

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA - CAMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO SUPERIOR DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

EDLAINE DOS SANTOS DIAS

**ANÁLISE DO MAPA DE SUSCETIBILIDADE VERSUS IMPACTOS REAIS DA
ENXURRADA DE 2020 EM PRESIDENTE GETÚLIO/SC.**

FLORIANÓPOLIS, 2021.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA - CAMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO SUPERIOR DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

EDLAINE DOS SANTOS DIAS

**ANÁLISE DO MAPA DE SUSCETIBILIDADE VERSUS IMPACTOS REAIS DA
ENXURRADA DE 2020 EM PRESIDENTE GETÚLIO/SC.**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de Santa
Catarina como parte dos requisitos para
obtenção do título de Engenheira Civil.

Orientadora: Dra. Fernanda Simoni
Schuch

FLORIANÓPOLIS, 2021.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

DIAS, EDLAINE DOS SANTOS
ANÁLISE DO MAPA DE SUSCETIBILIDADE VERSUS IMPACTOS
REAIS DA ENXURRADA DE 2020 EM PRESIDENTE GETÚLIO/SC
/EDLAINE DOS SANTOS DIAS; orientação de Fernanda Simoni
Schuch. – Florianópolis, SC, 2021.

114 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – Instituto Federal
de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado
em Engenharia Civil. Departamento Acadêmico
de Construção Civil.

Inclui Referências.

1. Presidente Getúlio. 2. Mapa de suscetibilidade. 3.
Uso e ocupação do solo. 4. Área de risco. 5. Desastres
naturais. I. Schuch, Fernanda Simoni. II. Instituto
Federal de Santa Catarina. Departamento Acadêmico de
Construção Civil. III. Título.

ANÁLISE DO MAPA DE SUSCETIBILIDADE VERSUS IMPACTOS REAIS DA ENXURRADA DE 2020 EM PRESIDENTE GETÚLIO/SC

EDLAINE DOS SANTOS DIAS

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheira Civil e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 2021

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 Fernanda Simoni Schuch
Data: 07/10/2021 17:05:06-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Profa. Fernanda Simoni Schuch, Dra Orientadora
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Santa Catarina



Profa. Emanuele Teles Ouriques de Mello, Dra.
Faculdade de Tecnologia Nova Palhoça

Documento assinado digitalmente
 elodio.sebem
Data: 22/10/2021 14:57:03-0300
CPF: 752.900.570-72

Prof. Elódio Seben, Dr.
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Santa Catarina

Documento assinado digitalmente
 Fabio Krueger da Silva
Data: 07/10/2021 19:17:36-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Fábio Krueger da Silva, Dr.
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Santa Catarina

RESUMO

Nas últimas décadas o crescente aumento da urbanização e de ações antrópicas sobre o uso do solo tem resultado em inúmeros casos de desastres por movimentos de massa no Brasil. Com isso, o termo “desastres naturais” tem sido comumente abordado, devido à frequência e os prejuízos resultantes de tais eventos. Em todos os anos, durante os períodos de chuva, veiculam dados ocorridos de enchente e deslizamento em diversos noticiários, produzindo prejuízos e mortes em diversos municípios brasileiros. O Estado de Santa Catarina e sua população, ao longo de sua história, têm sido significativamente afetados por desastres naturais relacionados a movimentos de massas os quais ocasionam mortes e prejuízos, como a destruição de casas, lavouras, rodovias, danos à fauna e à flora. No final do ano de 2020, as cidades de Ibirama, Presidente Getúlio e Rio do Sul, localizadas na mesorregião do Alto Vale do Itajaí, foram fortemente surpreendidas pela deflagração de um movimento de massa de grande magnitude a qual resultou na destruição de 80 residências, deixou 100 pessoas desalojadas, 172 desabrigados e 21 óbitos. Dada a relevância deste tema para a sociedade e, para a engenharia civil, cuja capacidade de reconstrução deve servir de apoio e suporte aos governos e populações, realizou-se neste trabalho, uma retroanálise do evento ocorrido em 2020 no município de Presidente Getúlio/SC, o mais afetado da região. A pesquisa teve o intuito de compreender e quantificar os processos que levaram ao desastre natural, analisando-se o mapa de suscetibilidade de Presidente Getúlio/SC e relacionando-o com os impactos da enxurrada sobre a área atingida. Para tal, fez-se um levantamento bibliográfico e documental para compreender e quantificar os impactos causados pela enxurrada na superfície da área de estudo, através do mapeamento do uso do solo por imagens de satélite, relacionando-o com a geomorfologia e com as áreas de suscetibilidade já mapeadas. Através dos mapas gerados e suas sobreposições com o auxílio do software QGIS, foi possível concluir que as regiões de ocorrência de escorregamentos no evento de 16 de dezembro de 2020 foram relatadas previamente como áreas suscetíveis pelo CPRM.

Palavras-chave: Presidente Getúlio, Mapa de suscetibilidade, Uso e ocupação do solo, Área de risco, Desastres naturais.

ABSTRACT

In recent decades the increasing urbanization and anthropic actions on land use and slope have resulted in numerous cases of disasters in the country. With this, the term "natural disasters" has been commonly addressed, due to the frequency and the resulting damage of such events. Every year, during rainy periods, floods and landslides are shown in several news reports, producing damages and deaths in several Brazilian cities. The state of Santa Catarina and its population, throughout its history, have been significantly affected by natural disasters related to mass movements that have caused various damages, such as the destruction of houses, crops, roads, damage to the fauna and flora, and in some cases, the death of people. At the end of 2020, the cities of Ibirama, Presidente Getúlio and Rio do Sul, which are located in the mesoregion of Alto Vale do Itajaí, were strongly surprised by the outbreak of a mass movement of great magnitude that resulted in the destruction of at least 80 homes, leaving 100 people displaced, 172 homeless, and 21 deaths. Given the relevance of this theme for society and for civil engineering, whose reconstruction capacity should serve as support to governments and populations, this paper proposes to conduct a retro analysis of the event that occurred in the city of Presidente Getúlio/SC, which was the most affected. In order to understand and quantify the processes that led to the natural disaster, the main objective is to analyze the susceptibility map of Presidente Getúlio/SC in order to relate the real impacts of the torrential rains on the affected area. To this end, the study aims to carry out a bibliographic and documentary survey to understand and quantify the impacts caused by torrential rains on the surface of the study area through the mapping of land use; analyze the susceptibility map of the region correlating it with the different forms of land use; analyze the use of geographic information systems (GIS) for map making using QGIS and data collection. Through the generated maps and their overlays with the help of the QGIS software, it was possible to conclude that the regions where landslides occurred in the December 16, 2020 event were previously reported as susceptible areas by the CPRM.

Keywords: Presidente Getúlio, Susceptibility map, Land use and occupation, Risk area, Natural disasters.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Processo de queda de blocos no maciço rochoso	24
Figura 2 – Processo de Tombamento de blocos no maciço rochoso.	25
Figura 3 – Deslizamento Rotacional.....	26
Figura 4 – Deslizamento Translacional	27
Figura 5 – Esquema ilustrativo de escorregamento em cunha.....	28
Figura 6 – Espalhamento lateral.....	28
Figura 7 – Corrida de detritos (avalanche)	29
Figura 8 – Corrida de detritos.....	30
Figura 9 – Corrida de terra	30
Figura 10 – Rastejo	31
Figura 11 – Localização de Presidente Getúlio em Santa Catarina	43
Figura 12 – Delimitação da área de Presidente Getúlio	44
Figura 13 – Histórico da ocupação do solo na área de estudos.....	45
Figura 14 – Imagem de satélite GOES do dia 17/12/2020	47
Figura 15 – Aspectos do clima	47
Figura 16 – Precipitação acumulada nos últimos 5 dias anteriores a 17/12/2020.....	48
Figura 17 – Distribuição da precipitação para Presidente Getúlio.....	49
Figura 18 – Principais cursos de água da bacia hidrográfica do rio Itajaí-Açu	50
Figura 19 – Divisão da bacia hidrográfica do rio Itajaí-Açu em Alto Vale, Médio Vale e Baixo Vale	50
Figura 20 – Mapa e seção geológica do perímetro urbano central do Município de Presidente Getúlio, elaborado a partir da análise de afloramentos.	51
Figura 21 – Mapa geral da geologia de Presidente Getúlio disponibilizado pela CPRM	52
Figura 22 – Local de ocorrência de desastre e cicatrizes de escorregamentos	53
Figura 23 – Mapa altimétrico da região	54
Figura 24 – Mapa de declividades.....	55
Figura 25 – Mapa de Macrozoneamento Urbano e Rural	56
Figura 26 – Organograma	58
Figura 27 – Localização da área impactada pelos movimentos de massa	59
Figura 28 – Satélite CBERS-4 (MUX), antes do desastre	60
Figura 29 – Satélite Sentinel-2 L2A, após o desastre	61

