondations ont causé des dommages et des pertes aux sujets et à leurs biens. L'objectif de la recherche est d'identifier les zones susceptibles d'être inondées et de déterminer le danger d'occurrence d'inondations. Pour cela, un inventaire des enregistrements des événements d'inondation et des travaux de terrain ont été réalisés dans la zone d'étude pour identifier les zones susceptibles d'être inondées et valider ultérieurement les données obtenues. Pour l'analyse de l'aléa, la sélection des indicateurs de conditionnement a été effectuée et l'attribution des poids qui ont été établis sur la base de la revue de la littérature, de la décision multicritères et de l'appui du système d'information géographique dans l'intégration des données et la définition des classes. Dans la zone d'étude, les sites inondables couvrent environ 9,27 km². Dans ces zones, les dynamiques fluviales se distinguent par les processus d'inondation de la rivière Paranhana, du ruisseau Taquara et des affluents de la rivière Paranhana et se divisent en faibles (7%), moyennes (16%), fortes (25%) et très élevé (52 %). La recherche peut être utilisée par l'administration publique dans l'utilisation des pratiques de gestion des risques. Dans les zones de danger plus élevé, la collaboration de plusieurs secteurs de la société est essentielle pour que la gestion des risques agisse dans la prévention, l'atténuation, la préparation, la réponse et le rétablissement des désastres.

Mots-clés: Inondation; Susceptibilité; Menace; Désastre; Rivière Paranhana.

INTRODUÇÃO

A Geografia é uma área do conhecimento capaz de contribuir com uma abordagem crítica para a compreensão dos processos físicos, naturais e socioespaciais nas áreas de perigo de inundação (GOERL; KOBIYAMA, 2013; GROTZINGER; JORDAN, 2013; VEYRET, 2015). Neste contexto, as inundações destacam-se como os processos que podem ocasionar situações de perigo e, por conseguinte, um desastre. Esse tipo de processo caracteriza-se pelo transbordamento das águas de um curso d'água, as quais atingem a planície de inundação ou área de várzea (BRASIL, 2007; AMARAL; RIBEIRO, 2015).

O perigo representa o resultado de um evento adverso com potencial de causar danos e perdas (sociais, econômicos, estruturais, ambientais, entre outros) a um determinado ativo. A sua denominação pode ser variada, enquanto, na língua francófona, adotou-se o termo *álea*, as anglo-saxônicas utilizaram *hazard* e as espanholas, *peligro*. No Brasil, as traduções podem ser expressas, como perigo, ameaça, eventos perigosos etc. (CASTRO, 1998; CASTRO, 2000; UNISDR, 2009; ZANELLA; OLÍMPIO, 2014; VEYRET; RICHEMOND, 2015).

Para sua análise, podem ser empregados diferentes métodos, procedimentos e ferramentas, de acordo com as características do evento e da área de estudo, assim como os dados e informações disponíveis. Conforme Zuquette (2018), essa análise pode ser segmentada com base em uma abordagem qualitativa, semiquantitativa ou quantitativa.

Na abordagem qualitativa, normalmente, empregam-se procedimentos de caráter nominal, semântico e sintático, permitindo um tratamento que resulta em um quadro comparativo e uma análise relativa entre classes e com uso de ferramentas como análises de lista de informações, árvores lógicas de eventos, de decisão e de falhas, análise de atributos e condicionantes (ZUQUETTE, 2018). Com esse tipo de abordagem, pode-se mencionar os estudos da CPRM (2013, 2016, 2019), em que técnicos realizaram avaliações durante trabalhos de campo nas áreas de estudo e identificaram *in loco* fatores e atributos condicionantes.

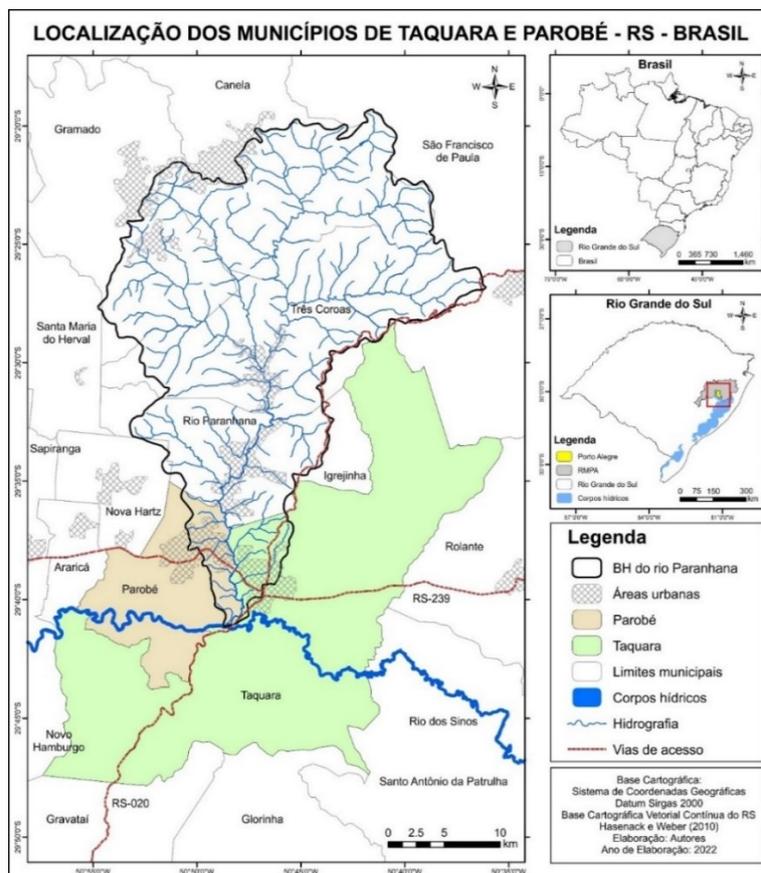
Para abordagem semiquantitativa, os recursos empregados, geralmente, buscam fornecer uma hierarquia de situações representadas por índices numéricos (ZUQUETTE, 2018). Exemplos dessa natureza são expressos nos estudos de Kormann, Schirmer e Freitas (2013), Menezes (2014), Trentin e Dias (2014) e Saueressig e Robaina (2015), em que os autores utilizaram, para análise, o inventário de eventos de inundação, dados obtidos em trabalhos de campo e posição na bacia hidrográfica, que foram manipulados com auxílio do sistema de informação geográfica (SIG) para estabelecer graus de perigo.

Por fim, os métodos quantitativos, comumente, demandam de dados quantitativos dos tipos de vazão e intervalos para previsão de eventos que ocasionam danos (ZUQUETTE, 2018). Estudos com esse tipo de abordagem são apresentados por Jamrussri e Toda (2018), Afifi et al. (2019) e Abdrabo et al. (2020), em que são empregados modelos hidrológicos para avaliação e definição do perigo. Exemplos com essa proposta metodológica ocorrem na área de estudo da presente pesquisa, com os trabalhos desenvolvidos pela METROPLAN (2018) e Tucci (2019) em que os autores buscaram estipular o perigo de inundação com base em modelos hidrológicos, todavia os resultados obtidos apresentam diversas inconsistências, o que corrobora a necessidade de validação *in loco*.

Com base no que foi exposto, entende-se que o método para análise do perigo deve ser adotado de acordo com as características e disponibilidade de informações da área de estudo. Dessa forma, deve-se dar prioridade a um método que melhor possibilite representar a dinâmica do perigo.

Integrado a isso, o presente artigo possui como objetivo identificar as áreas suscetíveis à inundação e determinar o perigo para ocorrência de inundação em um recorte espacial dos municípios de Taquara e Parobé, situados no baixo curso da bacia hidrográfica do Rio Paranhana, localizado na Região Metropolitana de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil (Figura 1). As características naturais tornam a área suscetível aos processos de inundação decorrentes do Rio Paranhana e seus afluentes e, a partir da (re)produção do espaço e intervenções antrópicas, materializaram-se as áreas de perigo.

Figura 1 – Localização dos municípios de Taquara e Parobé e da bacia hidrográfica do Rio Paranhana



Fonte: Autores (2022).

METODOLOGIA

O desenvolvimento da pesquisa foi realizado com base na organização de um banco de dados de registro de eventos de inundação, seguido pela identificação das áreas suscetíveis e de perigo à inundação no baixo curso da bacia hidrográfica do rio Paranhana nos municípios de Taquara e Parobé.

Para isso, foi organizado o banco de dados cartográfico que foi estruturado e gerenciado no *software* ArcGIS® 10.1. Com esse objetivo, foi estabelecido, como referência espacial a projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) com o Datum de referência SIRGAS 2000 e fuso 22 Sul. Como bases cartográficas foram empregadas a Base Cartográfica Vetorial Contínua do Rio Grande do Sul organizada por Hasenack e Weber (2010) na escala 1:50.000; a Base Cartográfica dos Setores Censitários do IBGE (2010) na escala 1:50.000; arquivos *kmz* dos setores de risco de inundação e movimentos de massa de Parobé da CPRM (2013); arquivos *shapefile* do estudo de alternativas e projetos para minimização do efeito das cheias na bacia do Rio dos Sinos

da METROPLAN (2018); e arquivos *shapefile* do plano estratégico de manejo de águas pluviais e prevenção de inundações urbanas de Taquara de Tucci (2019).

O inventário de registro dos eventos de inundação nos municípios de Taquara e Parobé foi baseado em um intervalo temporal de 45 anos, entre 1975 e 2020. Para essa análise e levantamento de informações, foram utilizados os acervos dos periódicos de circulação regional da Rádio Taquara (o periódico era denominado Jornal Panorama), Grupo Editorial Sinos, Repercussão Paranhana e Rede Mais de Comunicação, que abrangem os municípios do vale do Rio Paranhana e contemplam registros entre os períodos de 1975-1981 e 1985-2020.

