

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
COLÉGIO POLITÉCNICO DA UFSM
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOMÁTICA

Carlos Garrido Pinheiro

**APLICAÇÃO DO GEOPROCESSAMENTO NA DETECÇÃO DE
ÁREAS SUSCETÍVEIS À OCORRÊNCIA DE INUNDAÇÕES NO
MUNICÍPIO DE DOM PEDRITO, RIO GRANDE DO SUL**

Santa Maria, RS
2020

Carlos Garrido Pinheiro

**APLICAÇÃO DO GEOPROCESSAMENTO NA DETECÇÃO DE ÁREAS
SUSCETÍVEIS À OCORRÊNCIA DE INUNDAÇÕES NO MUNICÍPIO DE DOM
PEDRITO, RIO GRANDE DO SUL**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Geomática da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Especialista em Geomática**.

Orientador: Valmir Viera

Santa Maria, RS
2020

Carlos Garrido Pinheiro

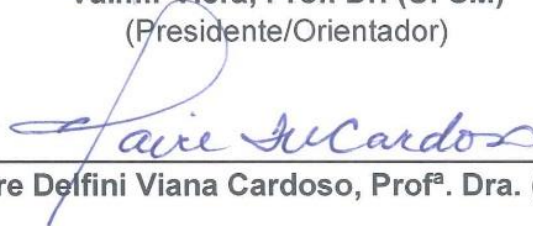
**APLICAÇÃO DO GEOPROCESSAMENTO NA DETECÇÃO DE ÁREAS
SUSCETÍVEIS À OCORRÊNCIA DE INUNDAÇÕES NO MUNICÍPIO DE DOM
PEDRITO, RIO GRANDE DO SUL**

Monografia apresentada ao Curso de
Especialização em Geomática da
Universidade Federal de Santa Maria
(UFSM, RS), como requisito parcial para
obtenção do grau de **Especialista em
Geomática**

Aprovado em 09 de janeiro de 2020:



Valmir Viera, Prof. Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Claire Delfini Viana Cardoso, Prof^a. Dra. (UFSM)



Waterloo Pereira Filho, Prof. Dr. (UFSM)

Santa Maria, RS
2020

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar sempre comigo, por me fortalecer e guiar minha jornada.

À minha família, especialmente minha mãe Maria de Fátima, meu pai Carlos, e meus irmãos Daniel, Douglas e Diego, pelo amor, confiança, apoio, força e por construírem a base da minha vida.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao curso de Pós-Graduação em Geomática pela oportunidade de desenvolver o presente estudo.

Ao orientador Prof. Dr. Valmir Viera pela confiança, ensinamentos e orientação durante a realização do estudo.

À Prof^a. Dr^a. Ana Caroline Paim Benedetti pelos ensinamentos e auxílio durante o desenvolvimento do estudo.

Ao Prof. Dr. Lúcio de Paula Amaral e ao Prof. Dr. Romario Trentin pelos ensinamentos proporcionados.

À banca examinadora composta pela Prof^a. Dr^a. Claire Delfini Viana Cardoso, pelo Prof. Dr. Waterloo Pereira Filho e pelo Prof. Dr. Enio Giotto, pela avaliação do presente estudo e pelas contribuições realizadas.

Aos amigos não mencionados, mas que contribuíram para o desenvolvimento da jornada.

MUITO OBRIGADO!

RESUMO

APLICAÇÃO DO GEOPROCESSAMENTO NA DETECÇÃO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS À OCORRÊNCIA DE INUNDAÇÕES NO MUNICÍPIO DE DOM PEDRITO, RIO GRANDE DO SUL

AUTOR: Carlos Garrido Pinheiro

ORIENTADOR: Valmir Viera

O objetivo do presente estudo foi detectar áreas suscetíveis à ocorrência de inundações em Dom Pedrito, Rio Grande do Sul, através da utilização de geotecnologias. Foram organizados mapas temáticos de clinografia, hipsometria, geomorfologia, pedologia, uso da terra e hidrografia do município. Para a análise ambiental por média ponderada, foram considerados os seguintes pesos: 22% para clinografia, hidrografia e geomorfologia; 9% para hipsometria; 14% para pedologia; 11% para uso da terra. Também foram atribuídas notas de 0 a 10 para as classes constituintes dos mapas. Durante a análise, foram geradas notas de 2 a 10, que posteriormente foram agrupadas nos seguintes níveis de risco de inundação: nota 2 representou baixíssimo risco; notas 3 e 4 representaram baixo risco; notas 5 e 6 formaram médio risco; notas 7 e 8 representaram alto risco; notas de 9 e 10 formaram altíssimo risco. A classe majoritária de clinografia encontrada foi a de 3 a 8% de declividade. No mapa de hipsometria, destacou-se a classe de 100 a 200 metros. A classe majoritária de geomorfologia foi a Depressão do Rio Ibicuí. A classe mais representativa de pedologia foi o Chernossolo Ebânico Carbonático. No mapa de uso da terra, foi possível verificar uma predominância de campo. Por meio da análise ambiental verificou-se a predominância de médio risco de inundação em Dom Pedrito. As classes de alto e altíssimo risco de inundação foram detectadas na área urbana do município. A utilização do Geoprocessamento possibilitou a detecção de áreas suscetíveis a inundações no município.

Palavras-chave: Geotecnologias. Análise ambiental. Mapas temáticos.

ABSTRACT

APPLICATION OF GEOPROCESSING IN DETECTION OF AREAS SUSCEPTIBLE TO FLOODS OCCURRENCE IN DOM PEDRITO MUNICIPALITY, RIO GRANDE DO SUL

AUTHOR: Carlos Garrido Pinheiro

ADVISOR: Valmir Viera

The aim of the present study was to detect areas susceptible to floods occurrence in Dom Pedrito, Rio Grande do Sul, through the use of geotechnologies. Thematic maps of clinography, hypsometry, geomorphology, pedology, land use and hydrography of the municipality were organized. For environmental analysis by weighted average, the following weights were considered: 22% for clinography, hydrography and geomorphology; 9% for hipsometry; 14% for pedology; 11% for land use. Scores from 0 to 10 were also assigned to the constituent classes of the maps. During the analysis, grades 2 to 10 were generated, which were later grouped into the following flood risk levels: grade 2 represented very low risk; grades 3 and 4 represented low risk; grades 5 and 6 formed medium risk; grades 7 and 8 represented high risk; grades 9 and 10 formed a very high risk. The major class of clinography found was 3 to 8% of slope. In the hypsometry map, the class of 100 to 200 meters stood out. The major class of geomorphology was the Ibicuí River Depression. The most representative class of pedology was the Carbonic Ebanic Chernosol. In the land use map, a field predominance was possible to verify. Through environmental analysis the predominance of medium risk of flooding in Dom Pedrito was verified. The classes of high and very high flood risk were detected in the urban area of the municipality. The use of Geoprocessing made it possible to detect areas susceptible to floods in the municipality.

Keywords: Geotechnologies. Environmental analysis. Thematic maps.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização de Dom Pedrito, Rio Grande do Sul	21
Figura 2 – Mapa de clinografia de Dom Pedrito, Rio Grande do Sul.....	30
Figura 3 – Mapa de hipsometria de Dom Pedrito, Rio Grande do Sul.....	31
Figura 4 – Mapa de geomorfologia de Dom Pedrito, Rio Grande do Sul	33
Figura 5 – Mapa de pedologia de Dom Pedrito, Rio Grande do Sul.....	34
Figura 6 – Mapa de uso da terra de Dom Pedrito, Rio Grande do Sul.....	35
Figura 7 – Mapa de <i>buffers</i> de hidrografia de Dom Pedrito, Rio Grande do Sul	36
Figura 8 – Áreas suscetíveis à ocorrência de inundações em Dom Pedrito, Rio Grande do Sul	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Atribuição de pesos aos mapas temáticos e notas às classes constituintes dos mapas de Dom Pedrito, Rio Grande do Sul	25
Tabela 2 – Atribuição de valores de intensidade de importância para o método AHP (<i>Analytic Hierarchy Process</i>) dos mapas temáticos do município de Dom Pedrito, Rio Grande do Sul.....	28
Tabela 3 – Comprimentos das redes viária e hidrográfica, e áreas da rede hidrográfica e manchas urbanas do município de Dom Pedrito, Rio Grande do Sul	29
Tabela 4 – Áreas das classes de geomorfologia, pedologia e uso da terra de Dom Pedrito, Rio Grande do Sul.....	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
APPs	Áreas de Preservação Permanente
CR	<i>Consistency Ratio</i>
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias
GIS	<i>Geographic Information System</i>
GPS	Sistema de Posicionamento Global (<i>Global Positioning System</i>)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LABGEO	Laboratório de Geoprocessamento
LAGEOP	Laboratório de Geoprocessamento da Universidade Federal do Rio de Janeiro
MaxVer	Máxima Verossimilhança
MDE	Modelo Digital de Elevação
OLI	<i>Operational Land Imager</i>
QGIS	<i>Quantum Gis</i>
RGB	<i>Red, Green, Blue</i>
RS	Rio Grande do Sul
SAGA	Sistema de Análise Geoambiental
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SPRING	Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
UTM	Universal Transversa de Mercator

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	PROBLEMA.....	12
1.2	JUSTIFICATIVA	13
1.3	OBJETIVOS.....	13
1.3.1	Objetivo Geral	13
1.3.2	Objetivos Específicos	13
2	REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1	DOM PEDRITO.....	14
2.2	GEOTECNOLOGIAS.....	15
2.3	SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG).....	17
2.4	ANÁLISE AMBIENTAL.....	18
2.5	INUNDAÇÕES.....	19
3	MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.1	ÁREA DE ESTUDO.....	21
3.2	MATERIAIS UTILIZADOS	22
3.3	MÉTODOS APLICADOS	23
3.3.1	Análise da base cartográfica vetorial contínua de Dom Pedrito	23
3.3.2	Organização dos mapas temáticos	23
3.3.3	Identificação de áreas suscetíveis à inundação em Dom Pedrito	25
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
5	CONCLUSÃO	39
	REFERÊNCIAS	40

1 INTRODUÇÃO

Geomática pode ser considerada a ciência que faz uso de técnicas matemáticas e computacionais para analisar informações geográficas, além de ser sinônimo de Geoprocessamento (ROSA, 2013). Técnicas e ferramentas do Geoprocessamento podem ser aplicadas em diversos estudos como mapeamento de Área de Preservação Permanente (APP) e reserva legal (GRIPP JUNIOR et al., 2010), georreferenciamento de imóveis rurais (PINTO; CAMARGO; MONICO, 2013), e zoneamento de risco de inundação de municípios (TRENTIN; ROBAINA; SILVEIRA, 2013).