Figura 30 – Obtenção das imagens para pesquisa pelo QGIS	62
Figura 31 – Função gerenciador de fontes.....	62
Figura 32 – Seleção das imagens raster.....	63
Figura 33 – Função Miscelânea	64
Figura 34 – Composição das bandas.....	65
Figura 35 – Local para salvar imagem	66
Figura 36 – Composição RGB.....	66
Figura 37 – Shapefile do município	67
Figura 38 – Imagem RGB limitada ao município	67
Figura 39 – Utilização do algoritmo Minimum Distance.....	69
Figura 40 – Utilização do algoritmo Maximum Likelihood	69
Figura 41 – Utilização do algoritmo Spectral Angle Mapping	70
Figura 42 – Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: município de Presidente Getúlio - SC	71
Figura 43 – Mapa de Presidente Getúlio antes do desastre.....	74
Figura 44 – Mapa de Presidente Getúlio após o desastre	75
Figura 45 – Chave de classificação.....	76
Figura 46 – Mapa de Uso e Ocupação do Solo antes do desastre.	77
Figura 47 – Mapa de Uso e Ocupação do Solo depois do desastre.	78
Figura 48 – Resultados da avaliação de acurácia.....	79
Figura 49 – Matriz de confusão do mapa de uso e ocupação do solo antes da enxurrada.	80
Figura 50 – Matriz de confusão do mapa de uso e ocupação do solo depois da enxurrada.	80
Figura 51 – Precisão geral do mapa de uso e ocupação do solo antes da enxurrada (2020).....	81
Figura 52 – Precisão geral do mapa de uso e ocupação do solo depois da enxurrada (2021).....	81
Figura 53 – Comparação entre as classificações das áreas expressas em km ² antes e após o desastre.....	82
Figura 54 – Comparação entre as imagens classificadas	83
Figura 55 – Reportagem do jornal ND Mais do dia 17/12/2020.....	84
Figura 56 – Reportagem do jornal ND Mais do dia 19/12/2020.....	85
Figura 57 – Reportagem do jornal ND Total do dia 17/12/2020	86

Figura 58 – Mapa das cicatrizes de deslizamento e corrida de detritos.	87
Figura 59 – Mapa de detalhamento das cicatrizes.	88
Figura 60 – Delimitação da área em que houve depósito de sedimentos.	89
Figura 61 – Exemplos das áreas de escorregamento/deslizamento, fluxo de detritos e inundação.....	90
Figura 62 – Mapa de suscetibilidade x marcas do desastre.....	91
Figura 63 – Mapa Hipsométrico.	93
Figura 64 – Classificação do relevo de acordo com a declividade, adotando intervalos em graus segundo os intervalos da EMBRAPA para classificação de solos	94
Figura 65 – Mapa de declividade.	95
Figura 66 – Mapa Pedológico.....	96
Figura 67 – Mapa Pedológico e cicatrizes.....	97
Figura 68 – Unidades Geotécnicas da Região de Presidente Getúlio.....	98
Figura 69 – Precipitação média anual de Presidente Getúlio/SC.....	99
Figura 70 – Médias mensais de Presidente Getúlio/SC	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação dos Movimentos Gravitacionais de Massa	23
Tabela 2 – Escalas sugeridas para os diferentes mapeamentos	38
Tabela 3 – Imagens de satélite utilizadas para o mapeamento.....	61
Tabela 4 – Amostras utilizadas na classificação semi-automática.....	68
Tabela 5 – Tabela de atributo com informações do comprimento de cada cicatriz. ..	88
Tabela 6 – Parâmetros de solo das unidades geotécnicas	98

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APP – Área de Preservação Permanente

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

CEMADEM – Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

GPS – Sistema de Posicionamento Global

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

MDE – Modelo Digital de Elevação

MSI – Multispectral Imager

MZU – Macrozona Urbana

MZR – Macrozona Rural

ND – Número digital

OSGeo – Open Source Geospatial Foundation

PD – Plano Diretor

QGIS – Software Quantum Gis

RGB – R (Red), G (Green) e B (Blue)

SC – Santa Catarina

SIG – Sistemas de Informações Geográficas

USGS – Serviço Geológico dos Estados Unidos

UFPRU – Universidade Federal do Paraná

USO – Uso e Ocupação do Solo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 JUSTIFICATIVA.....	16
2 OBJETIVOS.....	19
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
3.1 SOLO.....	20
3.2 MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA	21
3.2.1 Tipos de movimento de massa	23
3.3 ESCALAS	31
3.4 O SENSORIAMENTO REMOTO E OS ESTUDOS DE MOVIMENTO DE MASSA.....	32
3.5 USO DO SISTEMA DE INFORMAÇÃO (SIG) PARA ANÁLISES DE SUSCETIBILIDADE	34
3.6 MAPEAMENTO DE SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTO DE MASSA.....	37
3.7 MAPEAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	40
4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	43
4.1 CLIMA DA REGIÃO EM ANÁLISE	45
4.2 HIDROGRAFIA.....	49
4.3 GEOLOGIA.....	50
4.4 GEOMORFOLOGIA	53
4.5 SOLO.....	55
5 MÉTODO	57
5.1 TIPO DE PESQUISA	57
5.2 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO.....	57
5.2.1 Seleção da área de estudos	58
5.2.2 Geração e análise dos mapas de uso e ocupação do solo	59
5.2.3 Análises comparativas e apresentação dos resultados	70
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	73
6.1 MAPAS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	73
6.2 MAPEAMENTO DAS CICATRIZES DOS DESLIZAMENTOS E ÁREA ATINGIDA PELA CORRIDA DE DETRITOS.....	83
6.3 ANÁLISE DO MAPEAMENTO DE SUSCETIBILIDADE	89
6.4 COMPARAÇÃO DOS DADOS HIDROLÓGICOS COM GEOTÉCNICOS.....	92

6.5 ANÁLISE DO PLANO DIRETOR MUNICIPAL FRENTE A DESASTRES NATURAIS	100
6.6 O QGIS COMO FRENTE DE ANÁLISE PÓS-MOVIMENTOS DE MASSA.....	101
7 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	104

1 INTRODUÇÃO

Segundo Alves (2011) no Brasil, na segunda metade do século XX, o fenômeno êxodo rural contribuiu para que habitantes iniciassem o processo de migração das áreas de campo, consideradas de menor condições de sustentabilidade, para as cidades em busca de melhores condições de trabalho e de vida.