Além dessa base referencial de dados, foi utilizado o inventário desenvolvido por Reckziegel (2007), o qual abrange dados no período 1980-2005 e contempla a área de estudo. Integrado a isso, foram utilizadas informações disponibilizadas pela Defesa Civil do Rio Grande do Sul e Defesas Cíveis Municipais de Taquara e Parobé, especialmente para levantamento de registros de Decretos de Situação de Emergência e de Estado de Calamidade Pública.

As áreas suscetíveis à inundação foram estabelecidas com base nas características geomorfológicas e determinado o limite da área da planície de inundação do Rio Paranhana e seus principais afluentes até o Rio dos Sinos. A área de inundação efetiva foi delimitada com base nos eventos extraordinários de 1978 para área central de Taquara e de 1982 para a planície de inundação do Rio Paranhana até a planície de inundação do Rio dos Sinos. Para isso, foram utilizados estudos prévios desenvolvidos na área de estudo da CPRM (2013), METROPLAN (2018) e Tucci (2019), o inventário de registro de eventos de inundação (1975-2020), trabalhos de campo com suporte de técnicos das Defesas Cíveis Municipais de Taquara e Parobé nas áreas em que ocorrem processos de inundação e entrevista não estruturada com os sujeitos que residem nesses locais. Estudos com abordagens similares foram apresentados por Kormann, Schirmer e Freitas (2013), Menezes (2014), Trentin e Dias (2014), Saueressig e Robaina (2015), Freitas (2017) e Furlan (2019).

Os trabalhos de campo foram realizados nos meses de abril, junho, julho e dezembro de 2019 e junho de 2022. As atividades dessa etapa foram estruturadas em dois momentos, sendo o primeiro para levantamento de dados junto a Fundação Estadual de Planejamento Metropolitano e Regional, Prefeituras, Secretarias e Defesas Cíveis Municipais de Taquara e Parobé e na Rádio Taquara. Em um segundo momento, foram realizados os trabalhos de campo nas áreas afetadas por processos de inundação.

O perigo de inundações foi determinado a partir da identificação da relação entre as áreas suscetíveis aos eventos de inundação e as áreas ocupadas/edificadas. O zoneamento dos graus de perigo foi baseado em indicadores como a distância das edificações em relação aos cursos d'água, a frequência de eventos de

inundação e as características dos cursos d'água quanto à dimensão e à severidade dos processos de inundação. Os indicadores foram estruturados a partir dos trabalhos de Kormann, Schirmer e Freitas (2013), Menezes (2014), Trentin e Dias (2014), Sar, Chatterjee e Adhikari (2015), Saueressig e Robaina (2015), Komi, Amisigo e Diekkrüger (2016), Freitas (2017), Luu e Meding (2018), Afifi et al. (2019), Furlan (2019), entre outros, como também com base nas características da área de estudo, trabalhos de campo e gabinete e inventário de registro de eventos de inundação. Na Tabela 1, é apresentada a síntese dos indicadores e das variáveis que foram utilizados na análise do perigo.

Tabela 1 – Síntese dos indicadores e variáveis para análise do perigo de inundação

Indicador	Dado utilizado	Fonte
Distância do curso d'água	Áreas suscetíveis à inundação, imagem óptica de satélite, trabalhos de campo e pontos de controle	<i>Basemap - World Imagery</i> do ArcGIS® 10.1 e METROPLAN (2018)
Frequência de processos de inundação	Inventário de eventos de inundação e trabalhos de campo	Periódicos de circulação regional, Defesa Civil, <i>Basemap - World Imagery</i> do ArcGIS® 10.1 e METROPLAN (2018)
Dimensão do curso d'água	Inventário de eventos de inundação e trabalhos de campo	Periódicos de circulação regional, Defesa Civil, <i>Basemap - World Imagery</i> do ArcGIS® 10.1 e METROPLAN (2018)

Fonte: Autores (2022).

As análises para o perigo foram realizadas utilizando, como limite, os setores censitários do IBGE, a área suscetível à inundação e a ocorrência de edificações. O desafio metodológico foi o de relacionar os setores censitários com a área suscetível e com as edificações, em função das diferenças de geometria entre as áreas vetoriais. Neste sentido, essa associação foi feita por edificações inseridas em ambas as áreas. Essa segmentação foi necessária em razão da extensão e heterogeneidade das dinâmicas fluviais na área de estudo. Após isso, os dados foram agregados a um plano de informações desenvolvido às edificações.

O perigo de inundação foi determinado com base na análise multicritério dos fatores condicionantes de distância do curso d'água, frequência de processos de inundação e características dos cursos d'água e adotou-se, como método, o Processo Analítico Hierárquico (AHP) proposto por Saaty (1991), conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Matriz de comparação pareada e ponderações dos pesos dos indicadores do perigo de inundação

Indicador	Distância do curso d'água	Frequência de inundação	Dimensão do curso d'água	Peso
Distância do curso d'água	1	3	5	63.699
Frequência de inundação	1/3	1	3	25.828
Dimensão do curso d'água	1/5	1/3	1	10.473

CR = 0.037

Fonte: Autores (2022).

A razão de consistência entre os indicadores de perigo foi de 0.037, sendo o valor inferior a 10%, o que indica que os julgamentos foram considerados coerentes (SAATY, 2005). Para estabelecer-se classes de perigo foram estipulados quatro graus: perigo baixo (P1), perigo médio (P2), perigo alto (P3) e perigo muito alto (P4). Essas classes foram definidas com base no método de quebras naturais na distribuição dos dados da variável (Tabela 3), conforme Ferreira (2014). O mapa de perigo foi validado a partir dos trabalhos de campo na área de estudo e com base no inventário de registros de eventos de inundação.

Tabela 3 – Intervalos utilizados para a classificação do mapa de perigo

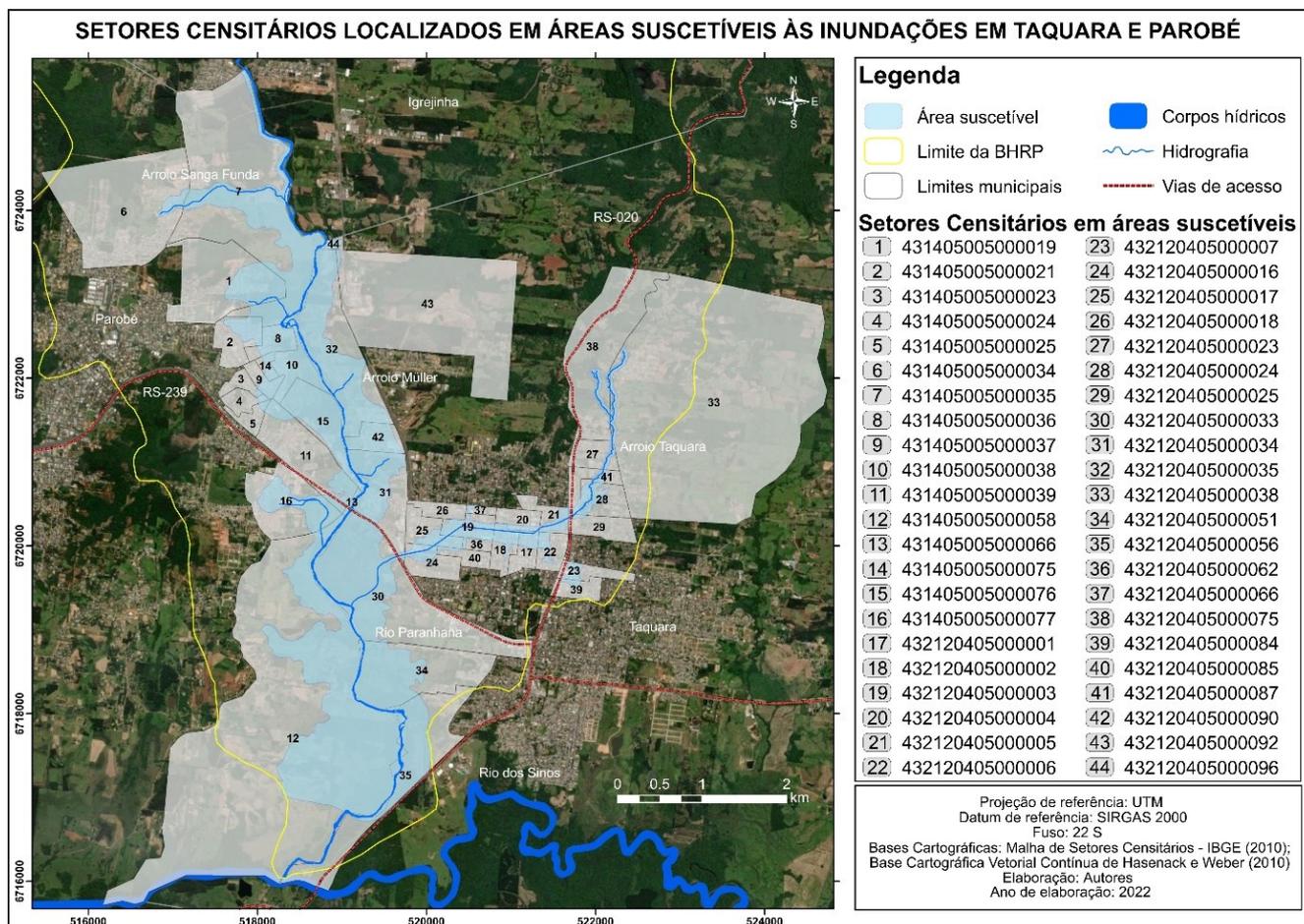
Classes de perigo	Valores dos intervalos de perigo
Baixo	0.104999997 - 0.415878278
Médio	0.415878278 - 0.598350313
Alto	0.598350313 - 0.760547676
Muito alto	0.760547676 - 0.966673493

Fonte: Autores (2022).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As inundações fazem parte da dinâmica fluvial dos cursos d'água e caracterizam-se pelo aumento do nível d'água para a planície de inundação. Essa dinâmica natural de reequilíbrio do sistema fluvial é recorrente nos municípios de Taquara e Parobé, onde são identificadas as áreas suscetíveis às inundações. Na área de estudo, esses processos são deflagrados pelo Rio Paranhana e seus afluentes e estendem-se até a planície de inundação do rio dos Sinos, conforme pode ser observado no mapa da Figura 2.

