



Estudo automatizado do relevo: uma proposta para a definição das áreas suscetíveis à inundação em Candelária/RS

Wilson Oliveira da Silva¹ - <https://orcid.org/0000-0003-3018-0156>

Luís Eduardo de Souza Robaina² - <https://orcid.org/0000-0002-2390-6417>

Romario Tretin³ - <https://orcid.org/0000-0002-0615-2801>

Anderson Augusto Volpato Scoti⁴ - <https://orcid.org/0000-0001-8667-0432>

¹ Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS, Brasil*

² Universidade Federal de Santa Maria Santa, Maria/RS, Brasil**

³ Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS, Brasil***

⁴ Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS, Brasil****

Artigo recebido em 27/03/2024 e aceito em 15/12/2024

RESUMO

As ocorrências de inundações estão diretamente ligadas ao relevo do local onde ocorre o processo, nesta perspectiva a análise das áreas com maior suscetibilidade à inundação são de suma importância, pois auxilia o poder público a tomar a melhor decisão. Neste sentido este trabalho tem como objetivo realizar o zoneamento de suscetibilidade a processos hidrológicos de inundação no município de Candelária, RS. Para a realização deste trabalho foi feita uma análise ponderada que determina pesos e notas para diferentes parâmetros. Os parâmetros definidos para a análise são Distância Euclidiana da rede de drenagem, Declividade, Hipsometria e Elementos do relevo. Para gerar o mapa de suscetibilidade utilizou-se a ferramenta *raster calculator*, onde foram multiplicados os parâmetros pelos pesos e notas de suscetibilidade determinando as classes: não suscetível, baixa suscetibilidade, média suscetibilidade e alta suscetibilidade. A classe denominada Alta suscetibilidade representa cerca de 23,33% da área do município. No perímetro urbano de Candelária foram identificadas as áreas próximas ao rio Pardo, as quais apresentam alta suscetibilidade além dos principais arroios que cruzam a área urbana, denominadas o molha grande e molha pequeno. Foi observado que a metodologia é adequada para a delimitação preliminar de áreas suscetíveis à inundação no município de Candelária, tendo um grande potencial para ser utilizado no planejamento e ordenamento do município.

Palavras-chave: suscetibilidade; inundação; Candelária; Rio Pardo.

* Mestrando em Geografia pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), E-mail: wilson.silva98@hotmail.com

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

*** Doutor em Geografia pela Universidade Federal do Paraná (UFPR), Professor Titular do Departamento de Geociências da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). E-mail: romario.trentin@gmail.com

**** Doutor em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Professor Titular do Departamento de Geociências da Universidade Federal de Santa Maria, E-mail: anderson.sccoti@ufsm.br

Automated relief study: a proposal for defining areas susceptible to flooding in Candelária/RS

ABSTRACT

Flood occurrences are directly linked to the relief of the location where the process occurs. From this perspective, the analysis of areas with greater susceptibility to flooding is of utmost importance as it helps public authorities to make the best decision. In this sense, this work aims to carry out the zoning of susceptibility to hydrological flood processes in the municipality of Candelária, RS. To carry out this work, a weighted analysis was carried out to determine weights and scores for different parameters. The parameters defined for the analysis are Euclidean Distance from the Drainage network, Slope, Hypsometry, and Relief elements. To generate the susceptibility map, the raster calculator tool was used, where the parameters were multiplied by the weights and susceptibility scores, determining the classes: non-susceptible, low susceptibility, medium susceptibility, and high susceptibility. The class called High susceptibility represents around 23.33% of the municipality's area. In the urban perimeter of Candelária, areas close to the Pardo River were identified, which present high susceptibility in addition to the main streams that cross the urban area called Molha Grande and Molha Pequeno. It was observed that the methodology is suitable for the preliminary delimitation of areas susceptible to flooding in the municipality of Candelária, and has great potential to be used in the planning and ordering of the municipality.

Keywords: susceptibility; inundation; Candelária; Pardo River.

Estudio automatizado del relieve: una propuesta para definir áreas susceptibles a inundaciones en Candelária/RS

RESUMEN

La ocurrencia de inundaciones está directamente ligada al relieve del lugar donde se produce el proceso, desde esta perspectiva, el análisis de las zonas con mayor susceptibilidad a inundaciones es de suma importancia ya que ayuda a las autoridades públicas a tomar la mejor decisión. En este sentido, este trabajo tiene como objetivo realizar la zonificación de susceptibilidad a procesos de inundaciones hidrológicas en el municipio de Candelária, RS. Para realizar este trabajo se realizó un análisis ponderado para determinar pesos y puntuaciones para diferentes parámetros. Los parámetros definidos para el análisis son Distancia Euclidiana desde la red de Drenaje, Pendiente, Hipsometría y elementos de Relieve. Para generar el mapa de susceptibilidad se utilizó la herramienta calculadora ráster, donde se multiplicaron los parámetros por los pesos y puntajes de susceptibilidad, determinando las clases: no susceptible, baja susceptibilidad, media susceptibilidad y alta susceptibilidad. La clase denominada Alta susceptibilidad representa alrededor del 23,33% de la superficie del municipio. En el perímetro urbano de Candelária se identificaron áreas cercanas al río Pardo, que presentan alta susceptibilidad además de los principales arroyos que atraviesan el área urbana denominados Molha Grande y Molha Pequeno. Se observó que la metodología es adecuada para la delimitación preliminar de áreas susceptibles a inundaciones en el municipio de Candelária, teniendo gran potencial para ser utilizada en la planificación y ordenamiento del municipio.

Palabras clave: susceptibilidad; inundación; Candelária; Río Pardo.

INTRODUÇÃO

O relevo influencia diretamente no papel do escoamento superficial e no fluxo subterrâneo. Para Mendiondo e Tucci (1997) a dinâmica das vertentes apresenta uma diversidade de processos ligada a uma natureza multivariada dos fenômenos físicos, químicos, biológicos e antrópicos. Thomaz (2005) apresenta uma discussão da participação da vertente na dinâmica do balanço de água, devido a influência no tempo de concentração e dissipação da energia cinética das gotas de chuva. Além disso, “velocidade do escoamento superficial é determinada pela declividade do terreno, enquanto a temperatura, precipitação e evaporação, são funções de altitude de uma bacia hidrográfica” (Villela, Mattos, 1975, p.17).

Em períodos de grandes precipitações acontece o processo de saturação do solo causando o aumento do escoamento superficial, fazendo com que um grande volume de água escoe para sua jusante. Com o acúmulo de água no canal principal, ocorre a ampliação da vazão e o transbordamento do excedente para as planícies de inundação.

Os processos hidrológicos podem ser classificados, com base na velocidade e no volume de água, categorizando em inundações e enxurradas. Esses fenômenos estão ligados a característica da topografia da região, do escoamento superficial e do tempo de (re)ocorrência dos eventos (Brasil, 2012; Miguez; Gregório; Veról, 2018). A ocorrência destes fenômenos está dentro do ciclo hidrológico, sendo considerados eventos naturais. Quando estas áreas estão ocupadas por habitações, se tornam um problema social, pois são gerados danos e perdas para a população que é residente, passando a ser definida como áreas de risco à inundação.

Dessa forma, as análises das áreas suscetíveis à inundação são de suma importância, devido a sua capacidade de determinar as regiões que estão mais sujeitas ao processo, auxiliando o poder público na tomada de decisão e apoio para população local. A suscetibilidade pode apontar a “potencialidade de ocorrência de processos naturais e induzidos em áreas de interesse ao uso do solo, expressando-se segundo classes de probabilidade de ocorrência” (Ministério das Cidades e IPT, 2004, p.10), assim determinando as áreas com maior tendência a ser inundadas em períodos de maior precipitação e vazão (Fujimoto; Dias; Bombardelli, 2010).