De modo geral, a urbanização brasileira desenvolveu-se de forma intensa e excludente, favorecendo, em grande parte, os interesses das classes dominantes em detrimento das necessidades sociais em geral. Nesse contexto, verifica-se, muitas vezes, a realização de planejamentos urbanos que, na maioria dos casos, estiveram e ainda estão atrelados aos interesses das classes mais abastadas, contribuindo para a conformação de um espaço cada vez mais segregado e excludente. Tal fato pode ser representado pela significativa ocupação ilegal do solo urbano, corriqueiramente ignorada na representação da “cidade oficial”. (MARICATO, 2000)

No Brasil, o número de pessoas vulneráveis tem aumentado, dada a falta de planejamento de uso e ocupação do solo (MARICATO; OGURA; COMARU, 2010). Este aumento também pode ser atribuído a outros fatores, como a estrutura do mercado imobiliário e a ausência histórica do Estado na efetivação de políticas habitacionais no país, restringindo acesso a locais seguros para moradia (CARDOSO, 2006). Diante de um país cada vez mais urbano e da impossibilidade de resolver o problema da moradia a curto prazo, a tendência de aumento de pessoas expostas em áreas de risco de desastres é uma realidade para se conviver. Ainda que não seja possível prever todas as ameaças, as consequências são previsíveis e podem ser minimizadas através da redução de vulnerabilidade (GONÇALVES, 2012).

Os desastres naturais consistem nos diversos fenômenos, tais como, inundações, escorregamentos, erosão, terremotos, tornados, furacões, tempestades, estiagem, entre outros. Além da intensidade dos fenômenos naturais, o acelerado processo de urbanização verificado nas últimas décadas, em várias partes do mundo, inclusive no Brasil, levou ao crescimento das cidades, muitas vezes em áreas impróprias à ocupação, aumentando as situações de perigo e de risco a desastres naturais. (SOUZA, 2009).

Com base nas pesquisas de SAITO et al. (2019), estima-se que 10% da população residente em 479 municípios brasileiros está exposta ao risco de deslizamento e/u inundações e/ou enxurradas, totalizando 7.104.066 pessoas em

2.131.160 moradias. A população exposta concentrou-se na faixa leste do Brasil. Nas mesorregiões (Metropolitana de Salvador, de São Paulo, de Belo Horizonte, de Recife, do Rio de Janeiro, de Fortaleza e central do Espírito Santo, Zona da Mara Mineira, Vale do Itajaí, Leste Alagoano e Leste Potiguar) agrupam-se mais de 76% da população exposta estimada nos 479 municípios analisados.

No Brasil, movimentos de massa associados a períodos de precipitação intensa são recorrentes e grandes causadores de inúmeras perdas humanas e prejuízos econômicos nas regiões atingidas. De acordo com o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (2012), percebe-se que, dos tipos de desastres registrados no país entre os anos de 1991 e 2012, os movimentos de massa foram os que apresentaram a maior variação neste período, com um aumento de 21,7 vezes (CEPED UFSC, 2013). Estes movimentos de massa ocorrem com maior frequência nas regiões montanhosas e serranas, principalmente, onde predomina o clima úmido. Destacaram-se os desastres naturais ocorridos nos últimos anos em Santa Catarina em 2008, Angra dos Reis e Niterói (Rio de Janeiro - RJ) em 2010, Teresópolis (RJ), Petrópolis (RJ) e Nova Friburgo (RJ) em 2011 e Petrópolis (RJ) em 2013. (SBROGLIA; HIGASHI; TOMAZZOLI; GUIMARÃES, 2016)

Ao longo de sua história, o Estado de Santa Catarina tem sido significativamente afetado por eventos naturais relacionados a movimentos de massa associados a períodos de precipitação intensa, principalmente nas regiões das formações geomorfológicas Serra do Mar e Serra Geral. No entanto, analisando a magnitude deste tipo de desastre natural ocorrido em novembro de 2008, este foi considerado como o mais severo da história do estado (FRANK; SEVEGNANI, 2009).

Na época ocorreram precipitações intensas e concentradas, resultando no dobro de chuva prevista para todo o mês, que provocaram grande quantidade de movimentos de massa e áreas inundadas no estado de Santa Catarina, principalmente no Vale do Itajaí. Essa região caracteriza-se por apresentar relevo composto por áreas mais planas, representadas pelas planícies que margeiam o rio Itajaí-açu e seus afluentes, e por serras que alcançam até 980m em relação ao nível do mar com encostas muito íngremes e voltadas para leste. Estas características facilitam a entrada de grande quantidade de umidade oriunda do oceano Atlântico, o que favorece a ocorrência de eventos associados a fortes chuvas, que em muitos casos resultam em desastres naturais (MARINHO et al., 2012).

No Brasil, os desastres mais frequentes, entre 1991 e 2012, foram (nesta ordem): estiagem e seca, enxurrada, inundação, vendaval, granizo, erosão, incêndios florestais, movimentos de massa, tornados, alagamentos e geadas. O desastre causado por enxurradas, embora seja o segundo tipo mais recorrente no Brasil, é o principal responsável por danos humanos, seguido pelas inundações (CEPED UFSC, 2013)

Os escorregamentos, também conhecidos como deslizamentos, são processos de movimentos de massa envolvendo materiais que recobrem as superfícies das vertentes ou encostas, tais como solos, rochas e vegetação. Estes processos estão presentes nas regiões montanhosas e serranas em várias partes do mundo, principalmente naquelas onde predominam climas úmidos. No Brasil, são mais frequentes nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste. (FARIA, 2009).

Nas áreas urbanas, os movimentos gravitacionais de massa causam transtornos à população, pois danificam a infraestrutura dos municípios, podem causar a interrupção dos serviços de abastecimento de água e energia elétrica, provocam danos materiais aos atingidos e podem ainda ocasionar a perda de vidas (AUGUSTO FILHO, 1994).

A conceituação adotada pela UN-ISDR (2009) considera desastre como uma grave perturbação do funcionamento de uma comunidade ou de uma sociedade envolvendo perdas humanas, materiais, econômicas ou ambientais de grande extensão, cujos impactos excedem a capacidade da comunidade ou da sociedade afetada de arcar com seus próprios recursos. Os critérios objetivos adotados no Relatório Estatístico Anual do EM-DAT (Emergency Disasters Data Base) sobre Desastres de 2007 (Scheuren, et. al. 2008) consideram a ocorrência de pelo menos um dos seguintes critérios:

- i. 10 ou mais óbitos;
- ii. 100 ou mais pessoas afetadas;
- iii. Declaração de estado de emergência;
- iv. Pedido de auxílio internacional.

Dentre os tipos de desastres naturais, nesta pesquisa são objeto de análise os escorregamentos ocorridos em 2020 no município de Presidente Getúlio/SC, os quais resultaram em prejuízos materiais e perdas de vidas humanas.

1.1 JUSTIFICATIVA

Muitos lugares que mereciam preservação foram ocupados de maneira inadequada e desorganizada, principalmente em grandes cidades, deixando a população muito mais suscetível aos desastres naturais, fatos estes que se tornam cada vez mais comuns, frequentes e intensos nos dias atuais. O Brasil, por ser um país tropical de tamanho continental, possui diversas áreas propícias a passarem por eventos climáticos, uma vez que em determinadas épocas do ano, com o acúmulo de chuvas, os riscos de movimentos de massa a essas áreas aumentam de forma considerável.

O significativo aumento da população, em um curto espaço de tempo nas grandes cidades, reflete a interação entre sociedade e natureza. De acordo com o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (1991 a 2012), o déficit habitacional urbano, que engloba as moradias sem condições de serem habitadas em razão da precariedade das construções ou do desgaste da estrutura física, correspondem a 5.546.310 domicílios, dos quais 4.629.832 estão localizados nas áreas urbanas. (SILVA, 2016)

Estima-se que para cada R\$1,00 gasto com prevenção de desastres naturais (mapeamentos de risco, obras de contenção, políticas públicas) economiza-se entre R\$25,00 e R\$30,00 com a reconstrução das localidades atingidas por desastres (KOBİYAMA et al, 2006). No Brasil, mais de 70% das mortes ocorridas em decorrência de desastres naturais foram causadas por movimentos de massa, no período de 1991-2010. Além disso, a expansão da urbanização e as mudanças climáticas globais podem aumentar a severidade de desastres naturais no Brasil nos próximos anos (DEBORTOLI et al, 2017).