Figura 2 – Áreas suscetíveis às inundações em Taquara e Parobé no baixo curso da bacia hidrográfica do Rio Paranhana



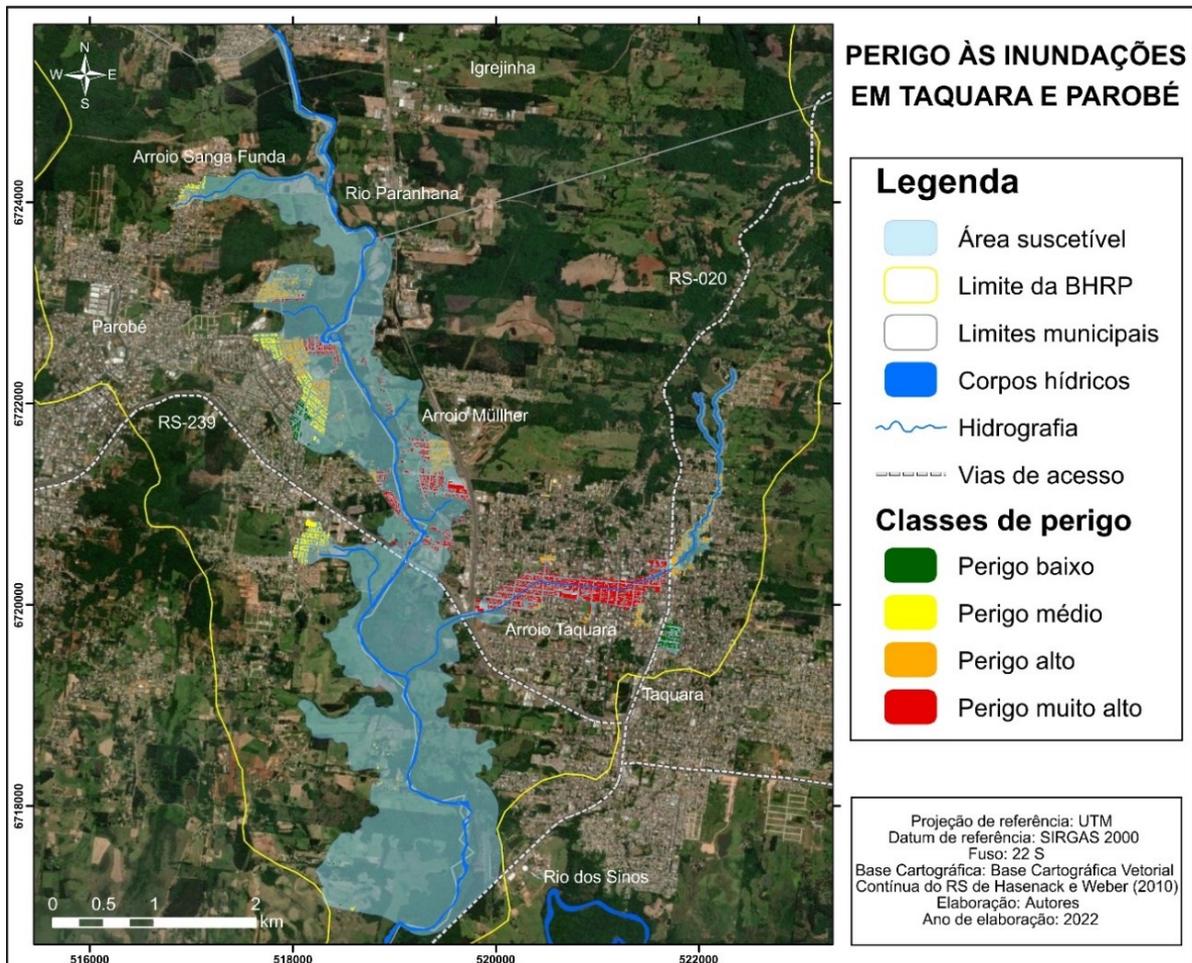
Fonte: Autores (2022).

No município de Taquara, as áreas suscetíveis às inundações se especializam no oeste da área urbana, na planície de inundação do Rio Paranhana e afluentes. Na área central do município, as inundações são decorrentes do Arroio Taquara. Em Parobé, localizam-se no leste da área urbana na planície de inundação do Rio Paranhana e afluentes.

As áreas suscetíveis às inundações cobrem aproximadamente 9,27 km² nos municípios e estendem-se em 28 setores censitários em Taquara e dezesseis, em Parobé, de forma parcial ou integral. Foram registrados, ao total, 77 eventos de inundação e, em dezenove eventos, foram decretados Situação de Emergência, Estado de Emergência ou Estado de Calamidade Pública. O município de Taquara foi o mais afetado, registrou, ao total, 55 eventos de inundação, sendo que, desse valor absoluto, em onze eventos, foram decretados Situação de Emergência e em um Estado de Calamidade Pública. No município de Parobé, foram registrados, ao total, 22 eventos de inundação, sendo que, desse valor absoluto, em cinco eventos, foram decretados Situação de Emergência; em um, Estado de Emergência e em um, Estado de Calamidade Pública.

As áreas de perigo representam a relação entre as inundações com as ocupações e o potencial de danos aos sujeitos e seus ativos expostos. Essas características são presentes em Taquara e Parobé e discriminam-se no perigo baixo (7%), médio (16%), alto (25%) e muito alto (52%), de acordo com o mapa da Figura 3.

Figura 3 – Áreas de perigo às inundações em Taquara e Parobé no baixo curso da bacia hidrográfica do Rio Paranhana



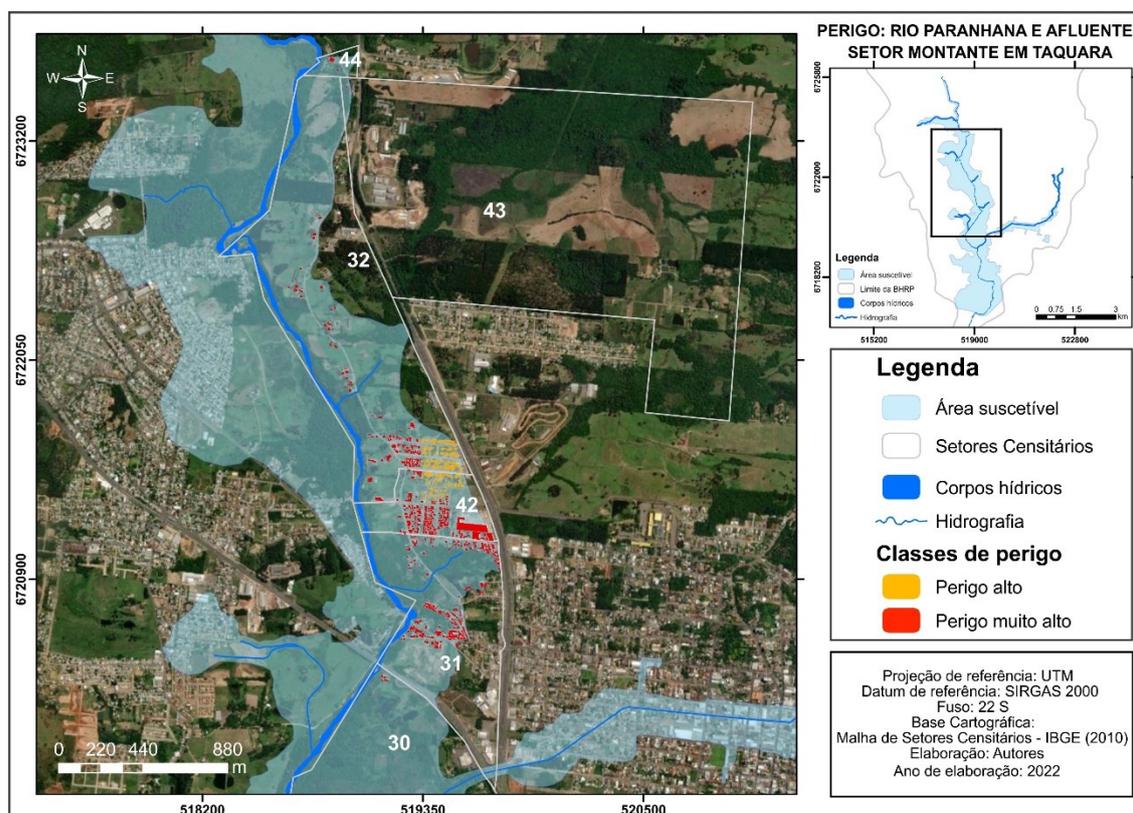
Fonte: Autores (2022).

Para a análise, foram definidos setores de perigo de acordo com as inundações decorrentes do rio Paranhana e afluentes no setor montante e jusante em Taquara e Parobé. Além dos eventos deflagrados pelo Rio Paranhana, definiram-se, em Parobé, as áreas de perigo dos afluentes do Rio Paranhana nos setores montante com o Arroio Sanga Funda e jusante no município com um arroio local. Por fim, estabeleceram-se áreas de perigo em Taquara no alto e médio curso do Arroio Taquara e em segmento de afluente do Arroio Taquara associado a problemas da drenagem pluvial. Essas áreas foram definidas de acordo com as características dos agentes de perigo e das distintas dinâmicas fluviais que ocorrem na área de estudo.

As inundações decorrentes do Rio Paranhana manifestam situações de perigo com eventos de maior severidade. Como consequências, resultam em pessoas desalojadas, interrupção na circulação viária durante dias ou semanas, afetam atividades industriais, de comércio e prestação de serviços.