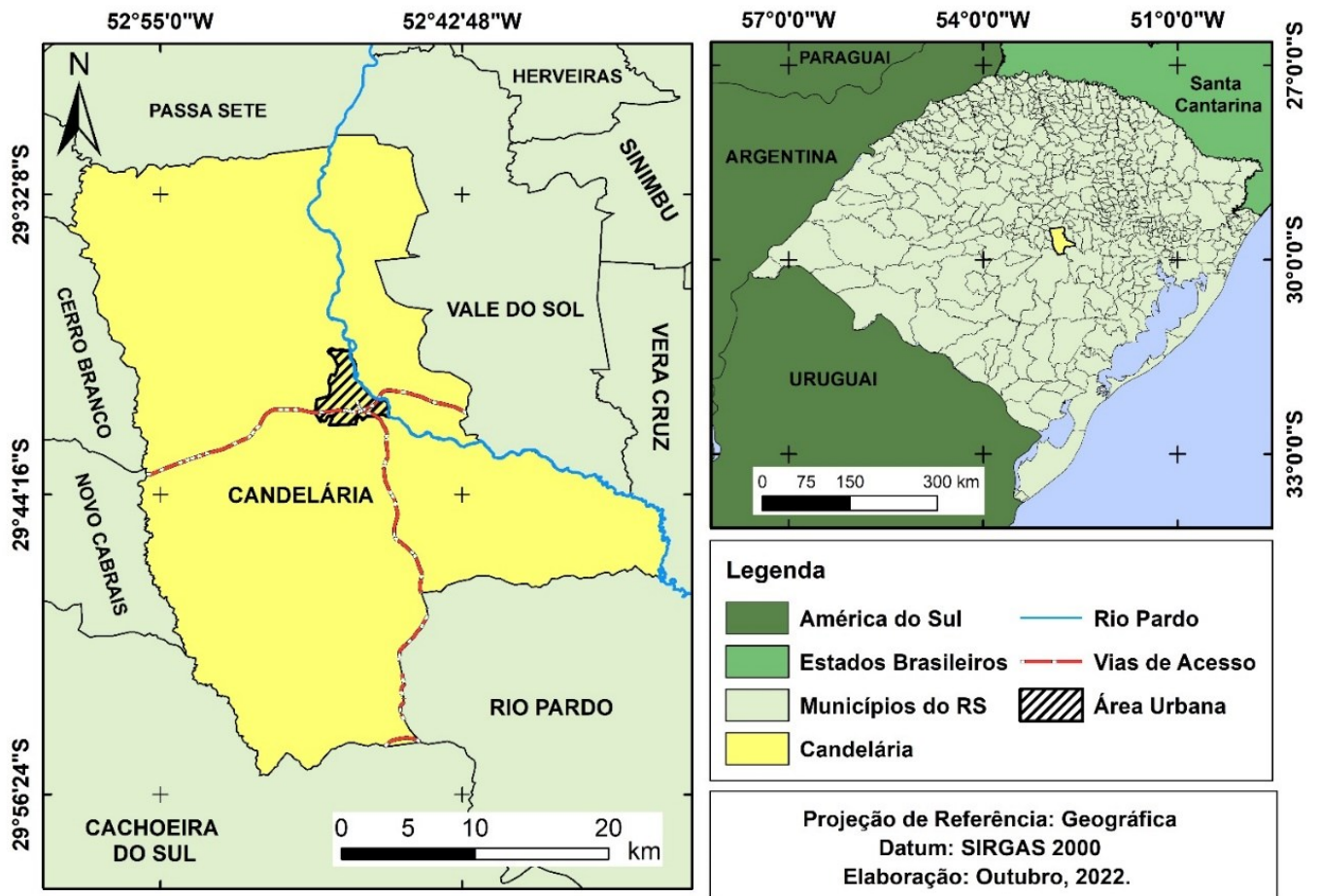
Diversas pesquisas são realizadas no Brasil relacionando áreas suscetíveis à inundação com o relevo. O estudo de avaliação de suscetibilidade feita na bacia do Córrego Taboão em São Paulo, por Nakamura e Mandredini (2007), utilizou não apenas os aspectos físicos como solo, hipsometria e declividade, mas também aspectos antropológicos que impermeabilizaram o solo. No município de São Gabriel, no Rio Grande do Sul, foi gerado o zoneamento das áreas suscetíveis a partir de parâmetros do

relevo trabalhados em um modelo digital de elevação (Trentin; Robaina; Silveira, 2013). A pesquisa desenvolvida por Lima (2010) na bacia do Arroio Salso, em Porto Alegre/RS, identificou as áreas mais suscetíveis aos processos de inundação com análise da declividade e altitude, além da impermeabilização do solo. Köene (2013) fez um estudo sobre a relação entre as inundações e as características geomorfológicas da cidade de rio Negro/PR. Costa e Miyazaki (2017) indicaram que as inundações tendem a ocorrer associadas a áreas de fundo de vale, tendo, portanto, uma forte relação com o relevo. Em Jaguari foi utilizado como limite de suscetibilidade a cota mais alta de inundação que ocorreu no município, durante um evento extremo em 1984, Prina (2015) gerou modelos digitais de elevação para determinar a área suscetível utilizando diferentes fontes de informação como fotografias aéreas e pontos de estação GNSS coletadas em campo.

Na bacia hidrográfica do rio Urussanga no estado de Santa Catarina (Cury et al., 2021), foi realizado um trabalho que identificou a suscetibilidade às inundações por meio do método de Análise Hierárquica de Processos (AHP) que consiste numa análise multicritério que determina pesos de importância para diversas variáveis com objetivo de identificar as áreas mais suscetíveis. Neste trabalho foi determinado como pesos de importância as variáveis de hipsometria, declividade, uso do solo e as ordens de drenagem. Também foi utilizado o método AHP para avaliar a suscetibilidade a inundação no perímetro urbano do município de Paracatu, MG utilizando como indicadores a declividade, altitude, uso do solo e litologia (Rezende, Marques, Oliveira, 2017), foi considerado a declividade como a variável de maior peso em razão a sua capacidade na identificação das áreas planas, que sofrem o processo de acúmulo de água em períodos de alta precipitação. Outros trabalhos utilizaram como parâmetro o relevo para classificar a suscetibilidade, como na sub-bacia do Arroio da Areia em Porto Alegre (Oliveira; Guasselli, 2011), que utilizaram a geomorfologia, a distância dos cursos hídricos e o modelo de ocupação e impermeabilização do solo. Em Jaguari, Prina e Trentin (2014) utilizaram como pesos dados altimétricos e de declividade para gerar 3 modelos diferentes de suscetibilidade tendo como base de dados como dados SRTM, ASTER e cartas topográficas de 1:50.000.

Observa-se que os trabalhos de suscetibilidade à inundação dos rios são a base para a realização de análise de desastres naturais ligados à dinâmica hidrológica, sendo a primeira etapa na análise das áreas de risco. Neste sentido o objetivo deste trabalho é estabelecer um zoneamento de suscetibilidade a processos hidrológicos no município de Candelária. O município de Candelária se localiza na região central do estado do Rio Grande do Sul como mostra a Figura 1 nas coordenadas 29ª 40' 8.88"S e 52ª 47' 17.67"W que marca o perímetro urbano.

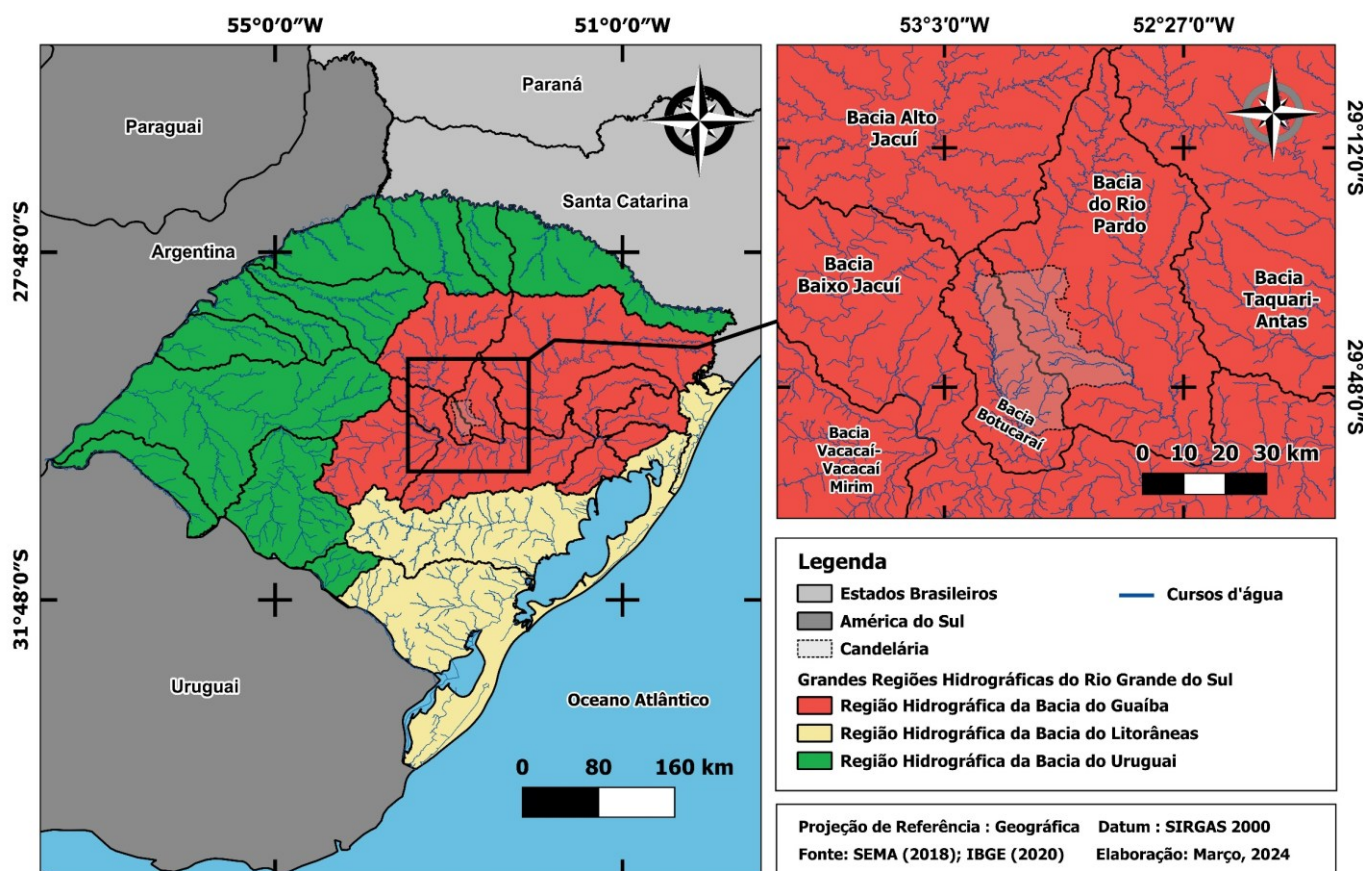
Figura 1 – Mapa de localização do município de Candelária, RS.