Através de estudos do meio físico, dos processos antrópicos e naturais, a geologia proporciona o conhecimento caso uma determinada área esteja sujeita a perigos e riscos geológicos. Sendo assim, é possível determinar, espacialmente, áreas que sejam mais seguras ou que apresentam maiores riscos para a ocupação humana.

A disseminação da utilização dos recursos de geoprocessamento e o aperfeiçoamento dos programas computacionais com base em Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), possibilitou o desenvolvimento de uma grande

diversidade de metodologias de análise de riscos a escorregamentos, notadamente a partir da década de 1990. (TOMINAGA, 2007).

Santa Catarina é um estado brasileiro muito suscetível à ocorrência de desastres naturais, o CPRM- Serviço Geológico do Brasil (2021) vêm trabalhando nas últimas décadas para o mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos de massa no Brasil, sendo o referido Estado um dos contemplados no processo. Isto deflagra a notoriedade na realização de estudos em relação ao meio físico e de avaliação dos processos naturais, os quais podem auxiliar no planejamento de áreas mais seguras e identificar ainda aquelas que apresentam problemas para a habitação, considerando limitações ambientais, uso e ocupação do solo, bem como ações antrópicas.

Pelo exposto, buscou-se nesta pesquisa observar o evento ocorrido no município de Presidente Getúlio/SC, sob a ótica da Geotécnica com o uso de dados obtidos por sensoriamento remoto e analisados através da geração de dados com software SIG, detalhando-se as características do evento ocorrido em 2020, mapeando-se e analisando-se os riscos geológicos identificados. É sabido que a região do Vale do Itajaí, onde se localiza o município analisado neste estudo possui mapa de suscetibilidade a movimentos de massa, e mesmo assim, nos locais mapeados a perda de vidas humanas não foi evitada.

Ficam então dúvidas quanto ao processo de mapeamento e utilização do produto cartográfico gerado nas medidas de monitoramento e prevenção de desastres por movimentos de massa. As tecnologias atualmente disponíveis, mapas e softwares gratuitos, poderiam ter sido utilizados para identificar as prováveis áreas atingidas e delimitar as possibilidades de ocorrências dos referidos movimentos gravitacionais de massa, porém, tal fato parece não ter sido observado em diferentes níveis de gestão.

Entende-se que a partir da análise espaço-temporal do evento ocorrido, confrontando-o com o mapa de suscetibilidade existente, pode-se avançar na identificação de fatores que contribuem para um movimento de massa de grandes proporções e que, a partir daí, sejam estabelecidas estratégias eficazes de planejamento, controle de ocupação e monitoramento das áreas suscetíveis, visando prevenir ou diminuir eventos futuros que tragam prejuízos financeiros e coloquem em risco a vida dos habitantes do município.

A justificativa deste trabalho é sustentada por intermédio da elaboração do mapa de uso e ocupação do solo antes e depois do evento, com base nas imagens obtidas por satélites Sentinel-2 e na utilização de geoprocessamento, por meio do

software QGIS 3.16, com intuito de realizar análises comparativas em relação aos instrumentos normativos existentes e sua aplicabilidade; se as áreas de suscetibilidade compreenderam os pontos atingidos pelo evento e se os dados hidrológicos com geotécnicos permitiram caracterizar a região atingida como área propensa a novos desastres.

2 OBJETIVOS

Com intuito de compreender e quantificar os processos que levaram ao desastre natural ocorrido na região do Alto Vale do Itajaí em Santa Catarina no ano de 2020 define-se abaixo os objetivos desta pesquisa.

Tem-se como principal objetivo analisar as condições geológico-geotécnicas e climáticas do movimento de massa ocorrido no município de Presidente Getúlio/SC em 2020, comparando-se com o mapa de suscetibilidade de movimentos de massa pré-existente.

Dado o objetivo principal, tem-se os objetivos específicos que seriam:

- a) Compreender e quantificar os impactos causados pela enxurrada na superfície da área de estudos através do mapeamento do uso do solo;
- b) Analisar o mapa de suscetibilidade da região correlacionando com as diferentes formas de uso do solo;
- c) Analisar o uso do QGIS (software SIG) para a retroanálise de movimentos de massa a partir de imagens de satélite.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para compreender as terminologias adotadas nesta pesquisa realizou-se uma revisão bibliográfica de modo a se conceituar: o solo e os movimentos de massa (objetos de análise), sensoriamento remoto para estudos de movimentos de massa, mapeamento de usos do solo e áreas com suscetibilidade ao risco e, por fim, a utilização de SIGs para as análises de risco geomorfológico.

3.1 Solo

O solo de forma geral é um sistema dinâmico e complexo, e acompanha todas as mudanças geoambientais, que ocorrem por mecanismos naturais, sendo eles físicos ou químicos. Conta-se com 5 fatores de formação do solo, que são eles, o relevo, clima, organismos, material de origem e o tempo, que são dependentes entre si, ou seja, a modificação de um dos fatores altera todos os outros (SILVA, 2009).

Quanto ao fator tempo, Silva (2009), relata que se pode considerar a variável mais passiva dentre as outras, no entanto, o sistema solo não é estático, e isso requer atenção, pois é necessário notar a variação no decorrer das transformações, transporte, perdas e ganhos na evolução do mesmo. Segundo Serratt et al (2002), o tempo em relação aos solos, está ligado à maturidade, ou o quanto o solo está desenvolvido, indicando características em função do seu tempo de formação: profundidade, relevo, erosão e minerais que podem ou não ser passivos a intemperismos. Este mesmo autor traz apontamentos em relação a variável clima, descrevendo-a como um dos fatores que determina de forma expressiva a velocidade do intemperismo em uma região, tendo como elementos principais a precipitação pluviométrica e a temperatura. Destacando-se a água como principal responsável pelas reações químicas do intemperismo, enquanto que a temperatura tem papel duplo, onde ao mesmo tempo que acelera as reações químicas, diminui a quantidade de água disponível no sistema, através do aumento da evaporação.

Os organismos também contribuem para a intemperização do manto rochoso através da vegetação, de animais, de bactérias, de fungos e de líquens, sendo esses influenciadores no processo de formação do solo. Exercem ações físicas e químicas sobre o perfil do solo e também no material de origem. As ações podem ser de forma

conservadoras ou transformadoras, quando em forma de barreiras que interceptam a água, sombreamento e retenção de solo nas raízes, é considerada conservadora, já a mobilização de sólidos, incorporação de matéria orgânica e reciclagem de nutrientes é considerada uma ação transformadora (SERRATT et al, 2002).

E o relevo, não menos importante, reflete de forma direta na dinâmica da água no ambiente, tanto quanto se diz respeito a infiltrações quanto a escoamentos superficiais, enxurradas, etc. (SILVA, 2009). O relevo também influencia na formação dos solos, fazendo com que se apresentem diferenças na cor, drenagem, espessura dos horizontes ou camadas ao longo de seu perfil. Embora considerado um agente passivo, o relevo condiciona todos os processos considerados ativos de formação, como por exemplo na dinâmica da água, como já mencionado (ALMEIDA, 2013).

O intemperismo da crosta forma os diferentes solos e, em função da sua origem, existem dois grandes grupos resultantes: residuais e sedimentares (ou transportados). Os residuais ou autóctones são aqueles resultantes da decomposição da rocha in loco, sem sofrer desagregação ou transporte. Já os sedimentares ou alotóctones sofrem transporte e deposição cuja granulometria pode variar em função do tipo de transporte sofrido: coluvionares (transportados pela ação da gravidade), aluvionares (transportado pela ação das águas), glaciais (transportados pela ação das geleiras) e eólicos (transportados pela ação do vento) (QUEIROZ, 2016).