A utilização da água é fundamental para diversos aspectos da sociedade humana, desde o atendimento de necessidades pessoais, até o uso em atividades econômicas e sociais, entretanto, em demasia, esse recurso pode causar inundações e calamidades ambientais, além de ocasionar fome e miséria, quando em escassez (SOUZA et al., 2014; PAZ; TEODORO; MENDONÇA, 2000). A definição de inundação está relacionada ao transbordamento de água proveniente de rios, lagos e açudes, e esse fenômeno pode ser classificado em razão de sua magnitude e evolução (CASTRO, 2003). Em função da magnitude, o autor classifica as inundações como: excepcionais, de grande magnitude, normais ou regulares e de pequena magnitude. Já em razão da evolução, o mesmo autor classifica as inundações como: enchentes ou inundações graduais, enxurradas ou inundações bruscas, alagamentos e inundações litorâneas ocasionadas pela brusca invasão do mar.

Um dos estados brasileiros que apresenta diversos relatos de ocorrências de inundações é o Rio Grande do Sul (RS). A literatura apresenta estudos que abordam aspectos sobre esses fenômenos em municípios como Dona Francisca (FANTINEL, 2018), Dom Pedrito (CASTILHO; GIOTTO, 2004), Colinas, Fontoura Xavier, Itaqui, Estrela, Uruguaiana, Mampituba, São Sebastião do Caí e Boqueirão do Leão (RODRIGUES; FACHEL; PASSUELLO, 2012).

Sabe-se que é cada vez mais comum a utilização da distribuição espacial de dados sobre o espaço geográfico, por meio do uso de ferramentas como o Sistema de Informações Geográficas (SIG), como forma de compreender e solucionar questões em diversas áreas como agricultura, turismo e urbanização (POLIDORO; BARROS, 2010). As técnicas de Geoprocessamento unidas ao SIG podem contribuir na prevenção de acidentes em áreas passíveis a inundações, possibilitando a

identificação e gerenciamento dos eventos de alagamento, a fim de proporcionar prognósticos de inundação, e auxiliar na realização de medidas de proteção e prevenção (RAMOS et al., 2012). Adicionalmente, para uma melhor compreensão das características das inundações de um local, pode ser realizada a análise ambiental por intermédio de técnicas de mapeamento (DE LIMA FERNANDES; DA ANUNCIÇÃO; DA SILVA, 2015) e a aplicação de média ponderada visando identificar áreas suscetíveis a inundações (FANTINEL, 2018).

Uma vez apresentadas as características das geotecnologias, bem como suas diversas utilidades, o presente estudo busca aplicar técnicas e métodos que possibilitem identificar áreas suscetíveis a inundações em um determinado município. Para tal, foi selecionado Dom Pedrito, já reconhecido pela ocorrência dos fenômenos mencionados. Ressalta essa escolha o fato de a literatura carecer de informações sobre a identificação de áreas suscetíveis a inundações no município.

1.1 PROBLEMA

Uma vez que a área urbana do município de Dom Pedrito está localizada à margem direita do rio Santa Maria, quando ocorrem as cheias do mesmo, as águas invadem a cidade, ocasionando inundações de bairros (CASTILHO; GIOTTO, 2004). Segundo os autores, isso acarreta transtornos e prejuízos para a população do município.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2017), Dom Pedrito já foi atingido por alagamentos, processos erosivos, enchentes ou inundações graduais, enxurradas ou inundações bruscas, e escorregamento ou deslizamento de encosta. Sabe-se que as inundações são ocasionadas pela precipitação anormal da água, que transborda dos leitos de rios, por exemplo, e invade os terrenos adjacentes (CASTRO, 2003). De acordo com o autor, o incremento dos caudais superficiais pode ser proporcionado por uma série de fatores, podendo ser citadas as precipitações pluviométricas intensas e concentradas, a drenagem insuficiente de terrenos a montante de aterros e a diminuição da capacidade de infiltração do solo. A falta de informações sobre as áreas suscetíveis a inundações em Dom Pedrito dificulta o controle dos fatores que estimulam esses fenômenos, bem como eleva as chances de ocorrência dos prejuízos e desalojamentos previamente mencionados, assim como os possíveis riscos sofridos pelos seres vivos.

1.2 JUSTIFICATIVA

Segundo Castro (2003), o constante monitoramento de fatores como os níveis dos rios possibilita a antecipação da ocorrência das inundações. Dentre as medidas preventivas citadas pelo autor está o mapeamento das áreas de risco passíveis de inundação, assim como o zoneamento urbano, periurbano e rural. Castro (2003) ainda menciona outras medidas preventivas como o manejo de microbacias visando preservar flora e fauna, a preservação do solo e o reflorestamento de encostas.

Para possibilitar a concretização dessas medidas em um município ou região é fundamental que ocorra previamente o mapeamento e a localização das áreas suscetíveis a ocorrência de inundações. Historicamente o município de Dom Pedrito sofre com os fenômenos de inundações, que acarretam uma série de prejuízos materiais e desalojamentos, assim como colocam em risco a integridade dos seres vivos da região. A partir dos resultados obtidos no presente estudo, espera-se que o mapeamento do município e a realização das técnicas de análise ambiental possibilitem a identificação das áreas suscetíveis a inundações. Com essas localizações, um planejamento poderá ser adotado visando controlar os fenômenos provocados pelas águas e minimizar os danos provocados por eles.

1.3 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Aplicar técnicas de Geoprocessamento no intuito de detectar a suscetibilidade do município de Dom Pedrito (RS) à ocorrência de inundações.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Organizar os mapas temáticos de clinografia, hipsometria, geomorfologia, pedologia, hidrografia e uso da terra para realizar uma análise ambiental de Dom Pedrito (RS);

- Aplicar a técnica de média ponderada na análise ambiental para identificar as áreas de maior suscetibilidade à ocorrência de inundações no município.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 DOM PEDRITO

Dom Pedrito é um município cuja população estimada é de 38.461 pessoas, e apresenta uma área de unidade territorial de 5.191,915 km² situado no estado do Rio Grande do Sul, Brasil (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, [2019a]). O município está localizado na Fronteira Oeste do estado (CASTILHO; GIOTTO, 2004). Em relação à silvicultura em Dom Pedrito, destaca-se a produção de carvão vegetal, lenha e madeira em tora, além de casca de acácia-negra (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2018a). Em relação à pecuária do município, pode ser citada a aquicultura, a criação de bubalinos, bovinos, ovinos, caprinos, equinos, galináceos, codorna e suínos, bem como a produção de mel de abelha (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2018b).

Em se tratando de culturas agrícolas presentes no município, merecem destaque as produções de arroz (em casca), cevada, mamona, milho, soja, sorgo granífero e trigo (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2007). Considerando a lavoura permanente em Dom Pedrito, citam-se as produções de laranja, azeitona, pêssigo e uva (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2018c), enquanto que para a lavoura temporária, merecem destaque as produções de arroz, melancia, melão, milho, soja e sorgo (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2018d).

Como mencionado anteriormente, Dom Pedrito já foi atingido por inundações. Dentre as áreas do município em que ocorreram enchentes ou inundações graduais no ano de maior impacto, estão aquelas naturalmente inundáveis, as áreas com ocupações regulares e irregulares, além de áreas onde foram constatados processos erosivos acelerados (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2017). Ainda segundo o mesmo Instituto, medidas como a construção de canais de macrodrenagens, a retificação de rios e o aumento de calha ou desvio de cursos d'água, podem ser adotadas para evitar ou minimizar danos.

Em relação às áreas de Dom Pedrito em que ocorreram as enxurradas ou inundações bruscas no ano de maior impacto estão as naturalmente inundáveis (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2017). Segundo o mesmo Instituto, dentre as ações adotadas para evitar ou minimizar os danos podem

ser citadas as mesmas mencionadas anteriormente para os casos de enchentes ou inundações graduais.

Como instrumentos de planejamento para gerenciamento de riscos, Dom Pedrito possui um Plano Diretor e uma lei específica que contempla a prevenção de enchentes ou inundações graduais, ou enxurradas ou inundações bruscas (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2017). De acordo com o mesmo Instituto, para o gerenciamento de riscos de desastres ocasionados por enchentes ou inundações graduais, ou enxurradas ou inundações bruscas em Dom Pedrito, podem ser mencionados: o mapeamento de áreas de risco; um plano de contingência; projetos de engenharia; e um cadastro de risco.

2.2 GEOTECNOLOGIAS

O grupo de geotecnologias também pode ser denominado “Geoprocessamento”, e refere-se às informações temáticas que estão associadas à superfície terrestre por um sistema de coordenadas (ROSA, 2005). Por muito tempo a coleta de informações a respeito da distribuição geográfica de objetos e seres vivos era realizada apenas por mapas e documentos de papel, o que impossibilitava o uso de análises que relacionassem muitos dados e mapas (CÂMARA; DAVIS, 2001). Todavia, segundo os autores, a evolução da informática proporcionou o armazenamento e a representação das informações em um ambiente computacional, possibilitando dessa forma, a criação do Geoprocessamento.

O grupo contendo tecnologias utilizadas para coletar, processar, analisar e disponibilizar as informações com referência geográfica pode ser denominado geotecnologias (ROSA, 2013). Segundo o autor, esse grupo é constituído de soluções de *hardware*, *software* e *peopleware*, que quando unidas, podem auxiliar a escolha de decisões, e dentre as geotecnologias, estão o Sensoriamento Remoto e os Sistemas de Informações Geográficas.

O Geoprocessamento envolve o processamento de informações georreferenciadas mediante o uso de aplicativos, equipamentos e dados obtidos de muitas fontes, por profissionais capacitados (PIROLI, 2010). Segundo o autor, os principais componentes do Geoprocessamento são: a informática, os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), o Sensoriamento Remoto, o Sistema de

Posicionamento Global (GPS), a Cartografia Digital, a Topografia e o levantamento de campo, o processamento digital de imagens e o profissional que seja capacitado.

Sensoriamento Remoto e SIG estão relacionados e podem ser aplicados em diversas áreas (FLORENZANO, 2005). Destas tecnologias, a primeira é conhecida como ciência e arte, uma união capaz de adquirir informações sobre objetos, áreas ou fenômenos, por meio de análise de dados adquiridos por sensores instalados em diferentes plataformas, que podem estar em níveis terrestre, aéreo ou orbital (VETTORAZZI, 1996). Para o mesmo autor, SIGs são sistemas computadorizados capazes de possibilitar o manuseio dos dados georreferenciados e possuem os seguintes módulos de capacidade: entrada dos dados; gerenciamento dos dados; manipulação e análise; e a saída, onde os produtos são gerados. Para a concretização de atividades envolvendo Geoprocessamento, é importante conhecer ciências como Cartografia e Geodésia, uma vez que informações a respeito de assuntos como sistema geodésico de referência e sistemas de coordenadas são utilizadas (PIROLI, 2010).