Fonte: Os autores (2022).

O município de Candelária faz parte da região hidrográfica do Guaíba, uma das três grandes regiões hídricas do estado do Rio Grande do Sul, tendo seu fluxo de escoamento para o lago e, posteriormente, o oceano Atlântico (Figura 2). Candelária é drenado por duas bacias hidrográficas tributárias do baixo Jacuí, sendo elas a do rio Botucaraí localizada na região oeste do município que compõe cerca de 47% da área, enquanto a bacia do Rio Pardo representa 53% da área localizada na região leste. O perímetro urbano de Candelária está localizado na bacia do Rio Pardo onde ocorrem os processos de inundação em períodos de grandes índices pluviométricos.

Figura 2 – Mapa das bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul



Fonte: Os autores (2024).

METODOLOGIA

Para a realização da análise das áreas suscetíveis à inundação, inicialmente foram delimitadas as bacias hidrográficas que drenam o município de Candelária, para isso foi utilizado como base as cartas topográficas de 1:50.000. Também foi realizado a hierarquização manualmente da rede de drenagem, com base na classificação de Strahler (1952), tendo sido utilizado o software ArcGis 10.4.1.

Foram obtidos os mapas de hipsometria e declividade utilizando como base o modelo digital de elevação (MDE) do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) com resolução especial de 30 metros disponibilizada no site *earthexplorer*. Utilizando o software ArcGis categorizou-se o MDE em 4 classes altimétricas utilizando como referência a distribuição observada no histograma de frequência, para definir o mapa hipsométrico, sendo elas de 23 a 60 metros que marcam as áreas mais rebaixada próximas aos cursos principais dos rios em baixo curso. A segunda classe de 60 a 281 metros demarca a zona de transição das áreas mais baixas para os topos de morros e morrotes, a terceira classe de 281 a 447 metros

marca as áreas de encosta enquanto a 4 marca os topos de morros e morrotes com cotas de 447 a 623 metros. Para produzir o mapa de declividade utilizou-se a ferramenta *slope* do software ArcGIS para gerar as inclinações, as quais foram classificadas em 4 classes usando como referência a divisão proposta pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT, 1981) sendo as classes <2%, 2-5%, 5-15% e >15%.

Posteriormente, foi realizado o mapa de Elementos de Relevo que consiste em uma classificação que utiliza um procedimento automatizado desenvolvido por Jasiewicz e Stepinski (2013), tendo como base um MDE. São definidos 10 elementos do relevo sendo eles: áreas planas (*flat*), pico (*peak*), crista (*ridge*), ressaltos (*shoulder*), crista secundária (*spur*), encosta (*slope*), escavado (*hollow*), base de encosta (*footslope*), vales (*valley*), e fosso (*pit*). Os Elementos do Relevo são gerados por meio de uma análise de similaridade textural do MDE que considera o ângulo e a distância dos pontos vizinhos comparados a uma célula central (Robaina et al., 2017; Robaina, Trentin, Laurent, 2016). Para gerar os elementos do relevo foi utilizado a ferramenta *r.geomorphons* do software Qgis 2.28. Os geomorphons representam uma forma de análise que auxilia na classificação do relevo sendo utilizado em vários trabalhos, como o realizado no município de São Sepé, sendo aplicado para definir o quarto nível taxonômico do município (Rosa, 2019). Existem outros trabalhos que utilizam esse modelo como parâmetro para avaliar o relevo, alguns exemplos são Scoti (2017); Trentin e Robaina (2020); Dotto e Robaina (2022). O intuito da geração deste mapa é identificar os elementos de áreas planas, vales e fosso, que são os mais suscetíveis aos processos de inundação.

Outro parâmetro utilizado para a análise de inundação, foi o modelo baseado na distância euclidiana da rede de drenagem, esse processo utiliza o teorema de Pitágoras para determinar a distância entre dois pontos em um espaço euclidiano. Dividiu-se em 4 classes de distância de 0 a 160 metros, de 160 a 365 metros, de 365 a 735 metros e maior de 735 metros, onde a classe de 0 a 160 metros caracteriza mais propícias aos processos de inundação. Para a definição destas classes foi utilizado a quebra natural (*Natural Breaks*) que avalia o histograma de frequência do modelo e agrupa os valores semelhantes entre si para determinar as classes.

Com intuito de delimitar as áreas suscetíveis aos processos de inundação dos rios, foi feita a análise ponderada associando os quatro parâmetros descritos anteriormente a hipsometria, declividade, elementos do relevo e distância euclidiana da rede de drenagem. Por meio de uma ferramenta chamada *raster calculator* foi realizado uma multiplicação de camadas *raster*, sendo determinado pesos de influência para cada parâmetro, onde os valores mais altos caracterizam um maior nível de suscetibilidade

como mostra a Tabela 1. Também foi determinado notas de importância para cada mapa auxiliando na discretização dos resultados do cálculo. Alguns estudos anteriores empregaram pesos semelhantes para avaliar a suscetibilidade, como evidenciado no estudo realizado na sub-bacia do Arroio da Areia em Porto Alegre (Oliveira, Guasselli, 2011). Neste estudo, a geomorfologia foi atribuída como o fator de maior influência, pois determina as áreas de planícies fluviais. Seguido pelo modelo de ocupação e impermeabilização do solo que foi identificado como o segundo parâmetro mais significativo, pois indica as áreas que tendem a acumular mais água durante períodos de precipitação. Por fim, a distância dos cursos hídricos foi considerada como parâmetro de menor peso. Na bacia Ribeirão da Fábrica em Minas Gerais foi utilizado como parâmetros o uso da terra e cobertura vegetal, declividade e hipsometria, tendo como maior peso o uso da terra por marca as áreas urbanas que sofrem o processo de inundação (Nogueira, 2017).

Tabela 1 - Pesos e notas utilizadas para análise de suscetibilidade à inundação.

Elementos do Relevo	Hipsometria	Declividade	Rede de drenagem (Distância Euclidiana)	Pesos
Área plana	23 – 60 m	< 2 %	0 – 160 m	10
Vale	60 – 281 m	2 – 5 %	160 – 365 m	7
Fosso	281 - 447 m	5 – 15 %	365 - 735 m	5
Elementos não suscetíveis	447 – 623 m	> 15 %	> 735 m	1
1	2	3	4	Notas

Fonte: Os Autores (2023).

Os resultados calculados geraram um modelo de suscetibilidade tendo o resultado em números inteiros de 1 a 10. Foram determinados intervalos de valores classificando o grau de suscetibilidade, sendo divididos em 4 classes: Não Suscetível (1 a 4), Baixa Suscetibilidade (4 a 6), Média Suscetibilidade (6 a 8) e Alta Suscetibilidade (8 a 10).