Em Taquara, as áreas de perigo localizam-se no setor oeste da área urbana, na planície de inundação do Rio Paranhana e afluentes e estendem-se por até 750 m de distância a partir da margem do curso d'água nos setores censitários 30, 31, 32, 42, 43 e 44 (Figura 4).

Figura 4 – Planície de inundação e áreas de perigo do Rio Paranhana e afluentes, setor montante em Taquara



Fonte: Autores (2022).

Nesses locais, discriminam-se eventos de inundação de maior magnitude deflagrados pelo Rio Paranhana e de menor magnitude ocasionadas por afluentes como o Arroio Müller, por exemplo. O perigo apresenta graus alto e muito alto devido à dinâmica composta por eventos de diferentes magnitudes, recorrência elevada com trinta eventos na série histórica e severidade das inundações.

Nas fotografias A e B da Figura 5, é possível observar áreas inundadas durante o evento que ocorreu em julho de 2020 na planície de inundação do Rio Paranhana em Taquara. Nas fotografias C e D da Figura 5, destacam-se, respectivamente, a área ribeirinha no limite entre Taquara e Parobé com o curso d'água dentro do

leito normal e a indicação aproximada pela moradora do nível d'água que a edificação já foi afetada por eventos de inundação.

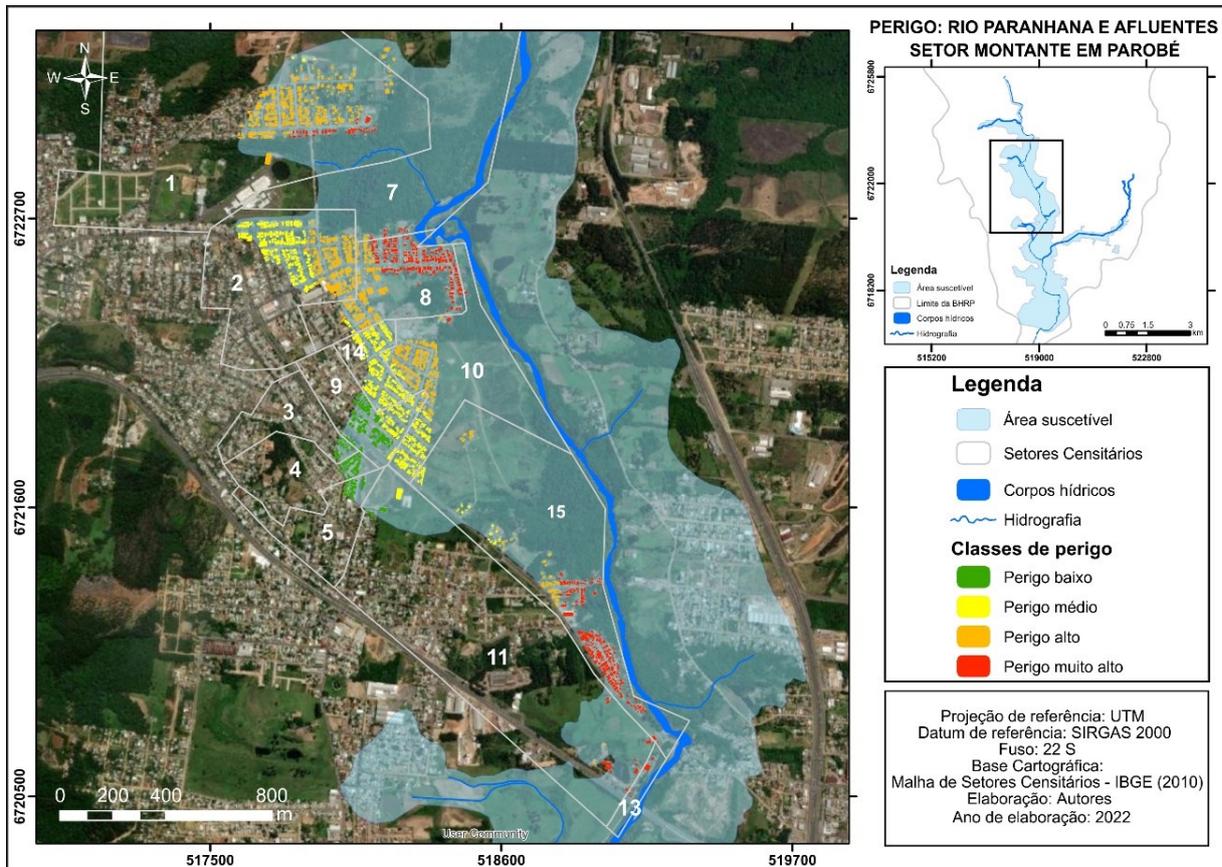
Figura 5 – Áreas de perigo alto e muito alto de inundação afetadas por evento em julho de 2020 na planície de inundação do Rio Paranhana em Taquara (A, B), áreas ribeirinhas de perigo muito alto em Taquara, identificadas durante trabalho de campo em julho de 2019 (C), marca de inundação em edificação em Taquara (D)



Fonte: Fotografia A adaptada de Repercussão Paranhana (2020); fotografia B adaptada do Grupo Editorial Sinos (2020); fotografias C e D obtidas em trabalho de campo, julho de 2019. Autores (2022).

Em Parobé, as áreas de perigo localizam-se no setor leste da área urbana, na planície de inundação do Rio Paranhana e estendem-se por até 1.000 m de distância a partir da margem do curso d'água nos setores censitários 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14 e 15 (Figura 6).

Figura 6 – Planície de inundação e áreas de perigo do Rio Paranhana e afluentes, setor montante em Parobé



Fonte: Autores (2022).

Os eventos de inundação possuem, como agente, o Rio Paranhana e apresentam grande magnitude, o perigo varia entre os graus baixo, médio, alto e muito alto, de acordo com a distância das ocupações em relação ao curso d'água. A recorrência de eventos de inundação nessas áreas foi de até dezoito eventos na série histórica, em especial, nas áreas mais próximas ao Rio Paranhana.

Nas fotografias A e B da Figura 7, destacam-se as áreas inundadas durante o evento que ocorreu em julho de 2020 na planície de inundação do Rio Paranhana em Parobé. Na fotografia C da Figura 7, observa-se a área ribeirinha com o curso d'água dentro do leito normal e ocupações em situação de perigo muito alto, já na fotografia D da Figura 7, tem-se a indicação do nível d'água que a edificação já foi afetada por eventos de inundação.

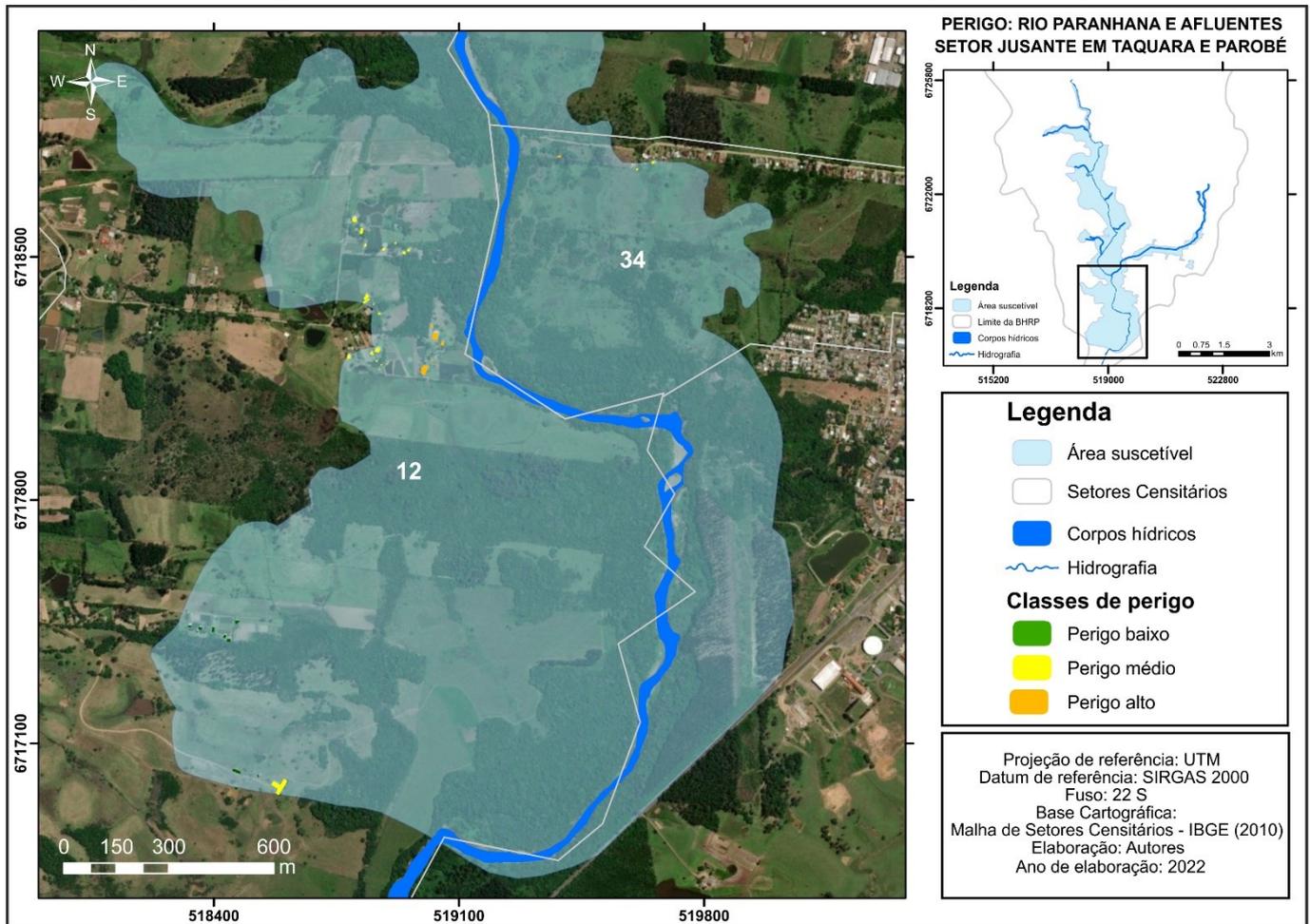
Figura 7 – Áreas de perigo alto e muito alto de inundação afetadas por evento em julho de 2020 na planície de inundação do Rio Paranhana em Parobé (A, B), áreas ribeirinhas de perigo muito alto em Parobé identificadas durante trabalho de campo em julho de 2019 (C), marca de inundação em edificação em Parobé (D)



Fonte: Fotografias A e B adaptadas de Vargar (2020); fotografias C e D obtidas em trabalho de campo, julho de 2019. Autores (2022).