A utilização das técnicas de Geoprocessamento é capaz de influenciar áreas como Análise de Recursos Naturais, Cartografia, Comunicações, Transportes, Energia, além de Planejamento Urbano e Regional (CÂMARA; DAVIS, 2001). As geotecnologias podem ser aplicadas em diversas situações. Essas ferramentas podem ser utilizadas para planejamento do espaço urbano (LEITE; ROSA, 2006). Geotecnologias podem ser empregadas na confecção de mapas de ruídos, como relatado em estudo de Scariot et al. (2012). Essas tecnologias também podem ser utilizadas para análise de parâmetros biofísicos de uma região, como realizado em estudo sobre o Bioma Pantanal (ANDRADE et al., 2012).

O uso de geotecnologias também pode auxiliar estudos visando analisar fatores que influenciam a vulnerabilidade do solo à erosão, como descrito em estudo desenvolvido em Piratini, RS (FANTINEL; BENEDETTI, 2016a). Com o emprego destas tecnologias, é possível analisar o uso da terra de uma região, como realizado em trabalho sobre a microbacia do Ribeirão João Leite, em Goiás (SILVA; LACERDA; CHAVES, 2009). As geotecnologias também são aplicáveis na elaboração de cadastro técnico rural (GRIPP JUNIOR et al., 2010). O Geoprocessamento possui um vasto potencial para ser utilizado no Brasil, com o intuito de auxiliar a solução de problemas ambientais, rurais e urbanos (CÂMARA; DAVIS, 2001).

2.3 SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)

O primeiro SIG surgiu na década de 1960 e, na década seguinte, a expressão *Geographic Information System* (GIS) foi concebida (POLIDORO; BARROS, 2010). Formados por técnicas matemáticas e computacionais do Geoprocessamento, os SIGs são constituídos de bancos de dados georreferenciados e utilizados para tratar sobre informações geográficas (NOERNBERG et al., 2007). Esses sistemas possibilitam trabalhar de forma integrada as diferentes abordagens de diversas áreas do conhecimento, visando o armazenamento, tratamento e a manipulação das informações espaciais (SILVA; MACHADO, 2014).

Por meio do SIG pode-se reunir as informações sobre pontos e áreas em um banco de dados, proporcionando a visualização espacial em forma de imagens de satélites ou mapas (POLIDORO; BARROS, 2010). Davis e Câmara (2001) indicam que um SIG apresenta os seguintes constituintes associados de maneira hierárquica: uma interface com o usuário, para determinação de operação e controle do sistema; após, a entrada e a integração de dados; em seguida, as funções de consulta e análise espacial; após, a visualização e a plotagem; na parte mais interna, um banco de dados para armazenamento e recuperação de dados espaciais, bem como de seus atributos.

Um SIG pode ser utilizado de diversas formas, como servir de instrumento para a produção de mapas, funcionar como suporte para análise espacial de fenômenos, servir como um banco de dados geográficos, além da possibilidade do sistema ser aplicado em diferentes temas como agricultura e floresta (DAVIS; CÂMARA, 2001). Os SIGs também são capazes de auxiliar nas decisões de questões envolvendo estudos geológicos (SALAMUNI; STELLFELD, 2001).

Os SIGs podem ser utilizados em estudos ambientais, uma vez que possibilitam uma integração e atualização veloz e constante dos dados espaciais e alfanuméricos (SILVA; MACHADO, 2014). Para os autores, essas características proporcionam análises de fenômenos em diferentes escalas. Os SIGs servem de ferramentas úteis para o planejamento ambiental, visto que simplificam o procedimento de avaliação integrada de diversas variáveis, além de possibilitar uma rápida geração de informações e a inclusão de variáveis imprevistas na análise (DONHA; SOUZA; SUGAMOSTO, 2006). Os SIGs também auxiliam a tomada de decisões, possibilitando a compreensão dos eventos analisados no ambiente e permitindo simulações de situações (SILVA; MACHADO, 2014).

A literatura demonstra diversas aplicações dos SIGs em trabalhos referentes à análise ambiental. Esses sistemas podem ser utilizados no planejamento ambiental para a verificação de áreas que demonstrem potenciais para finalidades agropecuárias, como visto em estudo realizado no município de Cachoeira do Sul, RS (SANTOS; FANTINEL; BENEDETTI, 2018). Os SIGs também podem ser empregados na análise de suscetibilidade erosiva de determinadas regiões, como relatado em estudo sobre a bacia hidrográfica do Córrego Mutuca, em Nova Lima, Minas Gerais (SILVA; MACHADO, 2014). Os SIGs também possibilitam a realização de estudos que visem determinar a fragilidade ambiental de determinadas regiões, como descrito em trabalho realizado sobre o município de Pinhais, em Curitiba, Paraná (DONHA; SOUZA; SUGAMOSTO, 2006). Os SIGs são ferramentas úteis para estudos com o objetivo de identificar áreas suscetíveis à inundação, como relatado em trabalho realizado em João Pessoa, Paraíba (RAMOS et al., 2012).

2.4 ANÁLISE AMBIENTAL

A ligação existente entre a dinâmica dos fenômenos naturais adversos e a ocupação resultante da ação do ser humano ocasiona a manifestação das zonas de risco, onde podem ser encontrados desastres naturais capazes de proporcionar danos e perdas para a sociedade (TRENTIN; ROBAINA; SILVEIRA, 2013). A fragilidade ambiental é um aspecto importante para o planejamento ambiental, visto que é capaz de proporcionar uma melhor definição das diretrizes e ações a serem empregadas no espaço físico, auxiliando a gestão territorial (SPÖRL; ROSS, 2004).

Para a realização da análise ambiental de uma região é fundamental a existência do seu mapeamento, uma vez que este oferece informações para o planejamento e o gerenciamento da área (DE BARROS; DA SILVA; DE MOURA COSTA, 2016). Como geotecnologias capazes de auxiliar estes estudos, os mesmos autores citam os SIGs e o Sensoriamento Remoto. Essas ferramentas contribuem para a análise integrada das variáveis do meio físico e são consideradas essenciais para o manejo de recursos naturais e o planejamento ambiental (CORVALÁN; GARCIA, 2011).

Uma das técnicas utilizadas para tomada de decisões, que pode ser incorporada aos SIGs, é a análise multicritério (CORVALÁN; GARCIA, 2011). Esse método permite realizar uma avaliação por atribuição de pesos aos mapas temáticos

e notas às classes contidas nesses mapas, possibilitando a averiguação de quais possíveis variáveis mais influenciam a situação analisada, conforme estudos encontrados na literatura (FANTINEL; BENEDETTI, 2016a; FANTINEL; BENEDETTI, 2016b; SILVA; MACHADO, 2014).

As situações ambientais podem ser investigadas conjugando-se as variáveis convergentes consideradas em uma estrutura de análise de dados e, dentre as estruturações de raciocínio encontradas no geoprocessamento para a realização de levantamento e equacionamento das situações ambientais, são citadas a lógica booleana, a perspectiva bayesiana, as avaliações por média ponderada e a lógica nebulosa (XAVIER DA SILVA, 2001). A literatura apresenta estudos sobre análises ambientais realizadas considerando o procedimento de média ponderada (FANTINEL; BENEDETTI, 2016a; MARINO; XAVIER DA SILVA; QUINTANILHA, 2012).

Segundo Xavier da Silva (2001), a média ponderada pode representar a possibilidade de ocorrência de um evento ou entidade ambiental ocasionado pela atuação conjunta dos parâmetros ambientais analisados, e o somatório dos pesos pode ser demonstrado em um intervalo entre 0 e 1, de maneira que a soma desses pesos totalize 1. Ainda segundo o autor, os dados envolvidos na análise podem considerados em uma escala ordinal que oscile entre 0 e 10 ou 0 e 100.

2.5 INUNDAÇÕES

Inundações são consideradas desastres naturais de natureza hidrometeorológica que assolam comunidades pelo planeta (CARVALHO; MACEDO; OGURA, 2007). Para os autores, esses fenômenos pertencem a uma dinâmica natural e geralmente são ocasionados por chuvas, degelo em montanhas, eventos climáticos, e são intensificados por alterações ambientais e intervenções urbanas. A inundação acontece quando as águas provenientes de rios, riachos e galerias pluviais deslocam-se do leito de escoamento e invadem áreas habitadas utilizadas para diversas finalidades como moradia, transporte e comércio (TUCCI, 2003).

Enchentes ou inundações graduais são caracterizadas pela elevação das águas de modo paulatino e previsível, a situação de cheia permanece por certo tempo, e após, a água é escoada de forma gradual, com a onda de cheia sendo desenvolvida de montante para jusante (CASTRO, 2003). Segundo o mesmo autor, esse tipo de inundação geralmente é cíclico e reforçado por fatores climatológicos de médio e

longo prazo, além de estar mais associado a longos períodos de chuvas contínuas, e menos relacionado a chuvas concentradas.

Em épocas desses fenômenos, as vazões alcançam uma magnitude que supera a capacidade de descarga da calha do curso d'água, dessa forma proporcionando um extravasamento para áreas marginais (CARVALHO; MACEDO; OGURA, 2007). De acordo com os autores, essa área é chamadas de planície de inundação, várzea ou leito maior, enquanto que a vazão é considerada a quantidade de água que transita por uma determinada seção, em um canal de drenagem, por certo período.

Enxurradas ou inundações bruscas são ocasionadas por chuvas intensas e concentradas (CASTRO, 2003). Segundo o autor, esse tipo de inundação é caracterizado pela produção de súbitas e violentas elevações dos caudais, que são escoadas rápida e intensamente, provocando um desequilíbrio entre o leito do rio e o volume caudal.

Uma área de risco de enchente e inundação pode ser considerada como aquele terreno marginal a cursos d'água que está sujeito a sofrer um impacto pelos fenômenos de inundações (CARVALHO; MACEDO; OGURA, 2007). Para os autores, essas áreas são ocupadas por núcleos habitacionais sujeitos a danos e perdas. O RS é um estado onde a ocorrência de inundações já foi observada em alguns municípios, e esses fenômenos podem apresentar relações com rios como o Uruguai, Santa Maria, Vacacaí, Jacuí e Soturno (CASTILHO; GIOTTO, 2004; FANTINEL, 2018; RIGHI; ROBAINA et al., 2010; TRENTIN; ROBAINA; SILVEIRA, 2013).