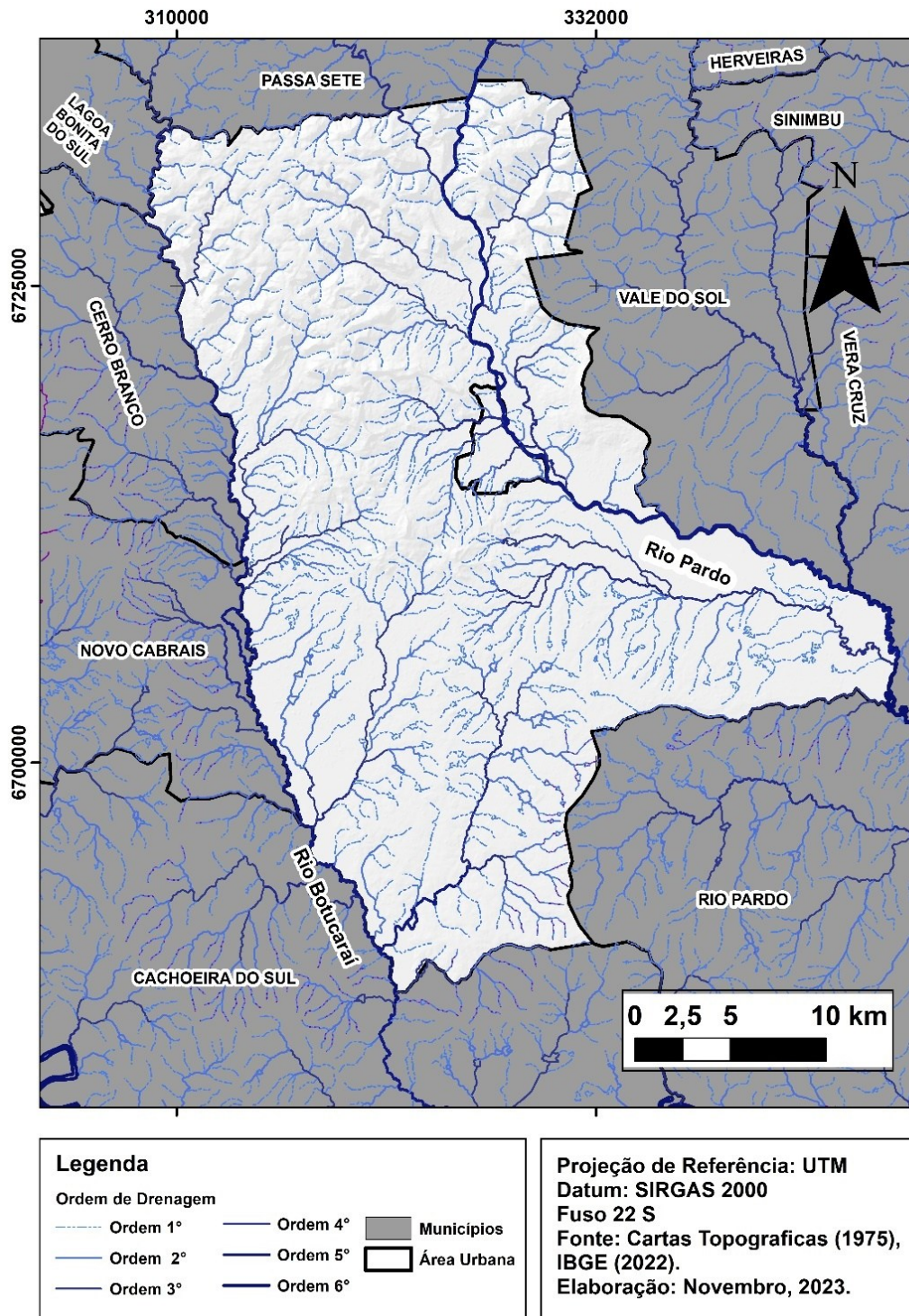
Para dar validação ao modelo foi realizado um trabalho de campo onde foi averiguado vários pontos ao redor dos cursos hídricos tributários do rio Pardo e de seu canal principal, tendo o objetivo verificar o nível classificado de suscetibilidade, foi utilizado um drone para fotografar as áreas com propósito de uma melhor compreensão da realidade do local de estudo. O trabalho de campo teve o

auxílio da defesa civil de Candelária que esclareceu algumas áreas que já foram afetadas por inundações no perímetro urbano, além do diálogo com moradores locais, onde questionou-se os pontos próximos a suas moradias que já foram atingidas por um episódio de inundação.

RESULTADOS

As margens da área urbana de Candelária o Rio Pardo apresenta 6ª ordem como mostra a Figura 3. Analisando a bacia do rio Pardo foi verificado que desde seu alto curso as drenagens apresentam 5ª ordem, fazendo com o rio tenha grande energia de água. Em períodos de altas precipitações, tem capacidade de transportar matacões em arraste em direção a sua foz. Através do cálculo de densidade de drenagem foi possível verificar que a bacia do rio Pardo tem a densidade de $1,41 \text{ km}^{-1}$, caracterizando uma rede de drenagem de boa qualidade, segundo Barbosa (2014) que delimita a faixa de qualidade de $0,5 \text{ km}^{-1}$ a $3,5 \text{ km}^{-1}$, sendo que o limite inferior caracteriza as bacias com drenagem pobre e o limite superior aplica-se a bacias excepcionalmente bem drenadas.

Figura 3 - Mapa de hidrográfico do município de Candelária, RS.



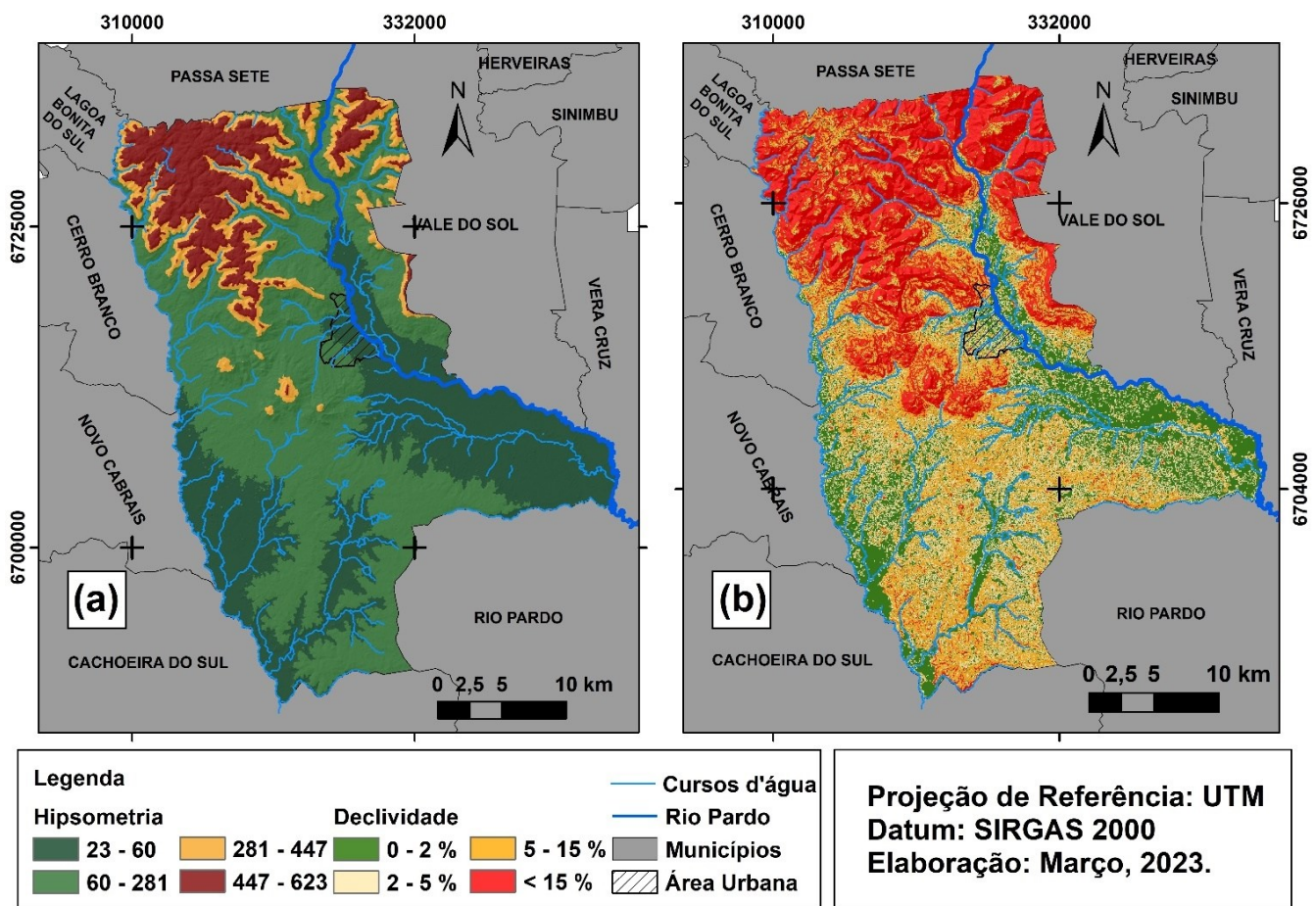
Fonte: Os autores (2023).