3.2 Movimentos Gravitacionais de Massa

Conhecido também como deslizamento, escorregamento, ruptura de talude, queda de barreiras, entre outros, o nome ‘movimento de massa’ se refere aos movimentos de descida de solos e rochas sob o efeito da gravidade, que geralmente podem ser potencializados pela ação da água (CEMADEN, 2016). Quando essas movimentações ocorrem em locais onde possuem a ocupação humana, os resultados podem ser desastrosos.

Fiori (1995) cita que a força da gravidade origina tensões cisalhantes no interior do manto de alteração ao longo das encostas. Estas tensões, responsáveis pela ocorrência dos movimentos de massa, aumentam com a inclinação e a altura das encostas, com o peso específico do solo e com a quantidade de água que se infiltra e acumula no mesmo.

A causa dos escorregamentos varia muito e depende de fatores como: declividade, topografia, tipo de solo, geologia e atividades humanas (Li et al., 2020). Pode ser causado por agentes exógenos ou endógenos. Entre os principais fatores naturais que contribuem para a geração de movimentos de massas nas encostas destacam-se a geometria e geomorfologia (morfologia do talude, zonas de convergência e divergência de fluxo de água, ocorrência de depósitos de tálus e colúvios), a duração e intensidade das precipitações pluviométricas, a geologia do material (fraturamentos, presença de minerais argilosos expansivos preenchendo as fraturas das rochas, etc.), geomecânicas (alterações do peso específico do solo devido à saturação, perda de coesão, etc.), cobertura vegetal, ocupação do solo, sismos ou outras situações incomuns tais como rompimento de barragens (NUNES, 2008).

O processo que provoca o movimento pode ser resultado de causas naturais ou induzidas, ou pela ação combinada de ambos. A ação da gravidade é um fator sempre presente, tendo a contribuição de outros fatores naturais como a geomorfologia, a geologia, a pedologia e o clima. A ação antrópica é, na maioria dos casos, fortemente influente na ocorrência do movimento. Impactos de atividades humanas como corte de taludes, aterros em locais impróprios, remoção de vegetação, acréscimo de carga no topo ou ao longo das encostas, construção de tanques e fossas, despejo de águas servidas, condução da drenagem pluvial, são todos exemplos facilmente encontrados em muitas das ocupações desordenadas estudadas por diversos autores (SILVA, 2016).

O Brasil é considerado muito suscetível aos movimentos de massa devido às condições climáticas marcadas por verões de chuvas intensas em regiões de grandes maciços montanhosos (GUIMARÃES, 2008). Atividades humanas como cortes em talude, aterros, depósitos de lixo, modificações na drenagem, desmatamentos, entre outras, têm aumentado a vulnerabilidade das encostas para a formação desses processos (FERNANDES, 2015). Essa condição é agravada, principalmente, quando ocorrem ocupações irregulares, sem a infraestrutura adequada, em áreas de relevo íngreme.

Mendonça e Silva (2020) afirmam que, no Brasil, desastres associados a movimentos de massa trazem à tona uma forma de uma organização social favorável à desigualdade e disputa de terras, o que resulta numa ocupação de áreas mais mais propensas aos desastres pela população mais pobre, de maneira rápida e

desordenada. Afirmam ainda que, dada a natureza dos desastres, necessita-se de uma abordagem multidisciplinar em função da inter-relação complexa entre os sistemas humano e natural.

3.2.1 Tipos de movimento de massa

Sobre a citada natureza dos desastres, considerando-se os mecanismos específicos e os diferentes materiais envolvidos, classificam-se em quatro tipos principais: Quedas / Tombamentos / Rolamentos; Deslizamentos / Escorregamentos; Fluxo de Detritos e lama; e Subsidência e Colapsos (IPT, 1991). Contudo, os deslizamentos constituem o principal tipo de movimento de massa monitorado e alertado pelo Cemaden (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais).

Outra forma de se abordar a nomenclatura dada aos movimentos de massa consta na tabela a seguir, observa-se o quadro com versão abreviada de uma das classificações mais utilizadas no mundo, proposta por Cruden e Varnes (1996 apud COUTINHO; SILVA, 2006). Refere-se a uma revisão da classificação proposta por Varnes (1978), sendo que esta classificação baseia-se no tipo de movimento e de material que foi transportado.

Tabela 1 – Classificação dos Movimentos Gravitacionais de Massa

TIPO DE MOVIMENTO		TIPO DE MATERIAL	
		ROCHA	SOLOS DE ENGENHARIA
			Predomínio de grossos Predomínio de finos
QUEDA		Queda de blocos	Queda de detritos Queda de solo
TOMBAMENTO		Tombamento de rocha	Tombamento de detritos Tombamento de solo
DESLIZAMENTO	ROTACIONAL	Deslizamento de rocha	Deslizamento de detritos Deslizamento de solo
	TRANSLACIONAL		
ESPALHAMENTO LATERAL		Expansões laterais de rocha	Expansões laterais de detritos Expansões laterais de solo
FLUXO		Movimento lento / Corrida de rocha	Movimento lento / Corrida de detritos Movimento lento / Corrida de solo

Fonte: Coutinho; Silva (2006).

Como mostra a Tabela 1, em função da geometria, os deslizamentos classificam-se em planar, rotacional e translacional e, há diferenciação de nomenclatura quando se tratam de rochas e solos.

Para Cruden e Varnes (1996 apud HENRIQUE, 2014), para classificar o tipo de movimento de massa os principais critérios envolvem principalmente a velocidade e a forma da massa deslocada, a saber:

a) Quedas

Pode-se dizer que o termo “Quedas” representa o movimento de massa de solo e/ou blocos diversos que são instáveis e que possuem volumes variáveis que se desagregam de encostas muito íngremes. O material movimentado pode ter volume variado, desde torrões de solo ou rochas individuais. O movimento ocorre em velocidade rápida ou extremamente rápida, podendo atingir grandes distâncias (Figura 1).

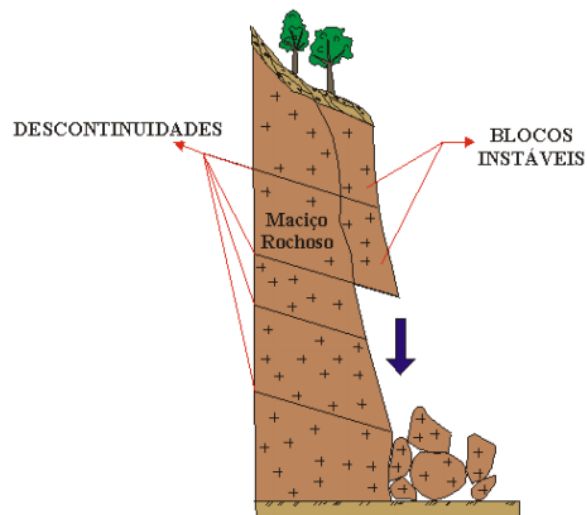


Figura 1 – Processo de queda de blocos no maciço rochoso

Fonte: Reis (2001 apud HENRIQUE, 2014).

Nunes (2013) diz que as rupturas por queda de blocos acontecem por conta da gravidade, onde ocorre os deslocamentos de blocos de rocha com litologias e volumes variados que se desprendem do maciço, desmembrando-se em movimentos de queda livre, que se destacam do maciço, deslocando-se em movimentos do tipo queda livre, combinados com deslizamento, rolamento e salto ao longo de superfícies inclinadas.

Os processos de queda possuem um forte condicionante litológico e estrutural, e sua deflagração pode estar intimamente associada a processos erosivos, como na

queda de detritos em taludes de rochas sedimentares, ou rolamento de matacões em rochas graníticas (AUGUSTO FILHO, 1994).

b) Tombamentos

Varnes (1996 apud HENRIQUE, 2014) descreve o tombamento como um movimento de queda de uma massa de solo ou rocha em torno de um eixo. A massa movimentada gira em torno de um único ponto sob a influência das forças gravitacionais. Tem a força da gravidade como principal aliada. (Figura 2).