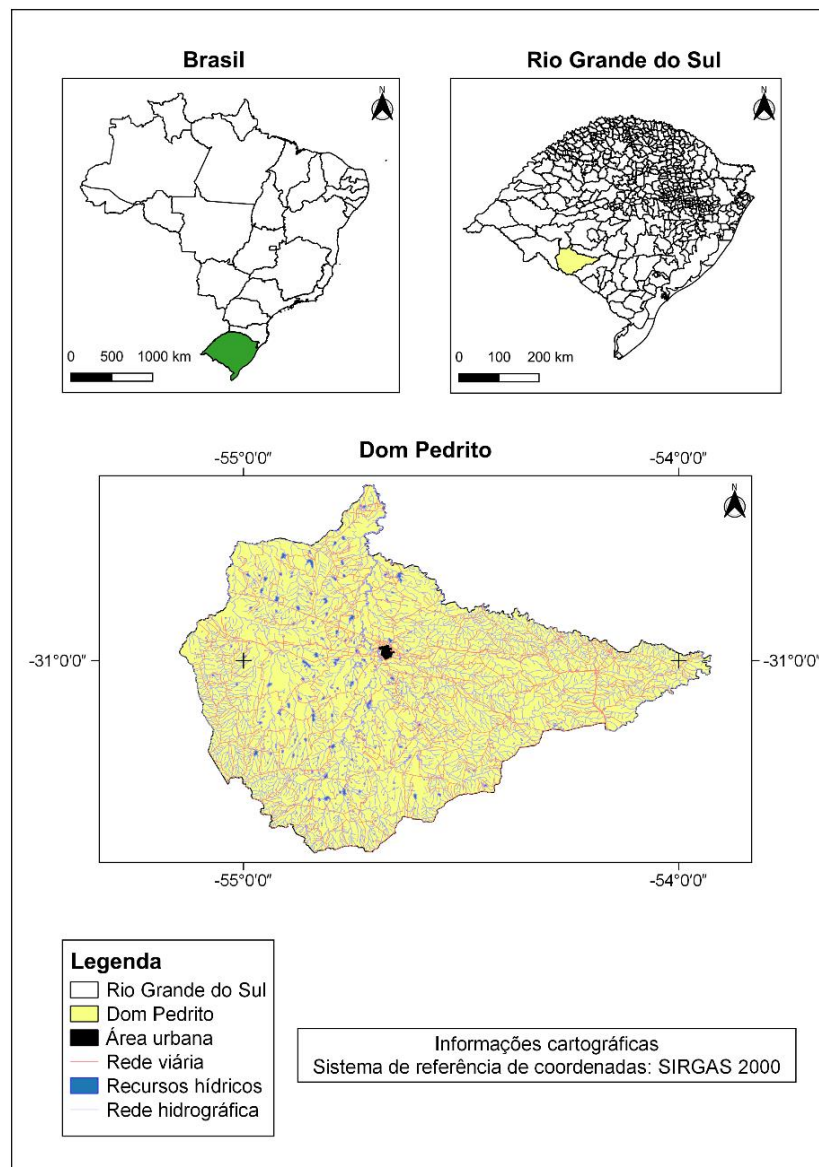
Outro tipo de fenômeno são as chamadas inundações litorâneas, geralmente caracterizadas como desastres secundários provocados pela abrupta invasão do mar, podendo esses fenômenos ser ocasionados por fatores como vendavais e tempestades marinhas (CASTRO, 2003). É importante que os trabalhos realizados em áreas com risco de inundações e enchentes procurem identificar e compreender os processos hidrológicos envolvidos, bem como suas consequências, tais como erosões e rupturas de taludes marginais ao rio, esses últimos também conhecidos como solapamentos (CARVALHO; MACEDO; OGURA, 2007).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O município de Dom Pedrito pertence ao estado do RS, Brasil (Figura 1). Conforme Wrege et al. (2012), Dom Pedrito apresenta uma precipitação pluviométrica média anual de 1.434,1 mm.

Figura 1 – Mapa de localização de Dom Pedrito, Rio Grande do Sul.



Fonte: Adaptado de: Hasenack e Weber (2010); Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística ([2019?b]).

3.2 MATERIAIS UTILIZADOS

Para a realização do trabalho foram adquiridos arquivos de malhas do estado do RS contendo os municípios, assim como das unidades da federação do ano de 2018. Também foram obtidos arquivos vetoriais (*shapefiles*) referentes a informações ambientais como geomorfologia e pedologia. Esses arquivos foram adquiridos na escala 1:250.000, nas folhas SH.21 e SH.22 do recorte da Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo. Estas posições foram selecionadas em razão de englobarem a área de estudo. Todos os arquivos foram adquiridos no *site* do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, [2019?b]).

Camadas vetoriais (*shapefiles*) de uma base cartográfica vetorial contínua do estado do RS na escala 1:50.000 foram obtidas no *site* do Laboratório de Geoprocessamento (LABGEO) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) (HASENACK; WEBER, 2010). O sistema de projeção de coordenadas selecionado foi o Universal Transversa de Mercator (UTM), e para os fusos 21 e 22 foram obtidas camadas vetoriais contendo as seguintes informações do RS: limite do estado; manchas urbanas; hidrografia do estado, em formatos de linhas e polígonos; sistema viário.

Seis bandas espectrais (B1-B6) de uma imagem de Dom Pedrito referente ao dia 25/05/2019 foram obtidas do catálogo do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais ([2019?a]). Estes arquivos *raster* foram gerados pelo sensor *Operational Land Imager* (OLI) do satélite *Landsat 8*, na órbita 223 e pontos 081 e 082. Os referidos pontos foram escolhidos em razão de compreenderem o município estudado.

Arquivos *raster* em formato GeoTiff do radar *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) referentes a altitudes de quatro quadrículas compatíveis com a articulação 1:250.000 foram obtidos do *site* do projeto Topodata (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, [2019?b]). Esses arquivos foram utilizados para a organização do mapa de clinografia e hipsometria de Dom Pedrito.

Os softwares utilizados para o desenvolvimento do presente estudo foram o QGIS (*Quantum Gis*) 2.18.16, o SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) e o Vista SAGA (Sistema de Análise Geoambiental). O primeiro é

fornecido pelo INPE, e o último é disponibilizado pelo LAGEOP (Laboratório de Geoprocessamento da Universidade Federal do Rio de Janeiro).

3.3 MÉTODOS APLICADOS

3.3.1 Análise da base cartográfica vetorial contínua de Dom Pedrito

Os *shapefiles* mencionados anteriormente, adquiridos no *site* do LABGEO (HASENACK; WEBER, 2010), foram analisados no software QGIS. Para isso, foi utilizada uma base do estado do RS, considerando o sistema de referência SIRGAS 2000, e o sistema de projeção UTM, dos fusos 21 e 22. As informações analisadas foram manchas urbanas, hidrografia em formatos de linhas e polígonos, sistema viário. Para cada uma dessas informações, os *shapefiles* de ambos os fusos foram mesclados e após, tiveram o município de Dom Pedrito recortado. Com o processamento de dados, foi possível calcular os comprimentos de rede viária, rede hidrográfica e curvas de nível, e as áreas de rede hidrográfica e manchas urbanas.

3.3.2 Organização dos mapas temáticos

O mapa de uso da terra de Dom Pedrito foi organizado no software SPRING, de acordo com procedimento relatado por Fantinel e Benedetti (2016a). Para isso, utilizou-se a imagem do município, mencionada anteriormente, em seis bandas espectrais, obtida do catálogo do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais ([2019a]). No software foi elaborado um banco de dados geográficos e a imagem foi utilizada para a aplicação de técnicas de realce por contraste linear, com o intuito de manipular as bandas e determinar as seguintes composições RGB (*Red, Green, Blue*): R4G3B2 (cores naturais); R5G4B3 e R6G5B4 (ambas falsa-cor). A partir destas composições, foi possível realizar a identificação dos alvos e a aquisição de 15 amostras de cada classe para a aplicação da classificação digital supervisionada por pixels, utilizando-se o algoritmo de Máxima Verossimilhança (MaxVer). As classes identificadas no mapa foram: recursos hídricos, agricultura, agricultura irrigada, campos, florestas e solo exposto (Tabela 1). Para a elaboração do referido mapa foi selecionado o sistema de referência SIRGAS 2000.

O mapa de clinografia ou declividade do município foi organizado no software QGIS, utilizando-se os arquivos *raster* de altitudes, mencionados anteriormente, obtidos do projeto Topodata (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, [2019?b]). Da imagem formada pelas quadrículas foi recortada a máscara de Dom Pedrito para execução da análise de Modelo Digital de Elevação (MDE). A classificação das classes ocorreu através do uso do algoritmo *r.recode*, segundo Palmieri et al. (1979), que descreve as seguintes classes de relevo: Plano (0 a 3%); Suave ondulado (3 a 8%); Ondulado (8 a 20%); Forte ondulado (20 a 45%); Montanhoso (45 a 75%); Escarpado (acima de 75%). Considerando esta classificação, foi possível constatar a presença de seis classes de declividade no mapa (Tabela 1). O mapa clinográfico foi elaborado considerando o sistema de referência SIRGAS 2000.

O mapa de hipsometria do município também foi organizado no QGIS, utilizando-se os arquivos *raster* de altitudes, previamente mencionados, obtidos do projeto Topodata (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, [2019?b]). Da imagem formada pelas quadrículas foi recortada a máscara do município para determinação da análise de MDE. A classificação das classes hipsométricas ocorreu utilizando-se o algoritmo *r.recode*. As classes consideradas foram: 1 a 100 metros; 100 a 200 metros; 200 a 300 metros; 300 a 400 metros; e 400 a 500 metros (Tabela 1). O mapa hipsométrico foi criado considerando o sistema de referência SIRGAS 2000.

Os mapas temáticos de geomorfologia e pedologia foram organizados no QGIS, com a utilização dos *shapefiles* já mencionados, adquiridos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística ([2019?b]). Para cada tema, formou-se um novo *shapefile*, a partir da mescla das duas cartas, que posteriormente foi utilizado para o recorte do município. Ambos os mapas foram criados considerando o sistema de referência SIRGAS 2000. As classes identificadas em cada mapa temático podem ser visualizadas na Tabela 1.