O município de Candelária apresenta amplitude altimétrica de 600 metros, suas maiores altitudes encontram-se na região norte do município com cotas de 447 a 623 metros compondo cerca de 10,84% da área, enquanto, as menores cotas estão na região sul associado às proximidades do rio Pardo

representando cerca de 64,43% do município entre as cotas de 23 a 132 metros. A área urbana está localizada entre as cotas de 41 a 172 metros na região central do município, como mostra a Figura 4(a).

Em relação a declividade das vertentes (Figura 4(b)), observa-se a maior predominância da classe de inclinações superiores a 15% com 28,10% da área total associadas às áreas mais altas do município, marcando o relevo ondulado de morros e morrotes. As declividades inferiores a 2% representam as áreas planas que ocorrem na região sul próximas aos canais principais de drenagem do município, tendo grande parte relacionada ao rio Pardo, representando 23,02% da área total. As classes de inclinação de 2 a 5% e 5 a 15% estão concentradas nas cotas inferiores a 132 metros representando juntas 48,88% do município. Analisando o perímetro urbano de Candelária foi possível verificar que mais de 70% da área urbana contém declives de 0 a 5 % de inclinação, estando associadas em sua maioria a cursos hídricos que passam pela cidade.

Figura 4 - (a) Mapa hipsométrico do município de Candelária, RS; (b) Mapa declividade do município de Candelária, RS.



Fonte: Os autores (2023).

A análise dos elementos do relevo apresenta presença no município de Candelária dos 10 elementos do relevo: Áreas Planas, Pico, Crista, Ressaltos, Crista Secundária, Encosta, Escavado, Base de Encosta, Vale e Fosso como mostra a Figura 5. O elemento que apresentou maior predominância é a classe de Áreas Planas com 23,60% da área total, marcando as planícies extensas associados aos principais cursos hídricos, localizado na região centro-leste ligada a bacia do rio Pardo e na região sudoeste fazendo parte da bacia do rio Botucaraí. A segunda classe com maior representatividade está representada pelo elemento de Encosta compondo 21,80% da área. Associado a este elemento é encontrado a Base de Encosta compondo 8,81% (Tabela 2). O elemento Crista Secundária representa 11,21% da área total tendo uma maior concentração na região norte, também na região norte do município ocorrem os elementos de Crista e Pico, marcando os topos de morros e morrotes e compondo, juntos, cerca de 10,78% da área total. Os elementos de Vale e Fosso estão encaixados nas redes de drenagem principalmente junto ao rio Pardo. O elemento Escavado compõe 9,16% da área sendo encontrado por toda extensão do município.

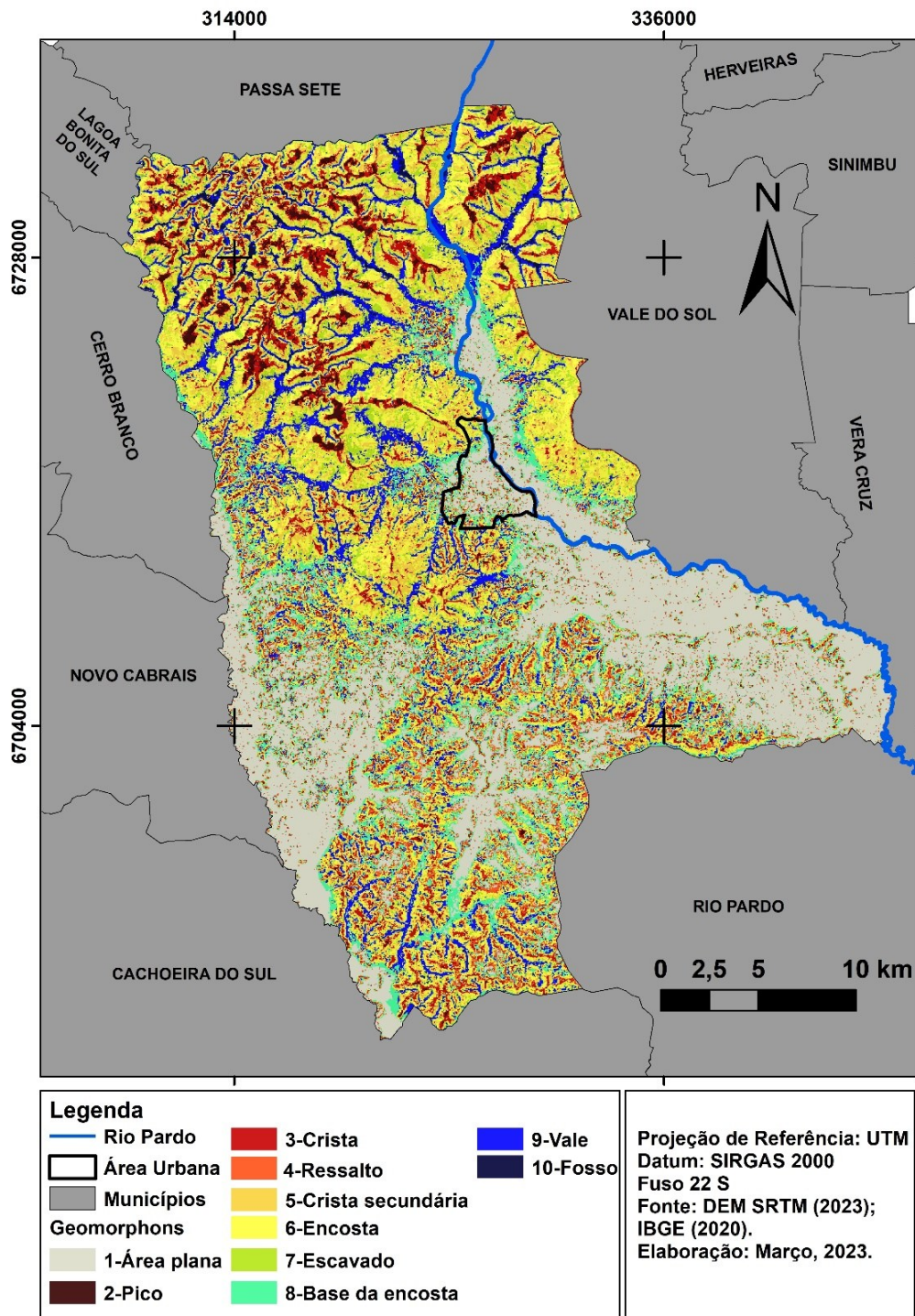
Avaliando o perímetro urbano é possível verificar que 47,71% é classificada como Área Plana associadas aos cursos hídricos. Outros elementos que se destacam são os Base de encosta e Encosta que representam 17,14% e 11,28% respectivamente, localizadas principalmente na região norte do perímetro, região caracterizada por conter declive e elevação mais alta comparada ao resto da área urbana.

Tabela 2 - Quantificação dos elementos do relevo no município de Candelária, RS.

Geomorphons	Área (km ²)	Porcentagem (%)
1 - Área plana	222,70	23,60
2 - Pico	21,55	2,28
3 - Crista	80,15	8,50
4 - Ressalto	39,95	4,24
5 - Crista Secundária	105,88	11,21
6 - Encosta	205,72	21,80
7 - Escavado	86,47	9,16
8 - Base da encosta	83,21	8,81
9 - Vale	90,34	9,58
10 - Fosso	7,89	0,83

Fonte: Os autores (2023).