No setor jusante da planície de inundação do Rio Paranhana em Taquara e Parobé, localizam-se situações de perigo baixo, médio e alto (Figura 8). Essas áreas apresentam poucas e dispersas ocupações, sem disponibilidade de dados de registros de eventos. Os graus de perigo variam de acordo com a distância das edificações em relação ao Rio Paranhana que se estendem até 1.300 m a partir da margem do curso d'água nos setores censitários 12 e 34.

Figura 8 – Planície de inundação e áreas de perigo do Rio Paranhana, setor jusante em Taquara e Parobé

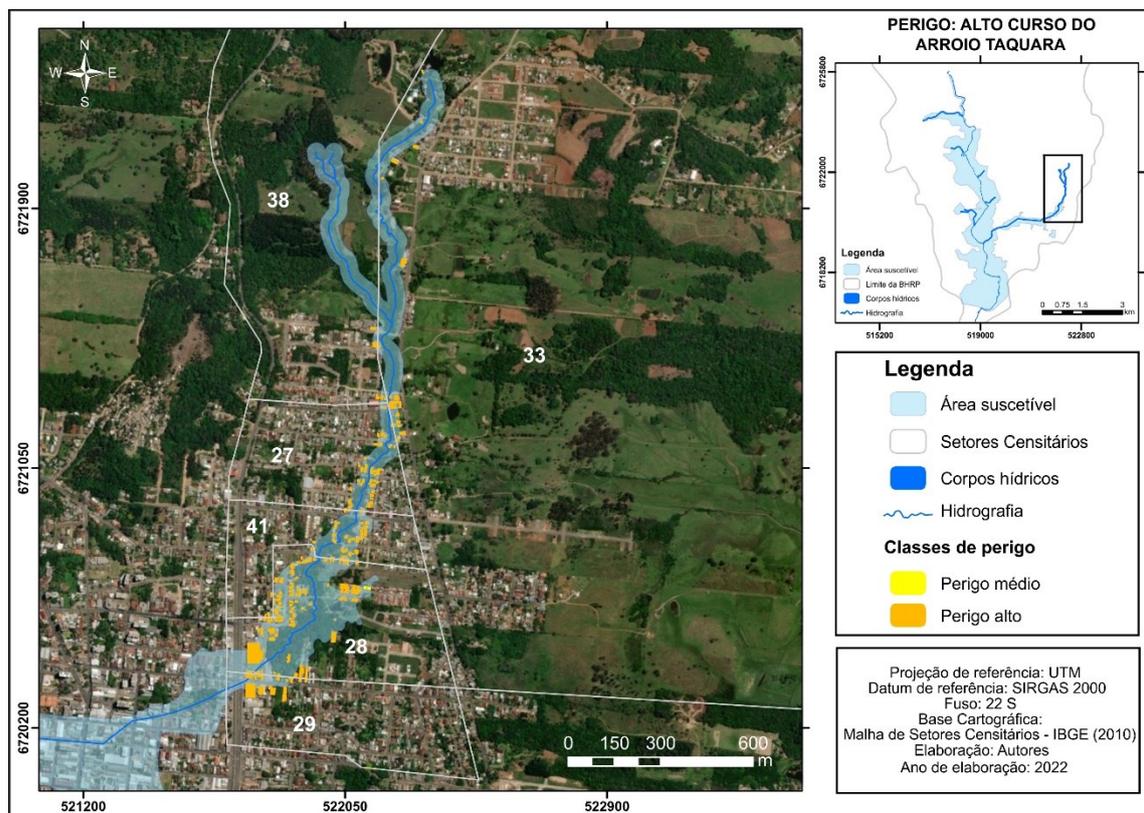


Fonte: Autores (2022).

As inundações do Arroio Taquara ocasionam situações de perigo em Taquara e são segmentadas nos setores do alto e médio curso fluvial. Os eventos possuem menor severidade do que os provocados pelo Rio Paranhana, mas afetam a circulação viária temporariamente (horas/dias), as atividades industriais, de comércio e prestação de serviços.

No alto curso do Arroio Taquara, as inundações são menos recorrentes com registro de até treze eventos e possuem graus de perigo médio e alto. Nesse setor, as áreas estendem-se por até 200 m a partir da margem do curso d'água nos setores censitários 27, 28, 29, 33, 38 e 41 (Figura 9).

Figura 9 – Alto curso do Arroio Taquara



Fonte: Autores (2022).

A ocupação é densa, intervenções antrópicas ocorreram até as margens do curso fluvial e a mata ciliar foi extensivamente degradada. Em alguns segmentos, ocorreram intervenções estruturais com retificações e canalizações, conforme pode ser observado nas fotografias A e B da Figura 10, em que se localiza a Escola Municipal de Ensino Fundamental Rosa Elsa Mertins e segmento mais a jusante do Arroio Taquara, respectivamente.

Figura 10 – Segmento canalizado no alto curso do Arroio Taquara na Escola Municipal de Ensino Fundamental Rosa Elsa Mertins (A), segmento mais a jusante do arroio Taquara (B)

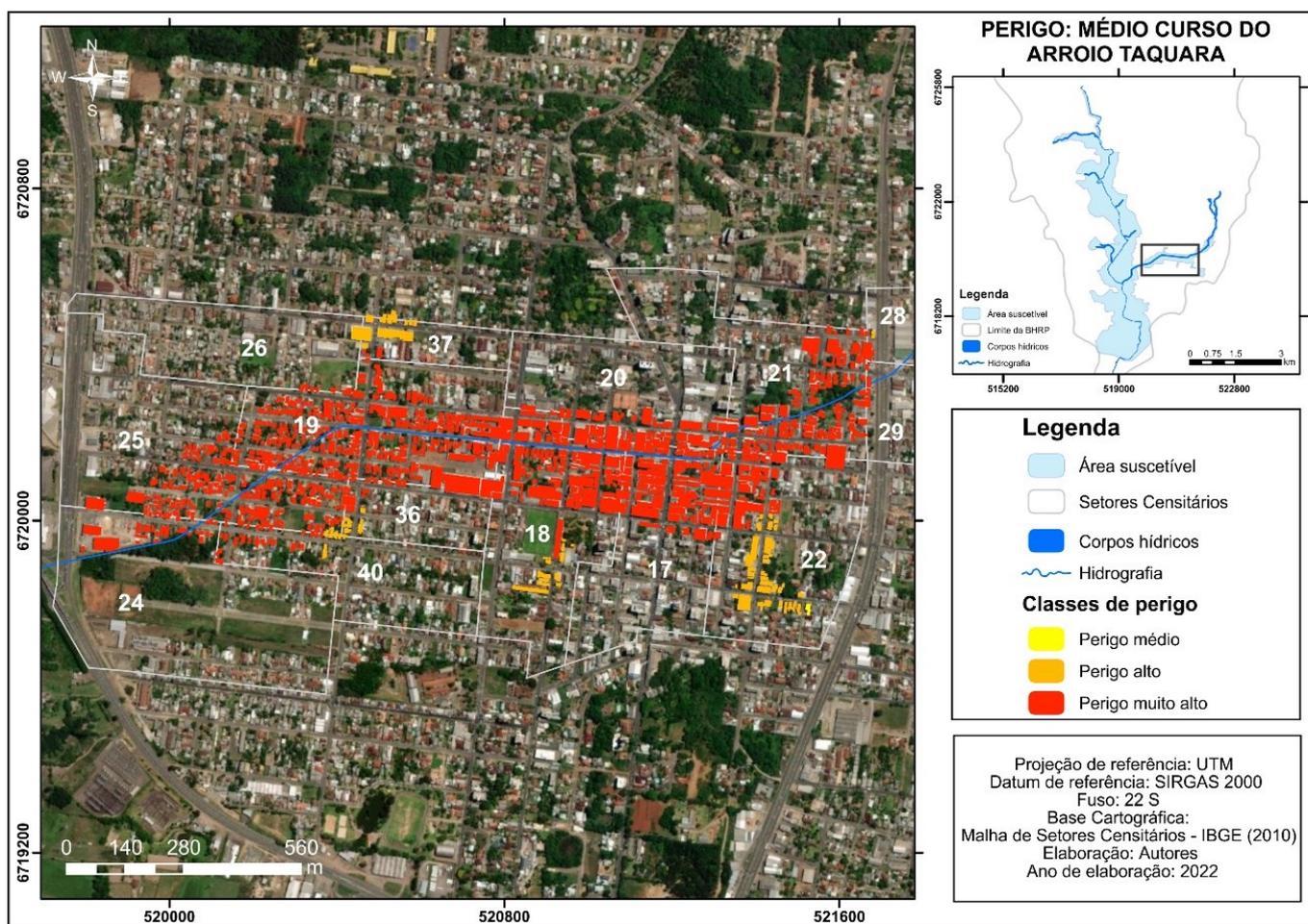


Fonte: Trabalho de campo, julho de 2019. Autores (2022).