O mapa da hidrografia de Dom Pedrito também foi organizado no QGIS, onde foram criados *buffers* de distância fixa. Para a confecção do mapa, foram selecionadas cinco distâncias: 30, 50, 100, 200 e 500 metros. Essas distâncias foram escolhidas seguindo o Novo Código Florestal (Lei 12.651) (BRASIL, 2012). Para a criação dos *buffers*, foram utilizados os *shapefiles* contendo as informações hidrográficas do município, obtidos no *site* do LABGEO (HASENACK; WEBER, 2010).

3.3.3 Identificação de áreas suscetíveis à inundação em Dom Pedrito

Para a realização da análise, os mapas temáticos organizados anteriormente foram estabelecidos em uma mesma resolução de armazenamento e esses arquivos foram salvos em formato GeoTiff. A análise ambiental visando identificar as áreas suscetíveis à inundação no município foi realizada com o auxílio do software Vista SAGA. Nele foi possível converter cada arquivo dos mapas para um formato matricial *raster/saga* (*.Rs2). A avaliação ocorreu por meio da técnica de análise multicritério e média ponderada, de acordo com trabalho de Xavier da Silva (2001). Para a aplicação do método, foram designados pesos aos mapas temáticos de clinografia, hipsometria, geomorfologia, pedologia, uso da terra e rede hidrográfica de Dom Pedrito, bem como foram atribuídas notas às classes constituintes dos mapas (Tabela 1).

Tabela 1 – Atribuição de pesos aos mapas temáticos e notas às classes constituintes dos mapas de Dom Pedrito, Rio Grande do Sul.

(continua)

Mapa Temático	Peso (%)	Classe	Nota
Clinografia	22	0 a 3% (Plano)	10
		3 a 8% (Suave ondulado)	7
		8 a 20% (Ondulado)	5
		20 a 45% (Forte ondulado)	2
		45 a 75% (Montanhoso)	0
		Acima de 75% (Escarpado)	0
Hipsometria	9	1 a 100 metros	10
		100 a 200 metros	7
		200 a 300 metros	5
		300 a 400 metros	2
		400 a 500 metros	0

Tabela 1 – Atribuição de pesos aos mapas temáticos e notas às classes constituintes dos mapas de Dom Pedrito, Rio Grande do Sul.

(continuação)

Mapa Temático	Peso (%)	Classe	Nota
Geomorfologia	22	Depressão do Rio Ibicuí	7
		Planalto Rebaixado Sul Rio-Grandense	5
		Planaltos Residuais Sul Rio-Grandenses	2
		Planícies Alúvio-Coluvionares	10
		Recursos hídricos	10
		Área urbana	10
Pedologia	14	GXve – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico	10
		MEk – Chernossolo Ebânico Carbonático	5
		MEo – Chernossolo Ebânico Órtico	5
		PVAal – Argissolo Vermelho-Amarelo Alítico	7
		PVAd – Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico	7
		PVd – Argissolo Vermelho Distrófico	7
		RLd – Neossolo Litólico Distrófico	5
		RLdh – Neossolo Litólico Distro-Úmbrico	5
		RLe – Neossolo Litólico Eutrófico	5
		SXe – Planossolo Háplico Eutrófico	7
		SXk – Planossolo Háplico Carbonático	7
		TXo – Luvisolo Háplico Órtico	7
		Recursos hídricos	10
		Área urbana	10
Uso da Terra	11	Recursos hídricos	10
		Agricultura	5
		Agricultura irrigada	10
		Florestas	2
		Campo	5
		Solo exposto	7

Tabela 1 – Atribuição de pesos aos mapas temáticos e notas às classes constituintes dos mapas de Dom Pedrito, Rio Grande do Sul.

(conclusão)

Mapa Temático	Peso (%)	Classe	Nota
		30 metros	10
		50 metros	7
<i>Buffers</i> de hidrografia	22	100 metros	5
		200 metros	2
		500 metros	0

Fonte: O autor (2020).

Para a obtenção dos valores de pesos, o método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) foi aplicado sobre os mapas temáticos no QGIS (Tabela 2). Os critérios de intensidade de importância foram adotados seguindo a literatura, onde a intensidade 1 é definida como de igual importância, e intensidade 2 é definida como fraca ou leve (SAATY, 2008). Durante a análise, foi obtido um CR (*Consistency Ratio*) de 0,022. Os valores de pesos gerados para cada mapa temático podem ser visualizados na Tabela 1. No presente trabalho, o somatório dos pesos dos mapas temáticos totalizou 100%, enquanto que as notas das classes contidas nos mapas oscilaram de 1 (menos influentes) a 10 (mais influentes).

A análise realizada no Vista SAGA possibilitou combinações entre as classes constituintes dos mapas temáticos, e a partir disto, um novo mapa foi gerado com notas de 2 a 10. Estas foram agrupadas para a formação de níveis de risco de inundação. A nota 2 representou o nível de baixíssimo risco. As notas 3 e 4 formaram o nível de baixo risco. As notas 5 e 6 constituíram o nível de médio risco. As notas 7 e 8 representaram o nível de alto risco, enquanto que as notas de 9 a 10 formaram o nível de altíssimo risco. O mapa de análise de risco de inundação em Dom Pedrito foi gerado em representação sem escala.

Tabela 2 – Atribuição de valores de intensidade de importância para o método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) dos mapas temáticos do município de Dom Pedrito, Rio Grande do Sul.

Mapas	Hidrogra fia	Clinogra fia	Hipsomet ria	Pedolo gia	Geomorf ologia	Uso da Terra
Hidrografia	1	1	2	2	1	2
Clinografia	1	1	2	2	1	2
Hipsometria	0,5	0,5	1	0,5	0,5	0,5
Pedologia	0,5	0,5	2	1	0,5	2
Geomorfo logia	1	1	2	2	1	2
Uso da Terra	0,5	0,5	2	0,5	0,5	1

Fonte: O autor (2020).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente trabalho busca analisar as características físicas e ambientais de Dom Pedrito e identificar as áreas suscetíveis a inundações. Para a realização do presente estudo, optou-se por utilizar a base cartográfica vetorial do RS na escala 1:50.000 disponibilizada no *site* do LABGEO da UFRGS (HASENACK; WEBER, 2010). Na Tabela 3 é possível visualizar os valores dos comprimentos das redes viária e hidrográfica, bem como das áreas da rede hidrográfica e manchas urbanas do município.

Tabela 3 – Comprimentos das redes viária e hidrográfica, e áreas da rede hidrográfica e manchas urbanas do município de Dom Pedrito, Rio Grande do Sul.

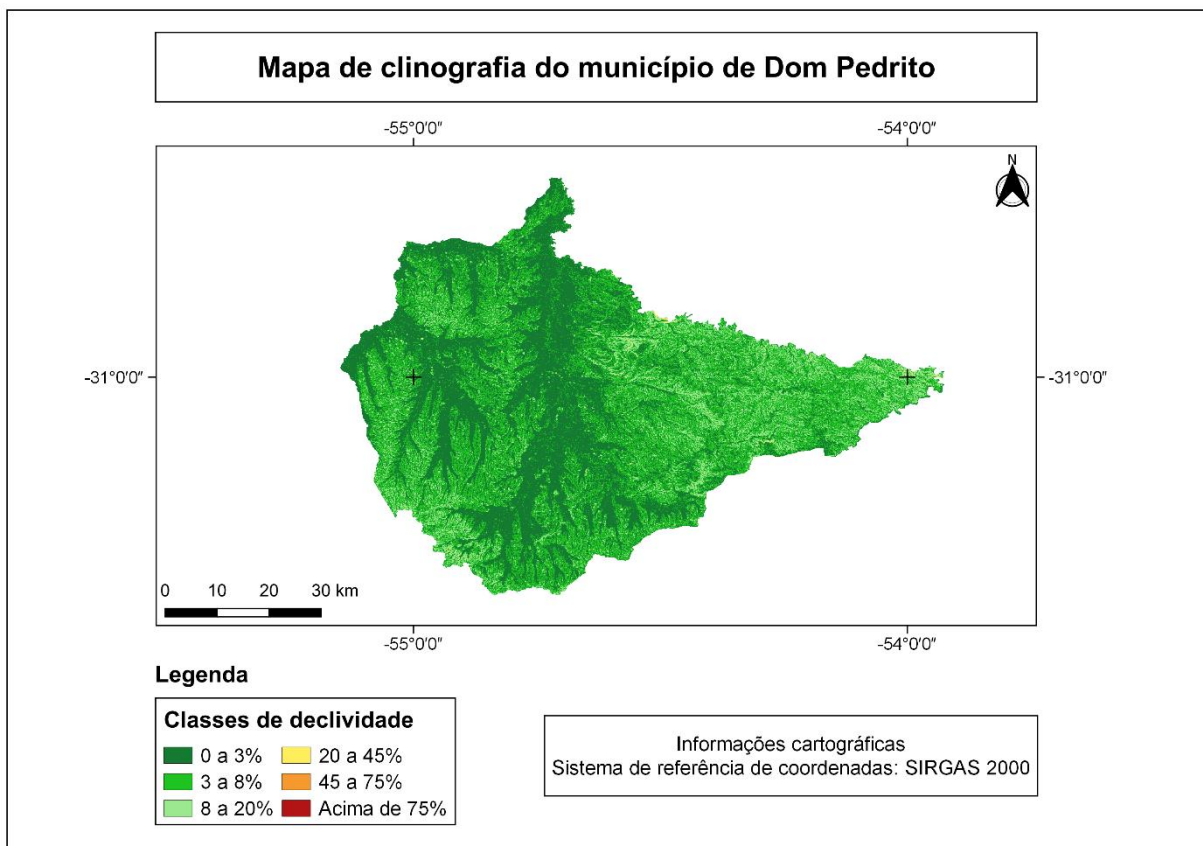
Informação	Atributo	Valor
Comprimento da rede viária	Aeroporto	1,53 km
	Caminho/trilha	1.717,53 km
	Estrada Estadual sem pavimentação	22,19 km
	Estrada Federal pavimentada	35,26 km
	Estrada Federal sem pavimentação	44,96 km
	Estrada Municipal sem pavimentação	635,28 km
	Ferrovia	137,92 km
	Rua	75,87 km
	Total	2.669,54 km
Comprimento da rede hidrográfica	Perene	2.658,42 km
	Intermitente	3.945,41 km
	Total	6.603,83 km
Área da rede hidrográfica	Perene	5.166,54 ha
	Intermitente	248,57 ha
	Total	5.415,11 ha
Área das manchas urbanas	Manchas urbanas	564,46 ha

Fonte: Adaptado de Hasenack e Weber (2010).