Figura 5 - Mapa de elementos do relevo do município de Candelária, RS

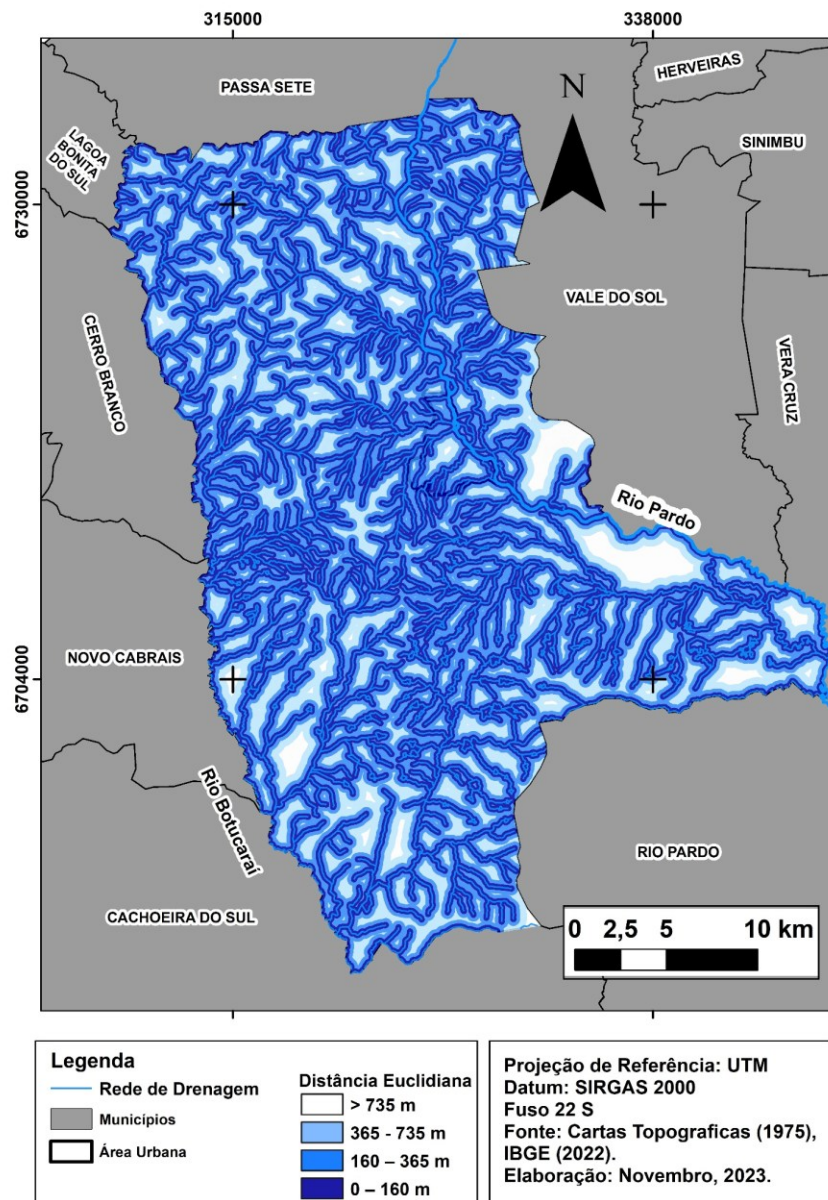


Fonte: Os autores (2023).

O mapa de distância euclidiana de rede de drenagem, mostra o espaçamento em relação ao curso hídrico. Esse mapa indica a predominância da classe de 0 a 160 metros, compondo cerca de 45,69% da

área (Figura 6). Essas são as áreas mais próximas dos cursos hídricos com alta suscetibilidade em períodos de inundação. A classe de 160 a 365 metros de distância marca as áreas com distância intermediária representando cerca de 34,96% da área total, enquanto a classe de 365 a 735 metros de distância compondo 17,07% da área. A classe com distâncias superiores a 735 metros representa cerca de 2,28% da área.

Figura 6 - Mapa de distância euclidiana da rede hidrográfica do município de Candelária, RS



Fonte: Os autores (2023).

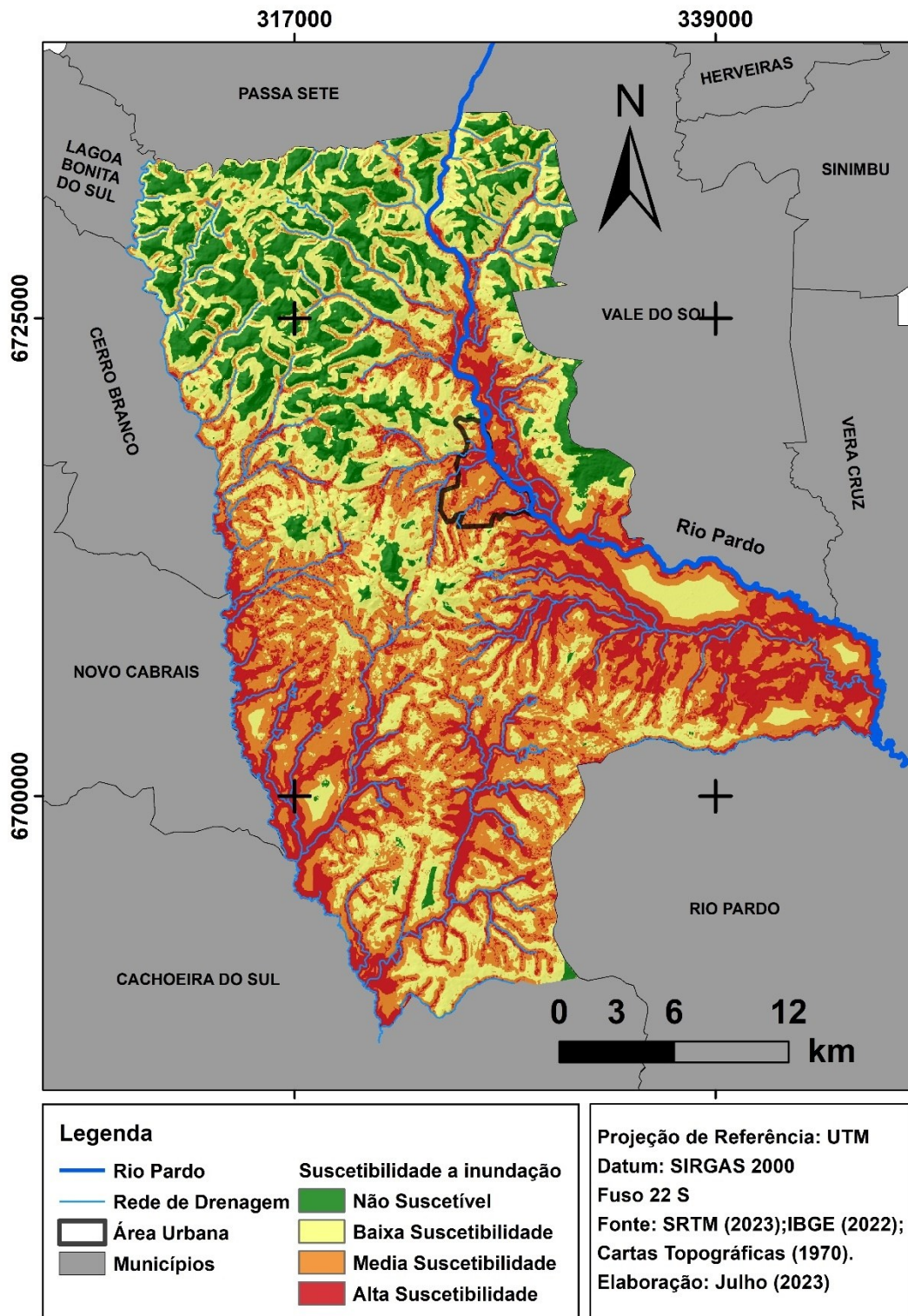
A análise ponderada dos dados indica a suscetibilidade aos processos de inundação. Foram definidas 4 classes de suscetibilidade no município de Candelária: Não Suscetível, Baixa Suscetibilidade, Média Suscetibilidade e Alta Suscetibilidade como mostra a Figura 7.

As classes não suscetíveis e a classe de suscetibilidade Baixa representam cerca de 44,11% do município. Ocorrem predominantemente na região norte do município sendo justificado por essa área representar os locais com maior elevação e com declividades altas, sendo uma área de escoamento de água. A classe que apresenta Média suscetibilidade à inundação representa 32,56% da área total sendo caracterizada por cotas inferiores a 60 metros, declividade $<2\%$ e com forma plana associado aos dois rios que atravessam o município na direção norte a sul, sendo eles o rio Pardo e o rio Botucarái.

A classe de Alta suscetibilidade representa cerca de 23,33% da área do município estando localizadas juntos aos principais canais dos cursos hídricos associadas predominantemente em cotas inferiores a 150 metros e declividades menores de 2%, tendo grande parte classificado como elemento área plana. Os canais de drenagem classificados como 4ª ordem ou superior na bacia do rio Pardo apresentam alta suscetibilidade aos processos de inundação.

Analisando o perímetro urbano do município de Candelária é possível identificar uma grande suscetibilidade aos processos de inundação, devido a concentração das classes de suscetibilidade média e alta que representam juntas 92,06% da área total urbana. Se justifica pela proximidade do perímetro urbano ao rio Pardo e seus tributários, como mostra a Figura 7, além dos aspectos geomorfológicos como a altimetria onde mais de 60% da área urbana está entre as cotas de 41 a 59 metros caracterizando uma área rebaixada. Associando a declividade é possível identificar a semelhança da porcentagem entre as classes de $<2\%$ e 2 a 5% correspondendo mais 37% cada classe. Os elementos de relevo, na área urbana do município apresentam a dominância das classes de áreas planas, vales e fossos que representam mais de 50% do perímetro.