No médio curso do Arroio Taquara, as inundações possuem elevada recorrência, com registro de até 34 eventos e os graus de perigo são médio, alto e muito alto. São áreas historicamente afetadas por inundações em Taquara, a planície fluvial estende-se aproximadamente por até 800 m e se situa nos setores censitários 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 26, 28, 29, 36, 37 e 40 (Figura 11).

Os processos de inundação estão diretamente relacionados à ocupação e intervenções antrópicas. A mata ciliar foi extensivamente removida e a planície de inundação, na sua maior parte, impermeabilizada. O canal fluvial sofreu intervenções estruturais a partir de retificações e canalizações. O sistema pluvial é ineficiente e, associado ao assoreamento do canal fluvial, ocorrem, de forma recorrente, processos de inundação e alagamento.

Figura 11 – Médio curso do Arroio Taquara, centro de Taquara



Fonte: Autores (2022).

Na Figura 12, são retratadas áreas de perigo muito alto na área central de Taquara, nas fotografias A e B localizam-se, respectivamente, a esquina das ruas Marechal Floriano com a Federação e a rua Guilherme Lahm, são áreas com extenso histórico de recorrência de inundações. Nos trechos da rua Guilherme Lahm, o arroio Taquara encontra-se canalizado, quando ocorre aumento da vazão devido ao incremento de água pluvial, processos de inundação e alagamento são deflagrados. O mesmo tipo de evento ocorre nos pontos das fotografias C e D, em que se observam segmentos retificados do curso d'água situados a montante e jusante na área central. Nas fotografias E e F, são observadas as ruas Júlio de Castilhos e Rio Branco durante eventos que ocorreram em outubro de 1990 e fevereiro de 2019 na área central de Taquara, sendo que, no evento, ocorrido em 1990 foi decretado Situação de Emergência.

Figura 12 – Áreas de perigo muito alto na área central de Taquara na esquina das ruas Marechal Floriano com a Federação (A), rua Guilherme Lahm (B), segmentos retificados do Arroio Taquara situados a montante (C) e jusante (D) na área central, rua Júlio de Castilhos e Rio Branco durante eventos que ocorreram em outubro de 1990 (E) e fevereiro de 2019 (F)

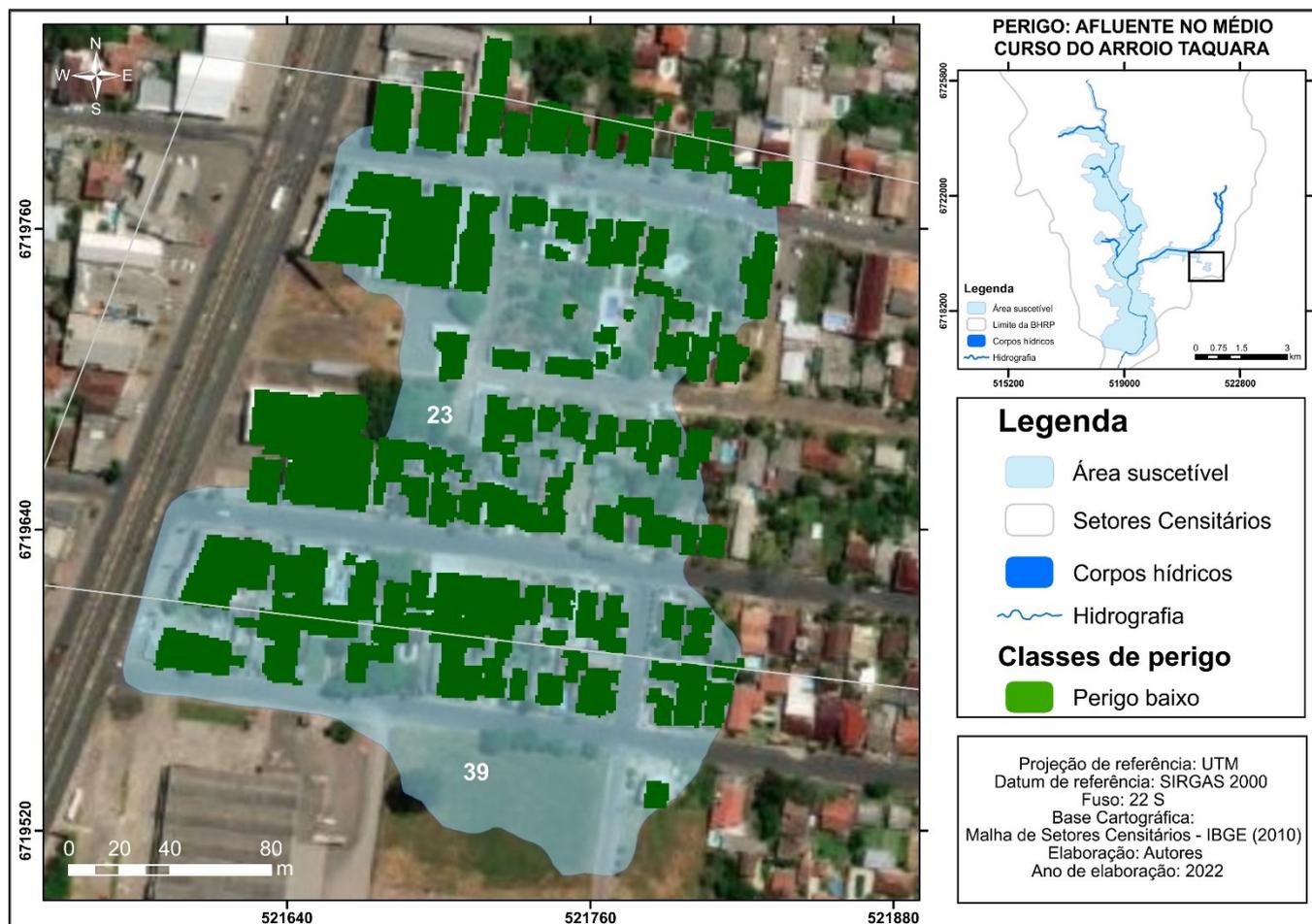


Fonte: Fotografias A, B, C e D obtidas em trabalho de campo, julho de 2019; fotografia E adaptada do Jornal Panorama (1990); fotografia F adaptada da Rádio Taquara (2019). Autores (2022).

Ainda no médio curso do Arroio Taquara, foi identificada uma área que apresenta perigo baixo, em que foram registrados treze eventos nos setores censitários 23 e 39 (Figura 13). Essa área possui um afluente do

Arroio Taquara e apresenta sistema pluvial ineficiente, o que contribui para a ocorrência de eventos de inundação e alagamento.

Figura 13 – Afluente no médio curso do Arroio Taquara, área central de Taquara

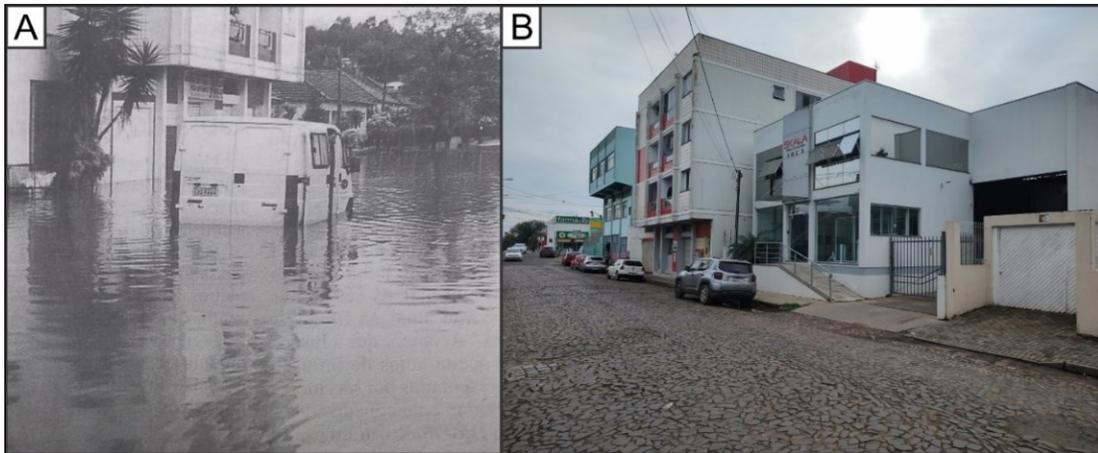


Fonte: Autores (2022).

Na Figura 14, pode ser observada a rua Pinheiro Machado, durante evento de inundação que ocorreu em fevereiro de 2003 (fotografia A) e em situação sem evento de inundação (fotografia B). Essa área é afetada por eventos decorrentes do barramento da água pluvial junto à rua perpendicular a ela, que é mais elevada, e ao sistema de drenagem pluvial ineficiente, situação similar ocorre nas demais ruas paralelas desse setor de perigo.

Em Parobé, são identificadas ainda áreas de perigo de afluentes do Rio Paranhana. Nesses locais, os eventos de inundação possuem menor severidade do que os provocados pelo Rio Paranhana, mas afetam a circulação viária temporariamente (horas/dias) e as atividades socioeconômicas.

Figura 14 – Rua Pinheiro Machado durante evento de inundação em fevereiro de 2003 (A) e sem evento de inundação (B)



Fonte: Fotografia A adaptada do Jornal Panorama (2003); fotografia B obtida em trabalho de campo, junho de 2022. Autores (2022).