No mapa de clinografia de Dom Pedrito pode-se observar um destaque da classe de 3 a 8% de declividade, presente em diversas regiões do município (Figura 2). O relevo suave ondulado apresenta declives suaves, colinas e/ou outeiros (PALMIERI et al., 1979).

Outra classe destacada no mapa foi a de 0 a 3% de declividade, concentrada principalmente nas regiões central e oeste do município, estendendo-se de norte a sul. O relevo plano apresenta superfície de topografia horizontal com desnivelamentos muito pequenos (PALMIERI et al., 1979). Locais planos demonstram maior possibilidade de ocorrência de inundação, em comparação com locais escarpados (MAGALHÃES et al., 2011).

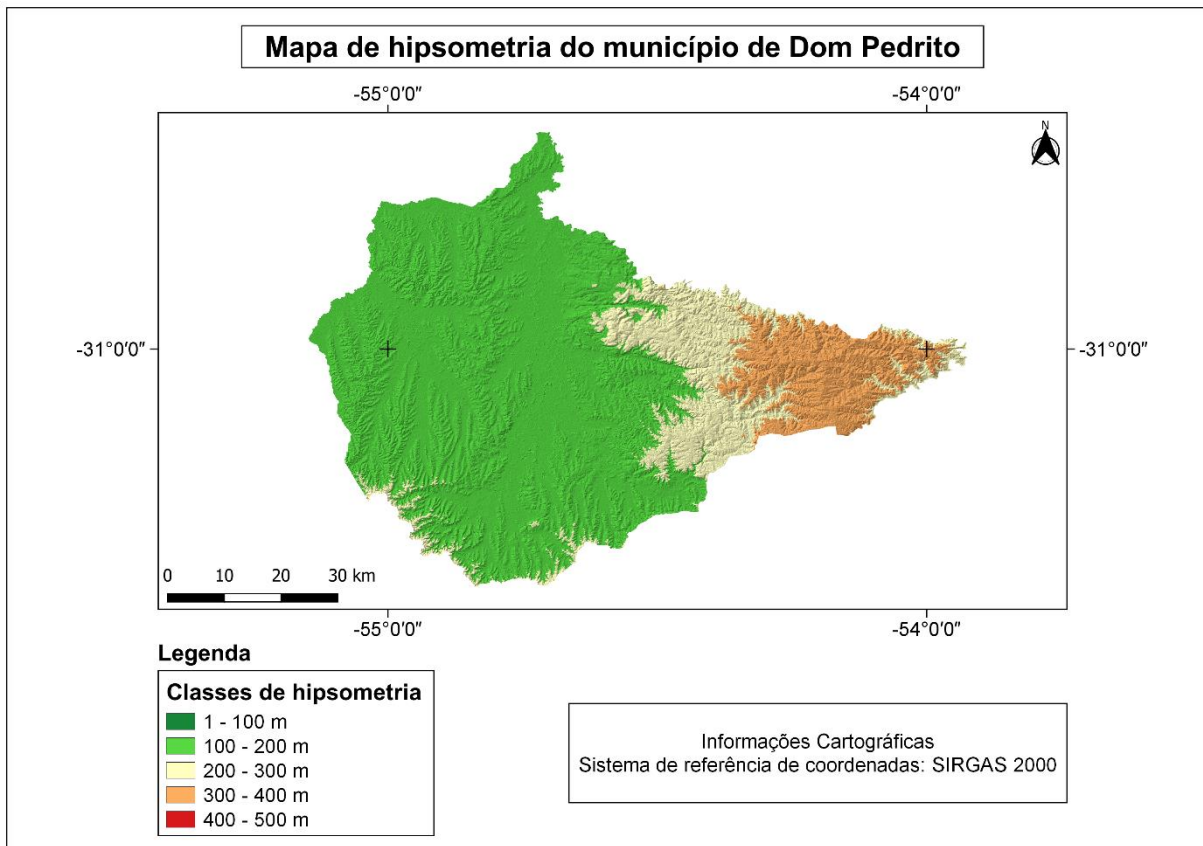
Figura 2 – Mapa de clinografia de Dom Pedrito, Rio Grande do Sul.



Fonte: Adaptado de Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais ([2019?b]).

No mapa de hipsometria é possível visualizar uma predominância da classe de 100 a 200 metros, nas regiões centro e oeste do município, estendendo-se de norte a sul (Figura 3). Quanto mais elevada for a altitude, menor será a possibilidade de ocorrência de inundação, uma vez que a água será direcionada para áreas mais baixas em razão da ação da lei da gravidade (MAGALHÃES et al., 2011).

Figura 3 – Mapa de hipsometria de Dom Pedrito, Rio Grande do Sul.



Fonte: Adaptado de Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais ([2019?b]).

O mapa de geomorfologia de Dom Pedrito demonstra a classe Depressão do Rio Ibicuí como a majoritária, principalmente da região central ao oeste do município, estendendo-se de norte a sul (Figura 4). A classe representa uma área de 220.965,9 hectares (Tabela 4). A Depressão do Ibicuí apresenta processos geomorfológicos sob o controle da drenagem do Rio Ibicuí e afluentes, agindo sobre um substrato de rochas sedimentares onde ocorre a predominância de arenitos (ROBAINA et al., 2010).

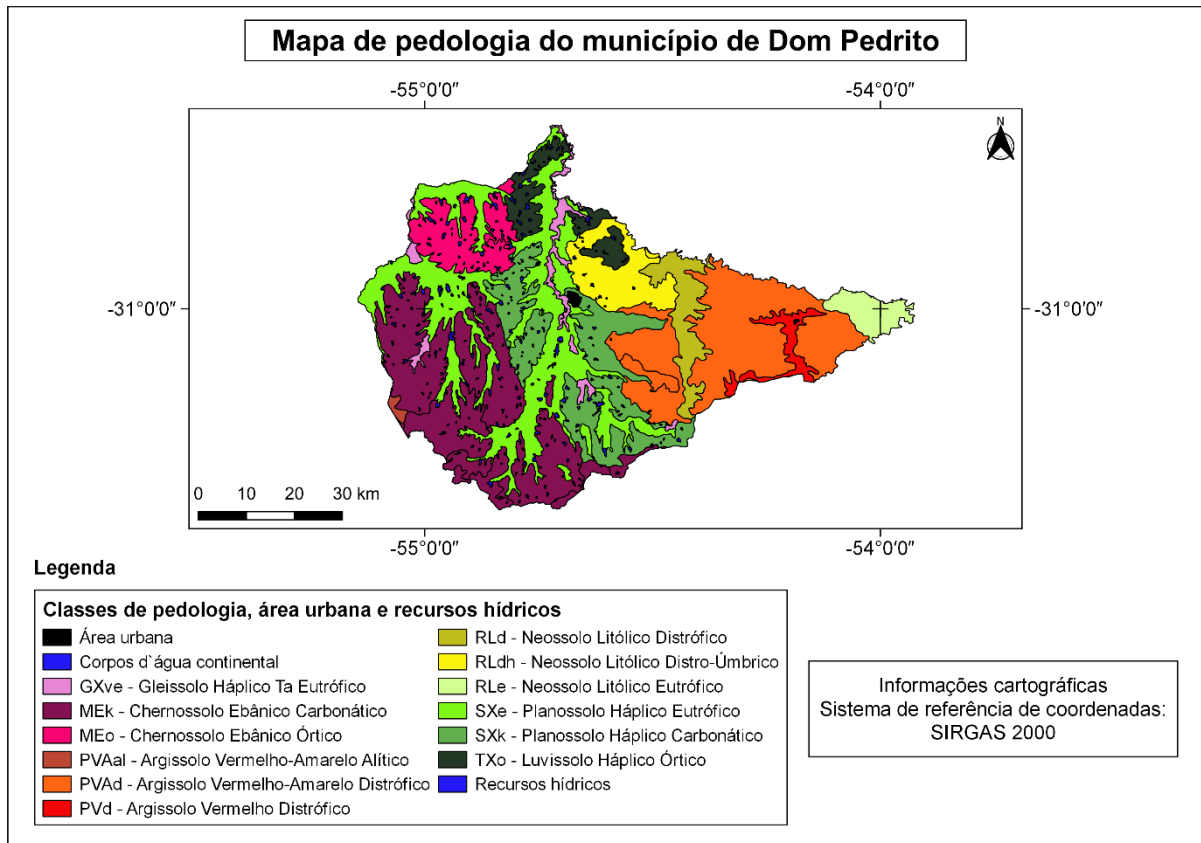
Tabela 4 – Áreas das classes de geomorfologia, pedologia e uso da terra de Dom Pedrito, Rio Grande do Sul.

Mapa Temático	Classe	Área (hectares)
Geomorfologia	Depressão do Rio Ibicuí	220.965,9
	Planalto Rebaixado Sul Rio-Grandense	100.644,2
	Planaltos Residuais Sul Rio-Grandenses	70.825,1
	Planícies Alúvio-Coluvionares	118.929,5
Pedologia	GXve – Gleissolo Háptico Ta Eutrófico	11.658,6
	MEk – Chernossolo Ebânico Carbonático	112.828,0
	MEo – Chernossolo Ebânico Órtico	29.385,1
	PVAal – Argissolo Vermelho-Amarelo Alítico	1.313,4
	PVAd – Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico	97.279,1
	PVd – Argissolo Vermelho Distrófico	9.016,9
	RLd – Neossolo Litólico Distrófico	20.753,4
	RLdh – Neossolo Litólico Distro-Úmbrico	27.399,3
	RLe – Neossolo Litólico Eutrófico	12.577,1
	SXe – Planossolo Háptico Eutrófico	107.270,9
SXk – Planossolo Háptico Carbonático	61.894,5	
	TXo – Luvissole Háptico Órtico	19.987,8
Uso da Terra	Recursos hídricos	13.668,0
	Agricultura	67.210,1
	Agricultura irrigada	46.665,8
	Florestas	22.530,6
	Campo	223.873,5
	Solo exposto	145.473,6

Fonte: Adaptado de: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística ([2019?b]); Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais ([2019?a]).

se principalmente na região central do município (Figura 5). Os Planossolos são grupos de solos minerais imperfeitamente ou mal drenados, e costumam ocorrer em regiões de relevo plano ou suave ondulado (SANTOS et al., 2013).