Figura 7 - Mapa de suscetibilidade à inundação do município de Candelária, RS.

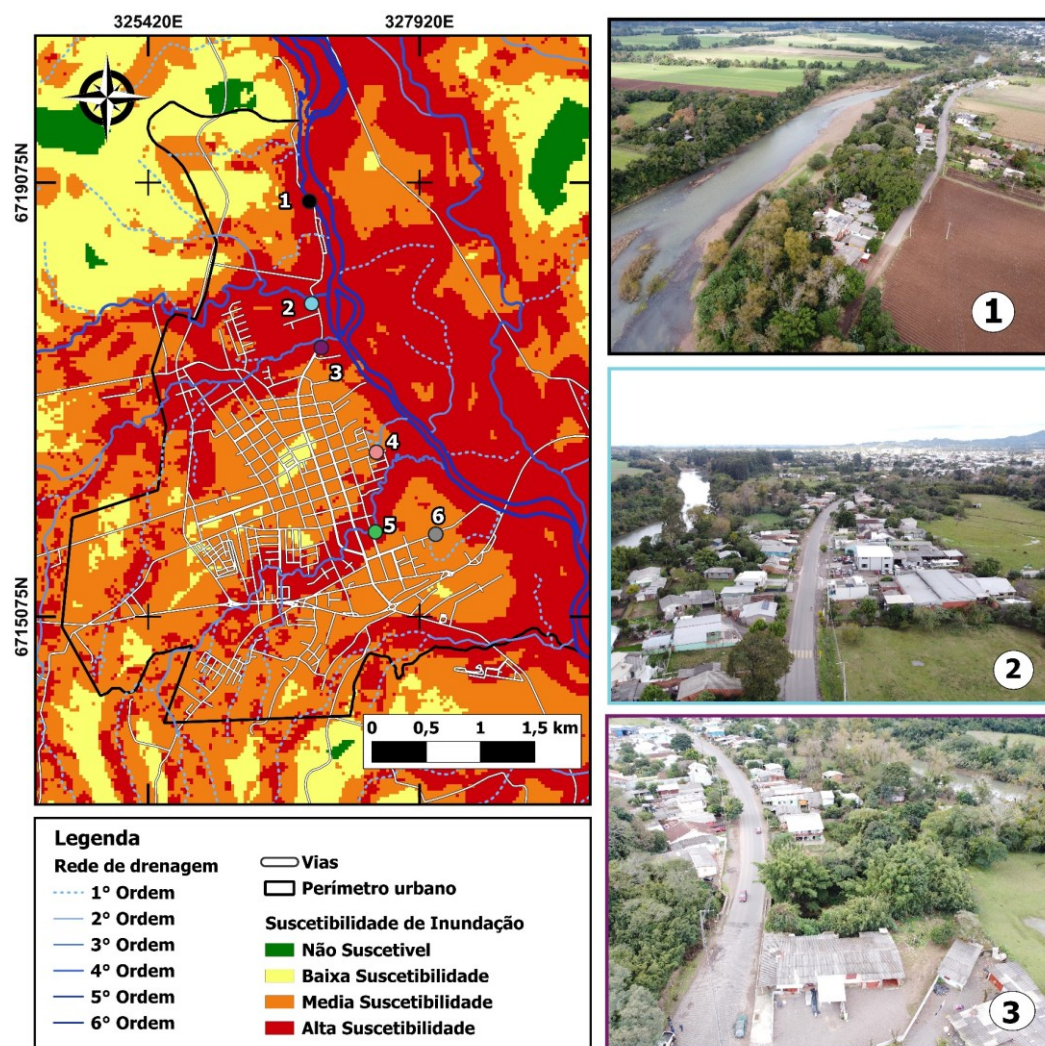


Fonte: Os autores (2023).

VALIDAÇÃO

Para validação do modelo de suscetibilidade, foi feito trabalho de campo com a colaboração da Defesa Civil de Candelária, onde foram mapeados os pontos mais afetados por inundações na área urbana. Esses pontos foram comparados com as áreas obtidas no modelo. A Figura 8 apresenta a área próxima ao rio Pardo, classificada como alta suscetibilidade. No Ponto 1 é destacado a região conhecida como Prainha, onde se localiza um balneário e diversas residências que sofrem frequentemente com o processo de inundação. Os Pontos 2 e 3 da Figura 8 representam os principais arroios que passam pelo perímetro urbano, sendo eles o Molha Grande e Molha Pequeno, respectivamente. Essas áreas estão incluídas em porções de alta suscetibilidade, e são indicados pela Defesa Civil como áreas afetadas por inundação.

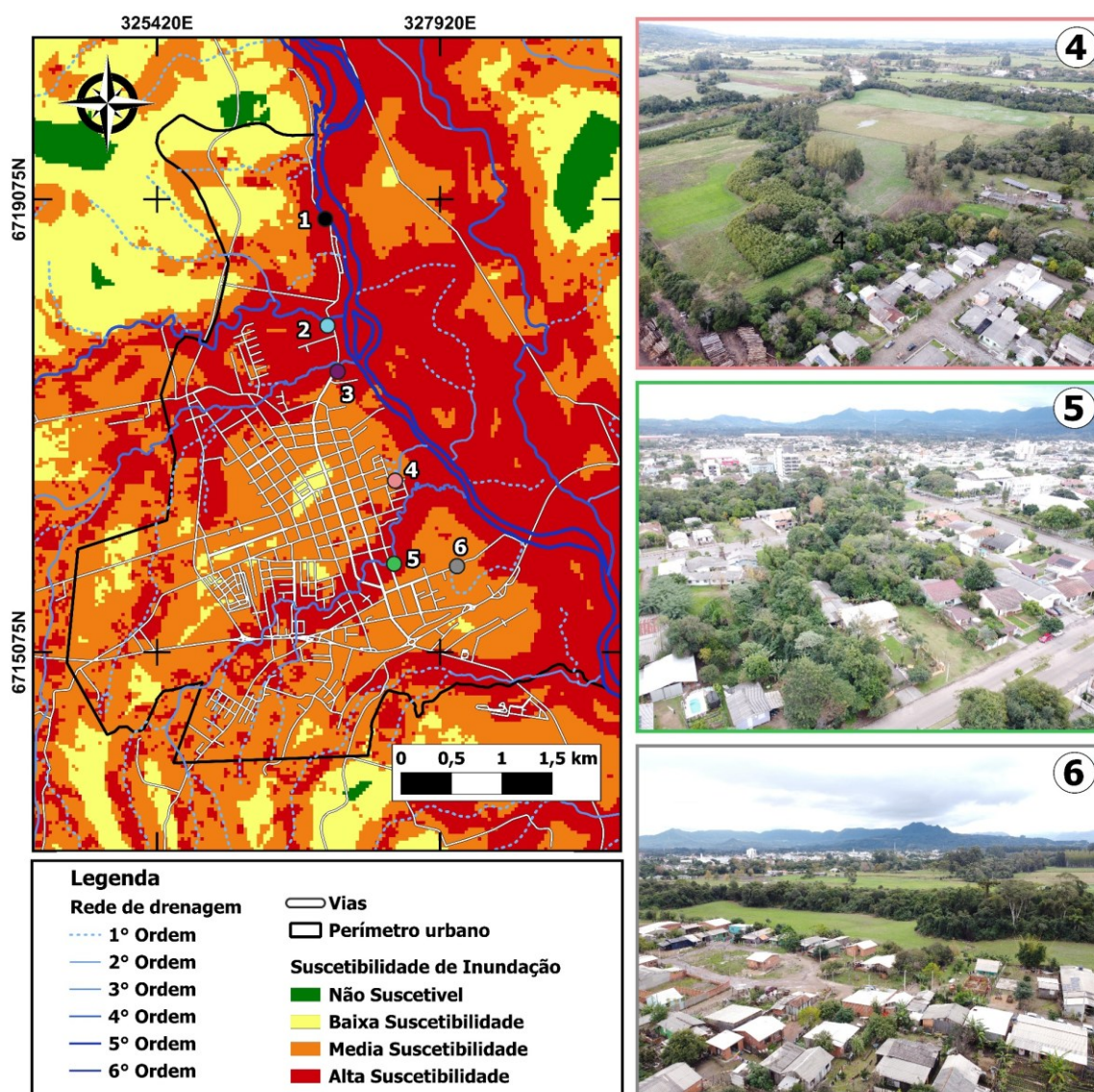
Figura 8 – Recorte 1 Suscetibilidade da área urbana no município de Candelária, RS



Fonte: Os Autores (2024).