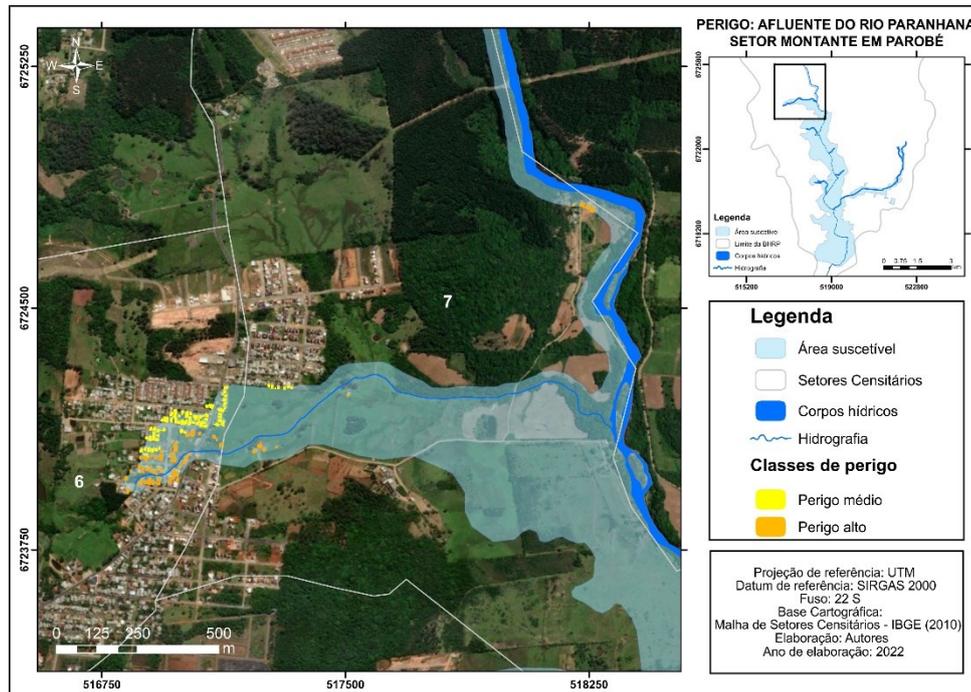
No setor montante, situa-se a planície de inundação do Arroio Sanga Funda que se estende por aproximadamente 200 m a partir da margem do curso d'água nos setores censitários 6 e 7. No local, são verificadas áreas de perigo médio e alto, cabe anotar que não foram identificados registros de eventos de inundação na série histórica (Figuras 15 e 16).

Figura 15 – Arroio Sanga Funda em área de perigo alto



Fonte: Trabalho de campo, julho de 2019. Autores (2022).

Figura 16 – Planície de inundação de afluente do Rio Paranhana no setor montante em Parobé



Fonte: Autores (2022).

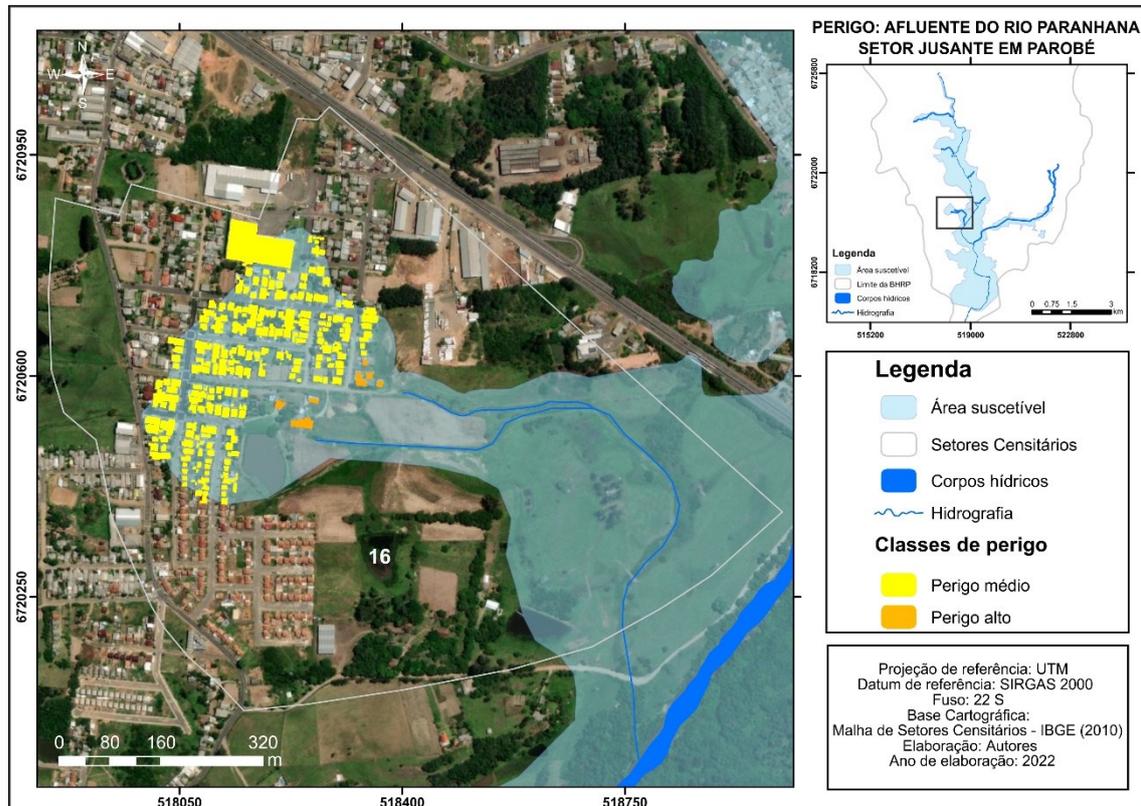
No setor jusante do Rio Paranhana, ao leste da área urbana do município, localiza-se a planície de inundação de um arroio local que se estende por aproximadamente 300 m a partir da margem e nascentes do curso d'água no setor censitário 16. Nesta área são identificadas áreas de perigo médio e alto, decorrentes dos processos de inundação do curso d'água e áreas de alagamento devido ao sistema de drenagem pluvial ineficiente, com o registro de dois eventos na série histórica (Figuras 17 e 18).

Figura 17 – Arroio local próximo a edificação em área de perigo alto



Fonte: Trabalho de campo, junho de 2022. Autores (2022).

Figura 18 – Planície de inundação de afluente do Rio Paranhana no setor jusante em Parobé



Fonte: Autores (2022).

Na análise das áreas de perigo de inundação, foram considerados indicadores quantitativos e qualitativos com base em uma abordagem semiquantitativa e multicritério com a eleição de indicadores com distintos pesos. A participação colaborativa dos técnicos das Defesas Civis Municipais e da comunidade local auxiliaram na identificação das áreas de perigo. Essas informações puderam ser integradas ao inventário de registro de eventos de inundação e distância das edificações em relação aos cursos d'água para estabelecer os graus de perigo na área de estudo, como também na validação dos resultados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo atingiu os objetivos propostos e os resultados obtidos foram satisfatórios porque foi possível identificar e mapear as áreas suscetíveis e de perigo de inundação. Os desafios metodológicos compreenderam a dificuldade de obtenção de dados primários, especialmente, quantitativos, para subsidiar a análise da suscetibilidade e do perigo, assim como para a integração de informações quantitativas e qualitativas.

Em vista disso, desenvolveram-se processos metodológicos com abordagem integrativa, participativa e com auxílio do SIG para o estudo das áreas de perigo de inundação. O desenvolvimento do inventário de registro de eventos de inundação e os trabalhos de campo com a participação colaborativa dos técnicos das Defesas Civis para a análise e validação dos resultados da pesquisa foram fundamentais em razão da precariedade de informações quantitativas na área de estudo.

Integrado a isso, foram elencados indicadores de perigo e definidos graus de severidade, sendo as classes de perigo alto e muito alto as que abrangem maiores áreas. Para essa abordagem, empregou-se o método AHP com suporte do SIG. As áreas de perigo foram segmentadas em diferentes setores estabelecidos de acordo com as características dos processos de inundação identificados. Essa abordagem metodológica pode ser replicada em novas áreas de estudo, mas com certas adaptações, uma vez que os indicadores adotados foram quantitativos e qualitativos, com o propósito de retratar da melhor maneira a complexidade observada na área de estudo.

As situações de perigo variam no tempo e espaço, quanto à magnitude, intensidade, frequência e consequências de acordo com os agentes naturais relacionados a sua gênese, que potencializam os danos e as formas de intervenção e adaptação dos sujeitos expostos. Desse modo, com o propósito de avançar na compreensão da dinâmica do risco de inundação dessas áreas, é necessário avaliar os elementos que estão expostos ao perigo a partir da vulnerabilidade e por fim, a partir da integração dessas variáveis com o estudo do risco.

A presente pesquisa contribuiu com uma proposta e aplicação metodológica para o estudo do perigo de inundação. Assim sendo, com uma abordagem semiquantitativa, foi possível identificar as áreas de perigo de inundação, o que poderá ser empregado nas ações de gerenciamento de risco em Taquara e Parobé e como uma proposta metodológica para estudos em novas áreas.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), as Defesas Civis Municipais de Taquara e Parobé e a Rádio Taquara, respectivamente pelo apoio a pesquisa, suporte nos trabalhos de campo e acesso a informações.