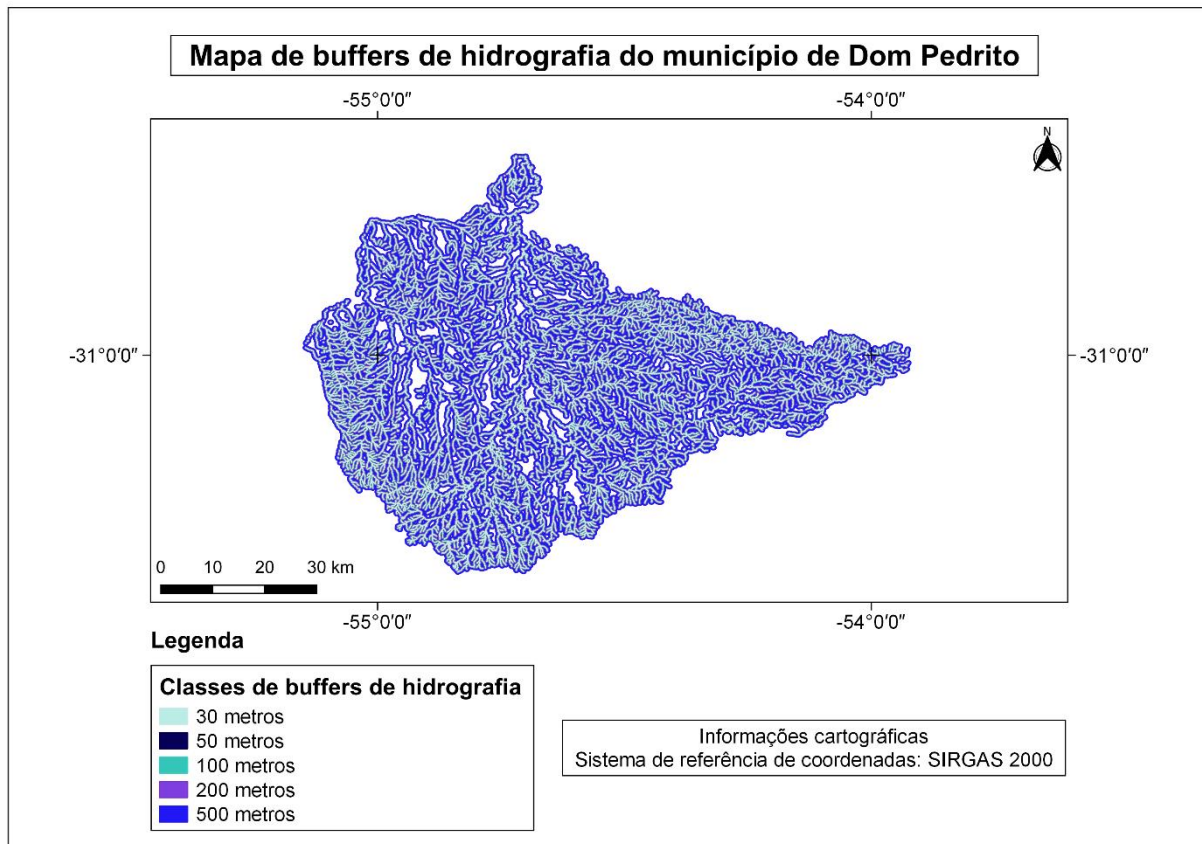
Figura 5 – Mapa de pedologia de Dom Pedrito, Rio Grande do Sul.



Fonte: Adaptado de Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística ([2019?b]).

No mapa de uso da terra de Dom Pedrito foi possível identificar as classes de recursos hídricos, agricultura, agricultura irrigada, florestas, campo e solo exposto (Figura 6). Dentre essas, a classe majoritária detectada foi o campo representando uma área de 223.873,5 hectares, enquanto que a classe minoritária foi a de recursos hídricos, representando 13.668,0 hectares. Segundo Magalhães et al. (2011), áreas com impermeabilidade mais elevada são mais propensas ao acúmulo de água na superfície, em comparação com solos que apresentem cobertura florestal.

Figura 7 – Mapa de *buffers* de hidrografia de Dom Pedrito, Rio Grande do Sul.



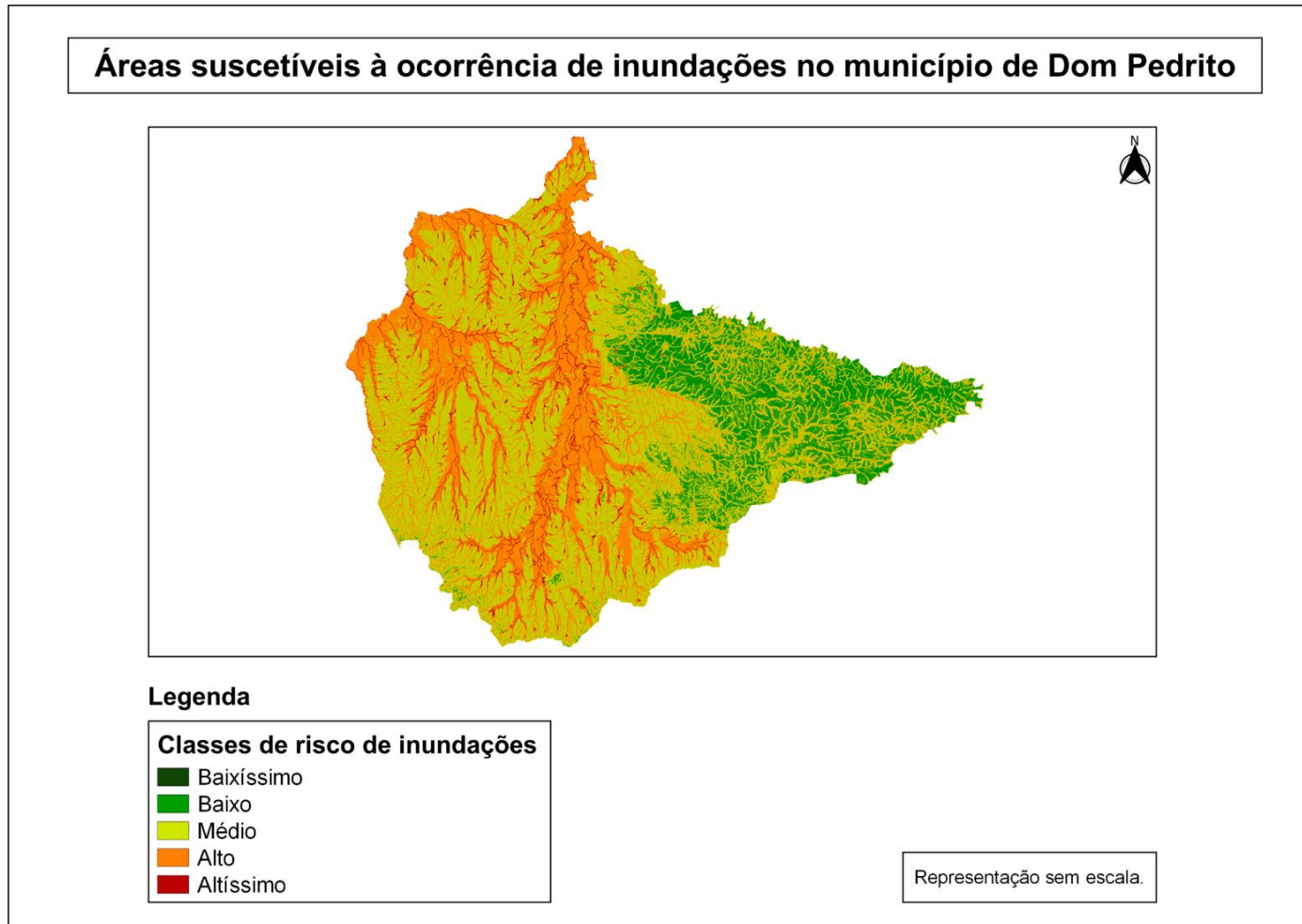
Fonte: Adaptado de: Hasenack e Weber (2010).

No mapa de análise de risco de inundação observa-se que o nível majoritário foi a de médio risco, presente em diversas regiões de Dom Pedrito, representando uma área de 275.206,23 ha (Figura 8). Os segundo e terceiro níveis mais abrangentes foram os de alto risco e baixo risco, demonstrando áreas de 147.830,9 ha e 72.697,32 ha, respectivamente. Altíssimo risco representou 13.751,28 ha do município, enquanto que baixíssimo risco constituiu 51,93 ha.

No mesmo mapa, observa-se que as classes de alto e altíssimo risco de inundações aparecem principalmente nas regiões oeste e central do município, estendendo-se de norte a sul. Por meio da análise visual dos mapas temáticos, detecta-se que estas classes também ocorrem na área urbana de Dom Pedrito. Existem relatos de ocorrências de inundações graduais e bruscas no município (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2017). As inundações são responsáveis por desastres no Brasil, e a falta de uma política de monitoramento

e controle, incluindo informações como o conhecimento das áreas passíveis à inundação, eleva os prejuízos nas cidades (DA HORA; GOMES, 2009). No presente estudo foi possível detectar as áreas mais suscetíveis à inundação em Dom Pedrito. Desta forma, espera-se que os resultados obtidos auxiliem futuros estudos que objetivem controlar as inundações e minimizar os possíveis danos causados por estes fenômenos.

Figura 8 – Áreas suscetíveis à ocorrência de inundações em Dom Pedrito, Rio Grande do Sul.



Fonte: O autor (2020).

5 CONCLUSÃO

A organização dos mapas temáticos de Dom Pedrito proporcionou a identificação das classes predominantes em cada mapa. Por meio da análise do mapa de clinografia, foi possível detectar 3 a 8% de declividade como classe majoritária. Pela análise do mapa de hipsometria, observou-se a classe 100 a 200 metros como predominante. A classe dominante observada no mapa de geomorfologia foi a Depressão do Rio Ibicuí. No mapa de pedologia, identificou-se Chernossolo Ebânico Carbonático como classe majoritária, enquanto que, pela a análise do mapa de uso da terra, verificou-se o campo como classe predominante.

Os mapas temáticos organizados possibilitaram a realização da análise ambiental com o intuito de detectar as áreas do município suscetíveis à ocorrência de inundações. A partir da referida análise, verificou-se a dominância da classe de médio risco de inundação. As classes de alto e altíssimo risco de inundação foram detectadas em regiões no mapa, como na área urbana de Dom Pedrito. Os resultados encontrados no presente estudo demonstraram a capacidade da utilização do Geoprocessamento em oportunizar informações ambientais referentes ao município. As informações obtidas poderão ser consideradas em futuros estudos que envolvam inundações em Dom Pedrito.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, R. G. et al. Geotecnologias aplicadas à avaliação de parâmetros biofísicos do Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 9, p.1227-1234, 2012.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 25 maio 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm>. Acesso em: 08 set. 2019.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. Introdução. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Org.). **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos, SP: INPE, 2001. cap. 1, p. 2-6.