O Ponto 4, na figura 9, marca uma área de transição de classes de suscetibilidade, condição de média a alta suscetibilidade conforme estudo. Esta área, segundo dados da Defesa Civil e relato dos moradores locais, marca uma área de limite de inundação. O Ponto 5 destaca o Arroio das Pedras que sofre ao longo do seu curso processos antrópicos como a construção de pontes, galerias e retificação de segmentos do canal. Em períodos de precipitação elevada ocorre o transbordamento do canal, provocando inundação de alguns locais. A área é marcada como Média suscetibilidade e também pode ser afetada por erosão de margens e cabeceiras de pontes. O Ponto 6 representa um bairro de menor poder econômico e infraestrutura, afetado por processos de alagamentos. Conforme o modelo, está classificada como de Média suscetibilidade.

Figura 9 – Recorte 2 Suscetibilidade da área urbana no município de Candelária, RS



Fonte: Os Autores (2024).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A delimitação das áreas suscetíveis aos processos de inundação, foi realizada a partir de informações do relevo, tendo utilizado o limite geográfico do município de Candelária como referência e estabelecendo a escala de análise permitindo assim uma compreensão abrangente das regiões propensas à inundação. Essa abordagem possibilitou a identificação de áreas mais suscetíveis tanto em escala municipal considerada mais abrangente quanto em escala urbana marcando as ruas e pontos mais suscetíveis. Mostrando que os parâmetros e a metodologia utilizada para realizar o trabalho foram adequadas para a delimitação de áreas suscetíveis à inundação no município.

A análise de suscetibilidade em Candelária mostrou que as áreas mais suscetíveis a processo de inundação estão localizadas na região sul do município sendo justificado por características morfológicas do local, onde as altitudes são inferiores a 100 metros associadas a declividades menores que 2% de inclinação. Em relação ao perímetro urbano foi verificado que mais de 90% da área foi classificada com suscetibilidade média a alta a inundação, essa informação é de suma importância para o poder públicos pois com ela é possível desenvolver planos e projetos de ação para minimizar os danos a população local.

O desenvolvimento da análise de suscetibilidade no município de Candelária foi inicialmente conduzido com dados em escala regional. Em futuros trabalhos, serão realizados estudos mais detalhados, incluindo a análise das áreas de risco e vulnerabilidade. Essas análises serão de suma importância para o município, pois facilitarão as tomadas de decisão do poder público durante períodos de desastres naturais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento da pesquisa, também as fundações FAPERGS e CNPq. Além da Defesa Civil de Candelária pela disponibilidade e auxílio na saída de campo.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, A. R. J. **Elementos de hidrologia aplicada**. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto: Departamento de Engenharia Civil. 2014. 241 p.

BRASIL. **Ministério da Integração**. Classificação e Codificação Brasileira De Desastres (COBRADE), 2012. Acesso em 14/03/2024. Disponível em: <http://www.mi.gov.br/defesa-civil/legislacoes>. Acesso em: 1 fev. 2024.

COSTA, H. R. D. O.; MIYAZAKI, L. C. P. A relação entre ocupação do relevo e os episódios de alagamentos na cidade de Capinópolis/MG. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**. Campinas: Instituto de Geociências – UNICAMP. v. 1, p. 4150–4161, 2017.

- CURY, M. D. et al. Mapeamento de áreas suscetíveis à inundação como informação para o planejamento e a gestão territorial em bacia hidrográfica. **Caminhos de Geografia**, v. 22, n. 83, p. 160–175, 4 out. 2021.
- DOTTO, A.V. E.; ROBAINA, L. E. S. Estudos e Classificação Geomorfológica de São Martinho da Serra - RS. **Ciência e Natura**, [S. l.], v. e49, 2022.
- FUJIMOTO, N. S. V. M.; DIAS, T. S.; BOMBARDELLI, G. F. **Análise da suscetibilidade à inundação na bacia hidrográfica do Arroio do Salso – Porto Alegre/RS**. XVI Encontro Nacional dos Geógrafos. Porto Alegre, 2010. ISBN 978-85-99907-02-3
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Mapeamento Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo. Escala 1:500.000, v. 2, 1981. 130p.
- JASIEWICZ, J.; STEPINSKI, T. F. Geomorphons — a pattern recognition approach to classification and mapping of landforms. **Geomorphology**, v. 182, p. 147–156, 2013.
- KÖENE, Rafael. **Análise Do Processo De Inundação Da Cidade De Rio Negro/PR**. 2013. 132 f. Dissertação (Mestrado em Gestão do Território: Sociedade e Natureza) - Universidade Estadual De Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2013.
- LIMA, M. M. L. **Mapeamento da suscetibilidade à inundação na bacia hidrográfica do arroio do Salso, Porto Alegre- RS**. 2010. 175 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2010.
- MENDIONDO, E. M.; TUCCI, C. E. M. **Escalas Hidrológicas II: Diversidade de processos na bacia vertente**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, ABRH, v. 2, n. 1, p. 59-122, 1997.
- MIGUEZ, M. G.; DI GREGORIO, L. T.; VERÓL, A. P. **Gestão de riscos e desastres hidrológicos**. 1ª Edição, Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.
- MINISTÉRIO DAS CIDADES; IPT, INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Treinamento de Técnicos Municipais para o Mapeamento e Gerenciamento de Áreas Urbanas com Risco de Escorregamentos, Enchentes e Inundações**. Defesa Civil. Espírito Santo. Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2004.
- NAKAMURA, E. T.; MANFREDINI, S. Mapeamento das Áreas Suscetíveis às Enxurradas na Bacia do Córrego Taboão, Município de São Paulo. In: **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2007, Florianópolis, INPE, p. 5411-5418.
- NOGUEIRA, T. P. N. **Mapeamento Da Suscetibilidade À Inundação Na Bacia Hidrográfica Do Ribeirão Da Fábrica, Município De Patos De Minas - MG**. Uberlândia, 2017. 123f. Dissertação (Mestrado em Qualidade Ambiental), Universidade Federal de Uberlândia. Minas Gerais. 2017
- OLIVEIRA, G.; GUASSELLI, L. Relação entre a Suscetibilidade a Inundações e a Falta de Capacidade nos Condutos da Sub-bacia do Arroio da Areia, em Porto Alegre/RS. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 16, n. 1, p. 5–15, 2011.
- PRINA, B.; TRENTIN, R. Metodologia para Mapeamento de Áreas Suscetíveis à Inundação: Estudo de Caso para o Município de Jaguari/RS. **XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia**, Gramado, 2014, p. 14.
- PRINA, B.Z. **Geotecnologias aplicadas no mapeamento das áreas de inundação do perímetro urbano de Jaguari/RS**. Programa de Pós-graduação em Geografia e Geociências, Universidade Federal de Santa Maria, Dissertação de Mestrado, 2015. p.127

- REZENDE, P. S.; MARQUES, D. V.; OLIVEIRA, L. A. Construção De Modelo No Qgis E Utilização Do Método De Processo Analítico Hierárquico - AHP Para Mapeamento De Riscos À Inundação Na Área Urbana De Paracatu - MG. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 18, n. 61, p. 01–18, 2017. DOI: 10.14393/RCG186101. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/31408>. Acesso em: 6 fev. 2024.
- ROBAINA, L. E. DE S.; TRENTIN, R.; LAURENT, F. Compartimentação do estado do Rio Grande do Sul, Brasil, através do uso de geomorphons obtidos em classificação topográfica automatizada. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 17, n. 2, 30 jun. 2016.
- ROBAINA, L. E. S. et al. Application of the concept of geomorphons to the landform classification in Tocantins state, Brazil. **Revista Ra'e Ga - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 41, p. 37, 28 ago. 2017.
- ROSA, E. P. **Geotecnologias aplicadas à compartimentação geomorfológica do município de São Sepé - RS**. 2019. 115 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2019
- SCCOTI, A. A. V. **Estudo e zoneamento geoambiental com auxílio de SIG na bacia hidrográfica do rio Santa Maria: Sudoeste do estado do Rio Grande do Sul**. 2017. 153 p. Tese (Doutorado em Geografia) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2017.
- STRAHLER, A.N. Hypsometric analysis of erosional topography. **Geological Society of America Bulletin**, n. 63, p.111-1141, 1952.
- THOMAZ, E. L. Avaliação de interceptação e precipitação interna em capoeira e floresta secundária em Guarapuava–PR. **GEOGRAFIA (Londrina)**, [S. l.], v. 14, n. 1, p. 47–60, 2005.
- TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. S.; SILVEIRA, V. S. Zoneamento do risco de inundação do rio vacacaí no município de São Gabriel, RS. **Geo UERJ**, v. 1, n. 24, p. 161–180, 2013.
- TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. S. Automated classification of landforms with GIS support. **Mercator**, v. 19, n. 5, p. 1–16, 2020.
- VILLELA, S.M., MATTOS, A. **A Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245 p.