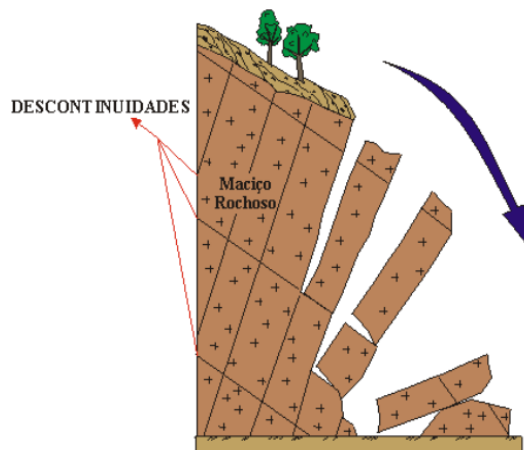


Figura 2 – Processo de Tombamento de blocos no maciço rochoso.

Fonte: Reis (2001 apud HENRIQUE, 2014).

Na maioria dos casos, este tipo de movimento ocorre em maciços rochosos que apresentam descontinuidades verticais e subverticais, principalmente, quando existe água ou gelo nestas descontinuidades (VARNES, 1996 apud HENRIQUE, 2014).

De acordo com Cruden e Varnes (1996 apud HENRIQUE, 2014), movimentos de tombamento podem se encaminhar a outros tipos de movimento, como escorregamento e/ou queda. O movimento pode ter velocidade variando de extremamente lenta a extremamente rápida.

c) Deslizamento

Deslizamento, também chamado de escorregamento, é o movimento de massa de solo ou rocha que desliza, geralmente, através de uma ou mais superfícies de ruptura. Guidicini & Nieble (1984) Guidicini & Nieble (1984 apud HENRIQUE, 2014) descrevem deslizamentos como movimentos rápidos, apresentando superfície de ruptura bem definida, de duração relativamente curta, de massas geralmente bem definidas quanto ao seu volume, cujo centro de gravidade se desloca para baixo e

para fora do talude. Segundo Varnes (1996 apud HENRIQUE, 2014), os deslizamentos podem ser classificados, de acordo com a superfície de ruptura formada no movimento, podendo ser rotacionais ou translacionais.

Os deslizamentos são uma consequência da deformação cisalhante que pode ocorrer ao longo de uma ou mais superfícies, podendo abranger materiais rochosos ou solo. As superfícies de deslizamento podem ser visíveis ou razoavelmente inferidas ou ainda estar entre zonas relativamente limitadas. Estes movimentos podem ser ainda progressivos, ou seja, o cisalhamento pode não se iniciar sobre uma superfície de ruptura propriamente dita, mas sim se propagar de uma ruptura localizada de pequena extensão (por exemplo fendas de tração) (AHRENDT, 2005).

Highland e Bobrowsky (2008) descrevem o deslizamento rotacional caracterizado por apresentar superfície de ruptura curva, tendo o movimento de massa rotatório em torno de um eixo imaginário paralelo ao contorno do talude.

Nos deslizamentos rotacionais (ou circulares) a massa movimentada forma superfícies de escorregamento encurvadas e côncavas, que rotaciona segundo um eixo imaginário. Normalmente, estão associados a materiais homogêneos, aterros, depósitos mais espessos, rochas sedimentares ou cristalinas intensamente fraturadas (COUTINHO; SILVA, 2006.).

Segundo Varnes (1978) quando a superfície de ruptura desloca-se do topo (crista) até a base do talude, a massa instável tende a restaurar seu equilíbrio, isto porque a quantidade de movimento decresce e a massa deslizada cessa o movimento quando é possível perceber a formação de degraus de abatimento (Figura 3).

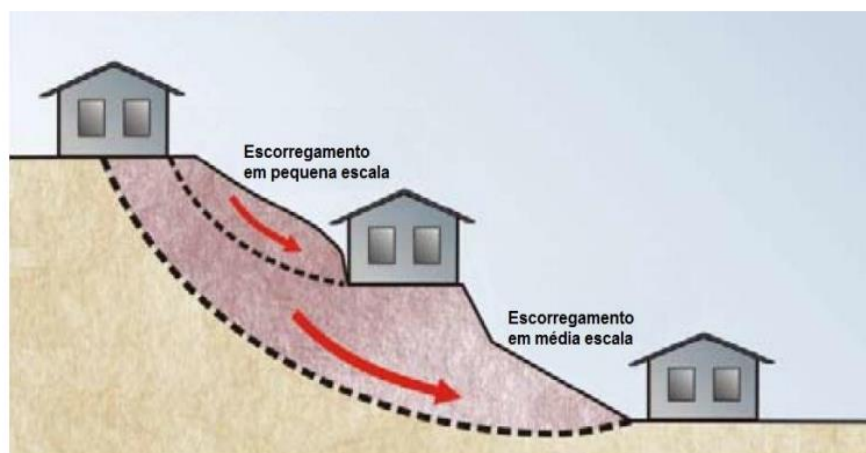


Figura 3 – Deslizamento Rotacional

Fonte: AGS (2007).

Os escorregamentos planares de solos são processos muito frequentes nas encostas serranas do Brasil, envolvendo solos superficiais, frequentemente até o contato com a rocha subjacente, alterada ou não. Podem ocorrer em taludes mobilizando solo saprolítico, saprolitos e rochas, condicionados por estruturas planares desfavoráveis à estabilidade e relacionados a feições geológicas diversas, tais como foliação, xistosidade, fraturas, falhas etc. (HENRIQUE, 2014)

No deslizamento planar, a massa movimentada desloca-se ao longo de uma superfície relativamente plana, em trajetória paralela à inclinação do talude (GUIDICINI e NIEBLE, 1984 apud HENRIQUE, 2014). (Figura 4).



Figura 4 – Deslizamento Translacional

Fonte: AGS (2007).

Os deslizamentos em cunha têm ocorrência mais restrita às regiões que apresentam um relevo fortemente controlado por estruturas geológicas. São associados aos maciços rochosos pouco ou muito alterados, nos quais a existência de duas estruturas planares, desfavoráveis à estabilidade, condiciona o deslocamento de um prisma ao longo do eixo de intersecção destes planos. Ocorrem principalmente em taludes de corte ou em encostas que sofreram algum tipo de desconfinamento, natural ou antrópico (HENRIQUE, 2014) (Figura 5).

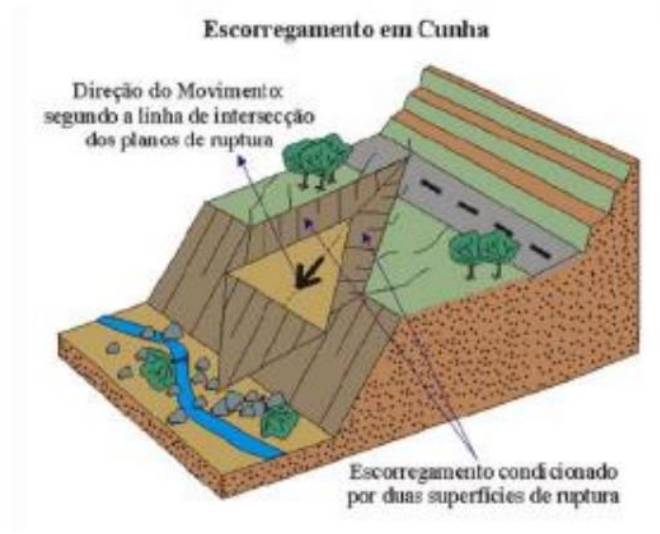


Figura 5 – Esquema ilustrativo de escorregamento em cunha

Fonte: INFANTI JR. & FORNASARI FILHO (1998).

d) Expansões laterais

São movimentos predominantemente laterais causados pela expansão de solo coesivo ou por massa de rocha combinado com a existência de massa fraturada numa camada de material subjacente que apresenta pouca resistência ao cisalhamento. Expansões laterais podem resultar da liquefação ou escoamento de materiais (HENRIQUE, 2014)

Varnes (1978 apud HENRIQUE, 2014) descreve expansões laterais como um movimento predominantemente lateral causado pelo cisalhamento e tensão das fraturas.