CARVALHO, C. S.; MACEDO, E. S. de; OGURA, A. T. (Org.). **Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios**. Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007. 176 p.

CASTILHO, J. L. de S.; GIOTTO, E. Aplicação de Técnicas de Geoprocessamento na Definição da Interferência da Área de Risco em Área de Uso urbano - Estudo de Caso: Dom Pedrito RS In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITARIO, 2004, Florianópolis/SC. **Anais...** Florianópolis/SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 2004. p. 1-7.

CASTRO, A. L. C. de. **Manual de desastres: desastres naturais**. 1. vol. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2003. 174 p.

CORVALÁN, S. B.; GARCIA, G. J. Avaliação ambiental da APA Corumbataí segundo critérios de erodibilidade do solo e cobertura vegetal. **Geociências**, São Paulo, v. 30, n. 2, p. 269-283, 2011.

DA HORA, S. B.; GOMES, R. L. Mapeamento e avaliação do risco a inundação do Rio Cachoeira em trecho da área urbana do Município de Itabuna/BA. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 21, n. 2, 57-75, 2009.

DAVIS, C; CÂMARA, G. Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Org.). **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos, SP: INPE, 2001. cap. 3, p. 42-76.

DE BARROS, A. C.; DA SILVA, T. J.; DE MOURA COSTA, D. Sensoriamento remoto na análise ambiental da microbacia do Córrego da Água Amarela, Itaberá/SP. **Holos Environment**, v. 16, n. 1, p. 27-35, 2016.

DE LIMA FERNANDES, E. F.; DA ANUNCIAÇÃO, V. S.; DA SILVA, J. F. Vulnerabilidade socioespacial na planície de inundação na cidade de Aquidauana/MS–Brasil. **Territorium**, n. 22, p.177-194, 2015.

DONHA, A. G.; SOUZA, L. D. de P.; SUGAMOSTO, M. L. Determinação da fragilidade ambiental utilizando técnicas de suporte à decisão e SIG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n.1, p.175-181, 2006.

FANTINEL, R. A. **Susceptibilidade à ocorrência de inundações no município de Dona Francisca–RS**: uso de média ponderada e geoprocessamento para análise ambiental. 2018. 66 f. Monografia (Especialização em Geomática)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018.

FANTINEL, R. A.; BENEDETTI, A. C. P. Análise ambiental para identificação de áreas com potencial de exploração no município de Piratini, RS. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 68/2, p. 407-420, 2016b.

FANTINEL, R. A.; BENEDETTI, A. C. P. Avaliação dos fatores influentes na vulnerabilidade à erosão do solo por meio de decisão multicritério e de técnicas de geoprocessamento no município de Piratini-RS. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 38, n. 1, p.156-163, 2016a.

FLORENZANO, T. G. Geotecnologias na geografia aplicada: difusão e acesso. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 17, p. 24-29, 2005.

FORGIARINI, F. R.; SILVEIRA, G. L. da.; CRUZ, J. C. Gestão dos recursos hídricos e cobrança pelo uso da Água: Visão da sociedade da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria/RS. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 12, n. 2, p.123-133, 2007.

GRIPP JUNIOR, J. et al. Aplicação da geotecnologia no estudo de cadastro técnico rural e no mapeamento de áreas de preservação permanente e reservas legais. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 4, p. 459-468, 2010.

HASENACK, H.; WEBER, E. (Org.). **Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - escala 1:50.000**. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia, 2010. Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/labgeo/index.php/downloads/220-dados-espaciais>>. Acesso em: 31 jul. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Dom Pedrito**. [2019? a]. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/dom-pedrito/panorama>>. Acesso em: 12 nov. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Dom Pedrito**: Extração vegetal e Silvicultura. 2018a. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/dom-pedrito/pesquisa/16/12705?indicador=12880&ano=2018>>. Acesso em: 12 nov. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Dom Pedrito:** MUNIC - Perfil dos Municípios Brasileiros. 2017. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/dom-pedrito/pesquisa/1/21682?ano=2017>>. Acesso em: 12 nov. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Dom Pedrito:** Pecuária. 2018b. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/dom-pedrito/pesquisa/18/16459>>. Acesso em: 12 nov. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Dom Pedrito:** Produção agrícola - Cereais, leguminosas e oleaginosas. 2007. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/dom-pedrito/pesquisa/31/29644>>. Acesso em: 12 nov. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Dom Pedrito:** Produção Agrícola - Lavoura Permanente. 2018c. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/dom-pedrito/pesquisa/15/11863>>. Acesso em: 12 nov. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Dom Pedrito:** Produção Agrícola - Lavoura Temporária. 2018d. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/dom-pedrito/pesquisa/14/10193>>. Acesso em: 12 nov. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Downloads.** [2019?b]. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>>. Acesso em: 19 jul. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Catálogo de Imagens.** [2019?a]. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: 31 jul. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Topodata:** Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil. [2019?b]. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>>. Acesso em: 31 jul. 2019.

LEITE, M. E.; ROSA, R. Geografia e geotecnologias no estudo urbano. **Caminhos de Geografia**, v. 17, n. 17, p. 180-186, 2006.

MAGALHÃES, I. A. L. et al. Uso de geotecnologias para mapeamento de áreas de risco de inundação em Guaçuí, ES: uma análise comparativa entre dois métodos. **Cadernos de Geociências**, v. 8, n. 2, p. 63-70, 2011.

MARINO, T. B.; XAVIER DA SILVA, J.; QUINTANILHA, J. A. Metodologia para tomada de decisão no âmbito de riscos sócio-ambientais em áreas urbanas: desmoronamentos e enchentes em assentamentos precários na Bacia do Córrego Cabuçu de Baixo-SP. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 64/1, p. 83-101, 2012.

NOERNBERG, M. A. et al. Banco de dados sobre praias do estado do Paraná. **Boletim Paranaense de Geociências**, n. 60-61, p. 89-96, 2007.

PALMIERI, F. et al. (Org.). **Súmula da X Reunião Técnica de Levantamento de Solos:** (SNLCS. Série Micelânea, 1). Rio de Janeiro: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 1979. 83 p.

PAZ, V. P. da S.; TEODORO, R. E. F.; MENDONÇA, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 465-473, 2000.

PINTO, M. S.; CAMARGO, P. de O.; MONICO, J. F. G. Influência da combinação de dados GPS e GLONASS no georreferenciamento de imóveis rurais. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 19, n. 1, p. 135-151, 2013.

PIROLI, E. L. **Introdução ao geoprocessamento**. Ourinhos: UNESP/Campus Experimental de Ourinhos, 2010. 46 p.

POLIDORO, M.; BARROS, M. V. F. Proposta metodológica de desenvolvimento de sistema de informações geográficas em ambiente web (webGIS) aplicado ao turismo. **Ar@cne Revista Electrónica de Recursos en Internet sobre Geografía y Ciencias Sociales**, n. 133, p. 1-12, 2010.

RAMOS, Y. S. et al. Integração Geoprocessamento/SIG para identificação de áreas susceptíveis à inundação. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 5, p. 91-95, 2012.

RIGHI, E.; ROBAINA, L. E. de S. Enchentes do Rio Uruguai no Rio Grande do Sul entre 1980 e 2005: uma análise geográfica. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 22, n. 1, p. 35-54, 2010.

ROBAINA, L. E. de S. et al. Compartimentação geomorfológica da bacia hidrográfica do Ibicuí, Rio Grande do Sul, Brasil: proposta de classificação. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 11, n. 2, p. 11-23, 2010.

RODRIGUES, A.; FACHEL, J. M. G.; PASSUELLO, A. C. Estatística espacial e análise de cluster em dados de desastres naturais: mapeamento das inundações no Rio Grande do Sul entre 2003 e 2009. **Revista de Iniciação Científica**, Criciúma, v. 10, n. 1, p. 48-67, 2012.

ROSA, R. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 16, p. 81-90, 2005.

ROSA, R. **Introdução ao geoprocessamento**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2013. 142 p.

SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. **International Journal of Services Sciences**, v. 1, n. 1, p. 83-98, 2008.

SALAMUNI, E.; STELLFELD, M. C. Banco de dados geológicos geo-referenciados da Bacia Sedimentar de Curitiba (PR) como base de sistema de informação geográfica (SIG). **Boletim Paranaense de Geociências**, n. 49, p. 21-31, 2001.

SANTOS, D. de S.; FANTINEL, R. A.; BENEDETTI, A. C. P. Uso do geoprocessamento na determinação de áreas potenciais para fins agropecuários, no município de Cachoeira do Sul – RS. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 10, n. 1, p. 94-104, 2018.

SANTOS, H. G. dos. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília, DF: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2013. 353 p.

SCARIOT, É. M. et al. O uso de geotecnologias na elaboração de mapas de ruído. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 17, n. 1, p. 51-60, 2012.

SILVA, M. T. G.; LACERDA, M. P. C.; CHAVES, A. A. A. Geotecnologia aplicada na avaliação do uso das terras da microbacia do Ribeirão João Leite, Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 4, p. 330-337, 2009.

SILVA, V. C. B.; MACHADO, P. de S. SIG na análise ambiental: susceptibilidade erosiva da bacia hidrográfica do córrego Mutuca, Nova Lima–Minas Gerais. **Revista de Geografia (UFPE)**, v. 31, n. 2, p. 66-87, 2014.

SOUZA, J. R. de. et al. A importância da qualidade da água e os seus múltiplos usos: caso Rio Almada, sul da Bahia, Brasil. **REDE-Revista Eletrônica do Prodem**, Fortaleza, v. 8, n. 1, p. 26-45, 2014.

SPÖRL, C.; ROSS, J. L. S. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **GEOUSP-Espaço e Tempo**, São Paulo, n. 15, p.39-49, 2004.

TRENTIN, R., ROBAINA, L. E. de 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.

TUCCI, C. E. M. Inundações e drenagem urbana. In: TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. (Org.). **Inundações urbanas na América do Sul**. 1. ed. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003. cap. 3, p. 45-150.

VETTORAZZI, C. A. Técnicas de geoprocessamento no monitoramento de áreas florestadas. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 10, n. 29, p. 45-51, 1996.

WREGGE, M. S. et al. (Editor). **Atlas climático da região sul do Brasil**: estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. 2. ed. Brasília, DF: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2012. 335 p.

XAVIER DA SILVA, J. **Geoprocessamento para análise ambiental**. Rio de Janeiro, 2001. Disponível em: <<http://www.viconsaga.com.br/lageop/>>. Acesso em: 08 fev. 2020.