REFERÊNCIAS

- ABDRABO, K. I.; KANTOUSH, S. A.; SABER, M.; SUMI, T.; HABIBA, O. M.; ELLEITHY, D.; ELBOSHY, B. Integrated Methodology for Urban Flood Risk Mapping at the Microscale in Ungauged Regions: A Case Study of Hurgada, Egypt. **Remote Sens**, v. 12, 3548. p. 1-22, 2020.
- AFIFI, Z.; CHU, H.-J.; KUO, Y.-L.; HSU, Y.-C.; WONG, H.-K.; ZEESHAN ALI, M. Residential Flood Loss Assessment and Risk Mapping from High-Resolution Simulation. **Water**, v. 11, 751, p. 1-15, 2019.
- AMARAL, R.; RIBEIRO, R. R. Inundações e enchentes. In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Orgs.). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. 3. ed. São Paulo: Instituto Geológico, 2015, p. 39-52.
- BRASIL. Ministério das Cidades / Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT. CARVALHO, C. S.; MACEDO, E. S.; OGURA, A. T. (Org.). **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios**. Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, 2007.
- CASTRO, A. L. C. **Glossário de Defesa Civil**: Estudos de riscos e medicina de desastres. 2. ed. Brasília: Ministério do Planejamento e Orçamento, Secretaria Especial de Políticas Regionais, Departamento de Defesa Civil, 1998.
- CASTRO, S. D. A. Riesgos y peligros: una visión desde la Geografía. **Scripta Nova: Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales**. Universidad de Barcelona, n. 60, 2000.
- FREITAS, R. B. **Estudo e cadastro de áreas de risco de inundação na área urbana do município de Restinga Sêca - RS**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências (PPGGEO). Santa Maria, RS, p. 133, 2017.
- DEFESA CIVIL DO RIO GRANDE DO SUL. **Parobé/RS**. Porto Alegre/RS: Coordenadoria Estadual de Defesa Civil. Disponível em: <<http://www2.defesacivil.rs.gov.br/SGDC/MConvenios/ConvInterMuniNew.asp?msg=&iddecreto=&idopm=0&idmunicipio=306&idtpevento=0&dtinicial=01/01/2011&dtfinal=27/04/2020&idtpsolicitacao=&nopred=&popatingida=>>>. Acesso em 18 jul. 2018.
- DEFESA CIVIL DO RIO GRANDE DO SUL. **Taquara/RS**. Porto Alegre/RS: Coordenadoria Estadual de Defesa Civil. Disponível em: <<http://www2.defesacivil.rs.gov.br/SGDC/MConvenios/ConvInterMuniNew.asp?msg=&iddecreto=&idopm=0&idmunicipio=446&idtpevento=0&dtinicial=01/01/2011&dtfinal=27/04/2020&idtpsolicitacao=&nopred=&popatingida=>>>. Acesso em 23 jul. 2018.
- DEFESA CIVIL MUNICIPAL DE TAQUARA. **Diagnóstico Municipal de Proteção e Defesa Civil Taquara - RS**. Taquara/RS: Plano Regional de Defesa Civil, Prefeitura Municipal de Taquara, p. 39, [s.d.].
- FERREIRA, M. C. **Iniciação à análise geoespacial**: teoria, técnicas e exemplos para geoprocessamento. 1 ed. São Paulo: Editora Unesp, 2014.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO E REGIONAL (METROPLAN). Estudo de alternativas e projetos para minimização do efeito das cheias na bacia do rio dos Sinos. *In*: CARVALHO FILHO, O.; BEZERRA, L.; LOU, W. C. (Responsáveis Técnicos). **PRODUTO 18 - RELATÓRIO FINAL**. Consórcio METROPLAN Bacia Rio dos Sinos, Governo do Estado do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

FURLAN, A. R. **Risco de inundação nas bacias hidrográficas dos rios Henrique e Suzana na área urbana de Erechim, Rio Grande do Sul, Brasil**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências (PPGGEO). Santa Maria, RS, p. 178, 2019.

GOERL, R. F.; KOBIYAMA, M. Redução dos desastres naturais: desafio dos geógrafos. **Ambiência**, Guarapuava, PR, v. 9, n. 1, p. 145-172, 2013.

GROTZINGER, J.; JORDAN, T. **Para entender a Terra**. 6 Ed., Porto Alegre: Bookman, 2013.

GRUPO EDITORIAL SINOS. **Bombeiros de Taquara já resgataram 50 pessoas de bairro alagado**. Taquara, RS, 2020. Disponível em: <<https://www.jornalvs.com.br/noticias/regiao/2020/07/08/bombeiros-de-taquara-ja-resgataram-50-pessoas-de-bairro-alagado.html>>. Acesso em: 10 jan. 2021.

HASENACK, H; WEBER, E. (Orgs.) **Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul**: escala 1:50.000. Porto Alegre: UFRGS, Centro de Ecologia. 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Base Cartográfica dos Setores Censitários**. Escala 1: 50.000, 2010. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/malhas_territoriais/malhas_de_setores_censitarios__divisoes_intramunicipais/censo_2010/>. Acesso em 09 ago. 2018.

JAMRUSSRI, S.; TODA, Y. Available Flood Evacuation Time for High-Risk Areas in the Middle Reach of Chao Phraya River Basin. **Water**, v. 10, 1871, p. 1-23, 2018.

JORNAL PANORAMA. **Volume: 2003**. Taquara, RS, 2003.

JORNAL PANORAMA. **Volume: 1990**. Taquara, RS, 1990.

KOMI, K.; AMISIGO, B. A.; DIEKKRÜGER, B. Integrated Flood Risk Assessment of Rural Communities in the Oti River Basin, West Africa. **Hydrology**, v. 3, 42, p. 1-14, 2016.

KORMANN, T. C.; SCHIRMER, G. J.; FREITAS, R. B. Contribuição ao estudo das inundações na área urbana de Alegrete, RS. *In*: ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R. (Orgs.). **Desastres naturais no Rio Grande do Sul**. Santa Maria: Editora da UFSM, 2013, p. 225-251.

LUU, C.; MEDING, J. A Flood Risk Assessment of Quang Nam, Vietnam Using Spatial Multicriteria Decision Analysis. **Water**, v. 10, 461, p. 1-16, 2018.

MENEZES, D. J. **Zoneamento das áreas de risco de inundação na área urbana de Santa Cruz do Sul - RS**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências (PPGGEO). Santa Maria, RS, p. 137, 2014.

RÁDIO TAQUARA. **Mais um temporal de inundações em Taquara**. Taquara, RS, 2019. Disponível em: <<https://www.radiotaquara.com.br/novo/mais-um-temporal-de-inundacoes-em-taquara/>>. Acesso em: 10 jan. 2021.

RECKZIEGEL, B. W. **Levantamento dos Desastres desencadeados por Eventos Naturais Adversos no Estado do Rio Grande do Sul no Período de 1980 a 2005**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências (PPGGEO). Santa Maria, RS, p. 261, 2007.

SAATY, T. L. **Theory and Applications of the Analytic Network Process: Decision Making with Benefits, Opportunities, Costs, and Risks**. 3. ed. Pittsburgh: RWS Publications, 2005.

SAATY, T. L. **Método de análise hierárquica**. São Paulo: McGraw-Hill Publisher, 1991.

SAR, N.; CHATTERJEE, S.; ADHIKARI, M. Integrated remote sensing and GIS based spatial modelling through analytical hierarchy process (AHP) for water logging hazard, vulnerability and risk assessment in Keleghai river basin, India. **Modeling Earth Systems and Environment**. 1, n. 31, p. 1-21, 2015.

SAUERESSIG, S. R.; ROBAINA, L. E. S. Zoneamento das áreas de risco a inundação da área urbana de Itaqui - RS. **Boletim Gaúcho de Geografia**, v. 42, n. 2, p. 672-687, 2015.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM. **Setorização de Áreas em Alto e Muito Alto Risco a Movimentos de Massa, Enchentes e Inundações: Igrejinha - Rio Grande do Sul**. Ministério de Minas e Energia, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral Serviço Geológico do Brasil - CPRM, Departamento de Gestão Territorial - DEGET, p. 1-22, 2019.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa, enchente e inundação: Três Coroas - Rio Grande do Sul**. Ministério de Minas e Energia, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral Serviço Geológico do Brasil - CPRM, Departamento de Gestão Territorial - DEGET, p. 1-16, 2016.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM. **Ação Emergencial para Delimitação de Áreas em Alto e Muito Alto Risco a Enchentes e Movimentos de Massa: Parobé - RS**. Ministério de Minas e Energia, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral Serviço Geológico do Brasil - CPRM, Departamento de Gestão Territorial - DEGET, p. 1-7, 2013.

TRENTIN, R.; DIAS, D. F. Estudos de áreas de risco: o caso de Cachoeira do Sul/RS. **Boletim Gaúcho de Geografia**, v. 41, n.1, p. 294-311, 2014.

TUCCI, C. E. M. (Responsável Técnico). **Plano estratégico de manejo de águas pluviais e prevenção de inundações urbanas de Taquara - RS: Relatório final – Relatório técnico final**. RHAMA Consultoria Ambiental Ltda.: Porto Alegre/RS, Relatório técnico nº 7 - relatório final, p. 1-276, 2019.

UNISDR - INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION. **Terminology on Disaster Risk Reduction**. 2009. Disponível em: <www.unisdr.org>. Acesso em 20 fev. 2019.

VARGAR, J. Leitor. *In*: REPERCUSSÃO PARANHANA. **VEJA FOTOS**: Chuva causa inundações e transtornos no Vale do Paranhana. Grupo Repercussão. Sapiranga, RS, 2020. Disponível em: <<https://repercussaoparanhانا.com/geral/veja-fotos-chuva-causa-inundacoes-e-transtornos-no-vale-do-paranhana-1>>. Acesso em: 10 jan. 2021.

VEYRET, Y. Introdução. *In*: VEYRET, Y. (Org.). **Os riscos**: o homem como agressor e vítima do meio ambiente. 2. ed. Tradução: Dílson Ferreira da Cruz. São Paulo: Contexto, 2015, p.11-21.

VEYRET, Y.; RICHEMOND, N. M. O risco, os riscos. *In*: VEYRET, Y. (Org.). **Os riscos**: o homem como agressor e vítima do meio ambiente. 2. ed. Tradução: Dílson Ferreira da Cruz. São Paulo: Contexto, 2015, p. 23-24.

ZANELLA, M. E.; OLÍMPIO, J. L. S. Impactos pluviais, risco e vulnerabilidades em Fortaleza - CE. *In*: MENDONÇA, F. **Riscos climáticos**: vulnerabilidades e resiliência associados. Jundiá: Paco Editorial, 2014, p. 115-136.

ZUQUETTE, L. V. **Riscos, desastres e eventos naturais perigosos: aspectos conceituais na análise e estimativa de riscos**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.