Brunsden & Prior (1984 apud HENRIQUE, 2014) descreve o espalhamento como um movimento de expansão lateral distribuída em massa fraturada (Figura 6).

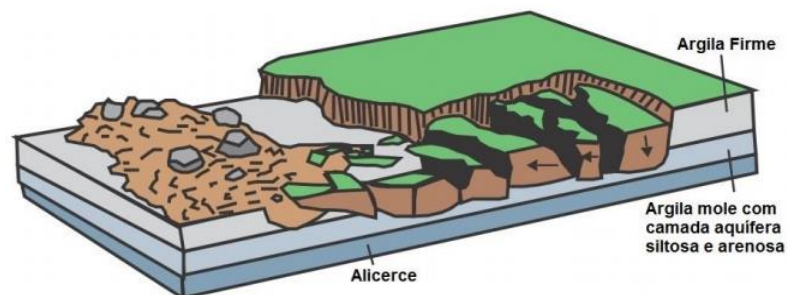


Figura 6 – Espalhamento lateral

Fonte: Modificado de USGS (2004).

e) Fluxo: Corrida e Rastejo

Cruden e Varnes (1996 apud HENRIQUE, 2014) descrevem que corridas são formas rápidas de escoamento, de caráter essencialmente hidrodinâmico, provocado pela perda de resistência do material, devido ao excesso de água.

Iniciam-se com deslizamentos nas encostas, e com a interferência das altas declividades e grande volume de água, mobilizam expressiva quantidade de material (solo, detritos, blocos de rocha ou combinações destes materiais), tendo comportamento líquido viscoso e alto poder de transporte e destruição (ALHEIROS et al. 2003)

A Corrida é um movimento identificado por grandes volumes de escoamento de material, mesmo em áreas planas ele pode alcançar um extenso raio. Os materiais envolvidos podem ser solo, rochas, detritos e água, tendo uma velocidade média a alta. Pode ser classificada em corrida de rocha, de detritos e de solo.

A corrida de rocha, também chamada de avalanche, é um tipo de corrida caracterizada pelo deslocamento do material rochoso com elevada velocidade, em locais bastante íngremes, na forma de um fluido de alta viscosidade devido ao grande teor de água contida (Figura 7) (HENRIQUE, 2014)

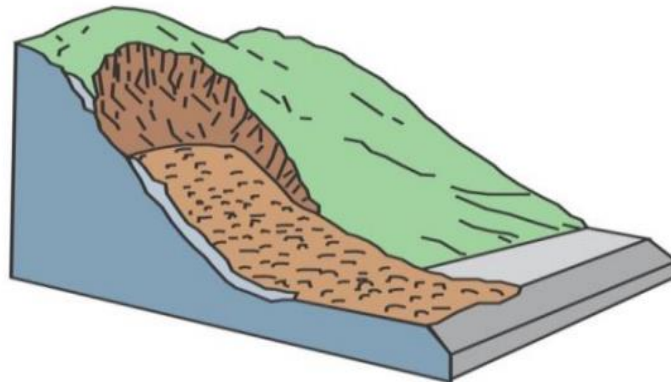


Figura 7 – Corrida de detritos (avalanche)

Fonte: USGS (2004).

Na corrida de detritos o fluxo é formado por rocha, solo e vegetação, onde são transportados pela água através das encostas íngremes. Geralmente é provocado pelo escoamento superficial da água devido a fortes chuvas ou vazamentos de tubulações provocados pelo homem. Vale ressaltar que o desmatamento da

vegetação e o acúmulo de lixo nas encostas podem intensificar a suscetibilidade deste evento (Figura 8) (HENRIQUE, 2014).

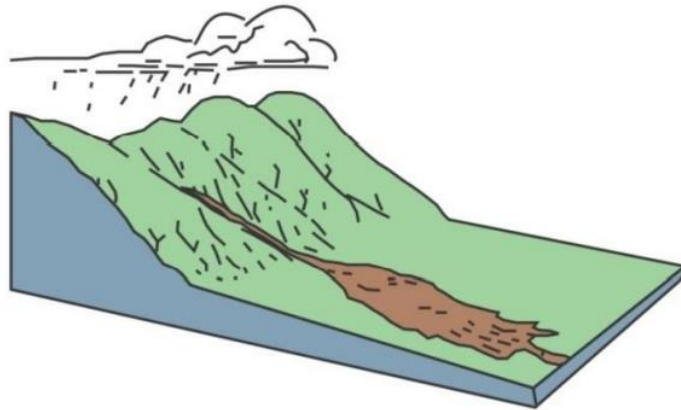


Figura 8 – Corrida de detritos

Fonte: USGS (2004).

A Corrida de terra ocorre principalmente com materiais de granulação fina ou argilosa em encostas moderadas e em condições saturadas (Figura 9). Porém, também existe a possibilidade de ocorrer com fluxo de material granular seco. Ocorre em vertentes muito íngremes através de um movimento rápido envolvendo o transporte com fluxo intenso de lama, água ou solo, podendo ser catastrófico.

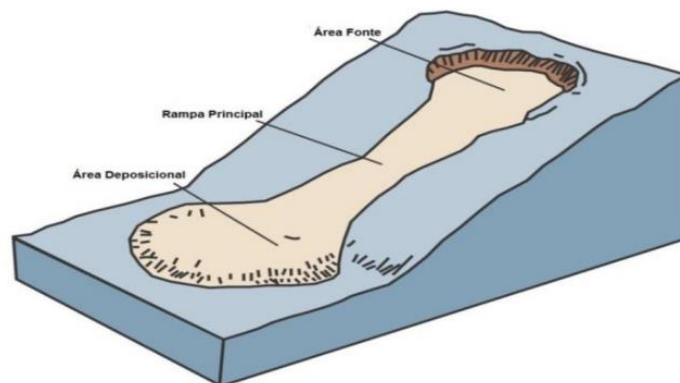


Figura 9 – Corrida de terra

Fonte: USGS, 2004.

Cruden e Varnes (1996 apud HENRIQUE, 2014) descreve que rastejos ocorrem através de movimentos lentos e contínuos, não tendo uma ruptura bem definida em sua superfície, podendo variar de milímetros a centímetros anualmente e pode abranger extensas áreas. Nesse tipo de movimento, os materiais envolvidos podem ser solo, rocha ou a combinação de ambos.

Com relação ao fluxo tipo rastejo é um movimento bastante lento e constante da massa de solo em direção ao pé do talude, onde o deslocamento superficial é imperceptível e pode ocorrer em centímetros por ano. São denunciados através da paisagem com a inclinação de árvores, postes, cercas e muros tortos, ondulações no solo ou pequenos sulcos, rachaduras em casas e até rachaduras em estradas (SILVA, 2016). (Figura 10)

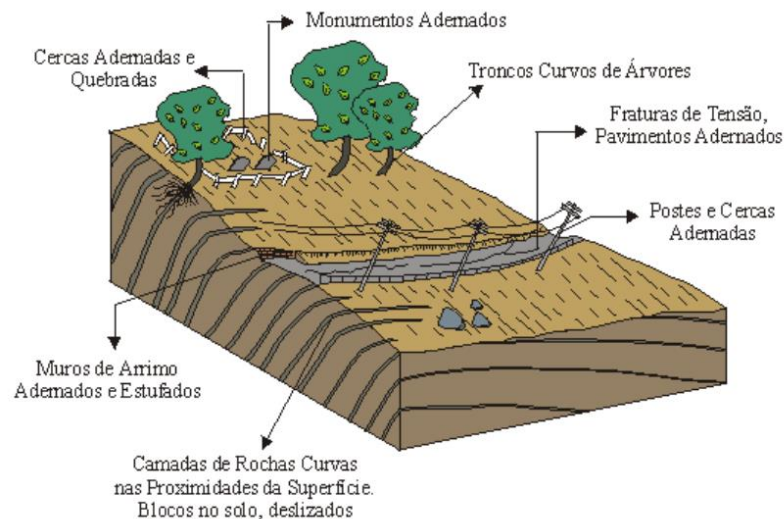


Figura 10 – Rastejo

Fonte: USGS, 2004.

Alheiros et al. (2003) destaca que este processo ocorre geralmente nos horizontes superficiais, principalmente nos horizontes de transição solo/rocha e em baixa declividade.

3.3 Escalas

A discussão sobre escala em geografia é particularmente complexa. Iná de Castro lembra que a escala, para além de uma medida que indica a relação matemática de proporção entre o real e a representação, é uma estratégia de apreensão da realidade (CASTRO, 2007). Ressalta a autora que entre um e outro entendimento há muitos conceitos de escala.

Os geógrafos distinguem a escala geográfica (recorte espacial: nível local, regional, nacional ou global), da escala operacional/metodológica (tamanho das unidades espaciais para as quais os dados são coletados e tabulados) e da escala cartográfica (razão das distâncias em um mapa para as distâncias correspondentes

no mundo físico) (SMITH,2000 apud LIBÓRIO et al., 2020). Menezes e Coelho Neto (1999 apud LIBÓRIO et al., 2020) explicam que a escala geográfica é a amplitude da área em estudo e quanto maior a extensão da área, maior será a escala associada. A escala operacional se relaciona diretamente com a escala geográfica. A escala cartográfica é a razão de semelhança entre a representação e o mundo real e, ao contrário da escala geográfica, escalas cartograficamente maiores representam um nível de detalhamento maior que em escala menores e aborda, por sua vez, uma área geográfica menor.

Do ponto de vista geográfico, pesquisadores alertam para o fato de que a escala geográfica não é uma simples questão de escolha, pois sua definição condiciona a própria maneira de apreender e lidar com o objeto da análise. Melazzo e Castro (2015) explicam que cada escala geográfica comporta diferentes níveis de abstração, uma teoria da escala geográfica seria uma estruturação do espaço no qual diferenças espaciais são apreendidas. Do ponto de vista metodológico, pesquisadores alertam para a presença de problemas de interpretação a partir da mudança da escala de observação de uma mesma variável. Correa (2007), por exemplo, argumenta que alterações na escala produzem também alterações na forma de conceber e entender os fenômenos espaciais. Alterações na escala do fenômeno urbano, por exemplo, produzem mudanças conceituais (espaço intraurbano e rede urbana) e de conteúdo.

Do ponto de vista cartográfico, pesquisadores mostram que a escala pode ser associada a todas as representações cartográficas em forma de mapas. Em geografia, cartas topográficas, imagens, fotografias aéreas e mapas produzidos pelo IBGE são encontradas, por exemplo, em escalas entre 1:1.000.000 a 1:50.000. Embora sejam contempladas várias escalas, a sobreposição de mapas pode envolver operações de mudança de escala e demandar ampliações ou diminuições, pois uma escala menor, geralmente, representa uma área maior com menor detalhamento de seus elementos (CONCEIÇÃO e SOUZA,2001). Nesta pesquisa focou-se no tema da escala cartográfica, mais precisamente o problema de padrão de precisão.

3.4 O Sensoriamento Remoto e os Estudos de Movimento de Massa

O sensoriamento remoto é uma técnica de obtenção de informações acerca de um objeto, área ou fenômeno localizado na Terra, sem que haja contato físico com o mesmo. As informações podem ser obtidas por meio de radiação eletromagnética,

gerada por fontes naturais (sensor passivo), como o Sol, ou por fontes artificiais (sensor ativo), como o radar. São apresentadas na forma de imagens, sendo mais utilizadas, atualmente, aquelas captadas por sensores óticos orbitais localizados em satélites (IBGE, 2021).

Satélites que giram em uma órbita em torno da Terra, possuem sensores que permitem a emissão e/ou o recebimento de energia eletromagnética refletida da terra. As imagens orbitais possuem diversas aplicações, como por exemplo, para estudar os movimentos de massa, seja através da detecção das consequências desses processos, tais como cicatrizes (remoção da cobertura vegetal e exposição do solo), ou do estudo de indicadores. Os indicadores são mudanças na resposta (características espectrais detectadas pelos sensores remotos) da cobertura vegetal (já degradada, às vezes até por escorregamentos anteriores), uso da terra, tipologia das encostas e até mesmo, dissecação do relevo (RIFFEL, 2017). De acordo com o IBGE (2021) é possível ainda, utilizar o sensoriamento remoto para produção de mapeamentos, atualização de dados cartográficos e temáticos, produção de dados meteorológicos e para a avaliação de impactos ambientais.

O levantamento do uso e ocupação do solo de uma região tornou-se um aspecto de interesse fundamental para a compreensão dos padrões de organização do espaço (ROSA, 2009).

É possível utilizar dados de Sensoriamento Remoto para estudos de movimentos de massa, seja através da detecção das consequências desses processos, tais como cicatrizes (remoção da cobertura vegetal e exposição do solo), ou do estudo de indicadores (RIFFEL, 2017).

Sensores podem estar à bordo de aviões ou satélites, medindo a radiação eletromagnética em intervalos específicos (geralmente chamados de bandas). Como resultado, as medidas são quantificadas e convertidas em uma imagem digital, onde cada elemento da imagem (pixel) tem um valor discreto em unidades de Número Digital (ND) (NASA, 2013). As imagens resultantes possuem diferentes características (resoluções) dependendo do sensor. Há diversos tipos de resoluções:

- a) Resolução espacial, normalmente medida em tamanho de pixel, “é o poder de resolução de um instrumento necessário para a discriminação de feições e é baseado no tamanho do detector, na distância focal e na altitude do sensor” (NASA, 2013); a resolução espacial também é denominada de resolução geométrica ou IFOV;

- b) Resolução espectral, é o número e localização no espectro eletromagnético (definido por dois comprimentos de onda) das bandas espectrais (NASA, 2013) em sensores multiespectrais em que cada banda corresponde uma imagem;
- c) Resolução radiométrica, geralmente medida em bits (dígitos binários), é o intervalo de valores de brilho disponível, de modo que na imagem corresponde ao alcance máximo de NDs; por exemplo, uma imagem com resolução de 8 bits apresenta 256 níveis de brilho (Richards and Jia, 2006);
- d) Para sensores de satélites, há também a resolução temporal, que é o tempo necessário para o sensor visitar a mesma área da superfície terrestre (NASA, 2013).

3.5 Uso do Sistema de Informação (SIG) para Análises de Suscetibilidade

Existem várias definições de SIG (Sistemas de Informação Geográfica), o qual não é simplesmente um programa. De um modo geral, os SIG são sistemas que permitem o uso da informação geográfica (dados com coordenadas espaciais). Particularmente, os SIG permitem a visualização, consulta, cálculo e análise dos dados espaciais, que são divididos principalmente em estrutura de dados vetorial ou raster. O vetor é formado por pontos, linhas ou polígonos, e cada objeto pode ter um ou mais valores de atributo; um raster é uma grade (ou imagem) onde cada célula/pixel tem um valor de atributo (Fisher e Unwin, 2005). Diversos programas SIG utilizam imagens raster oriundas do sensoriamento remoto.

Dados georreferenciados podem ser trabalhados em Sistema de Informação Geográfica (SIG), através de software como QGIS. Um SIG é um ambiente que conta com um conjunto de ferramentas especializadas em adquirir, compilar, processar, analisar, integrar, armazenar, transformar e produzir informações espaciais (GRIGIO, 2003).

A aplicação de SIGs tornou-se uma ferramenta poderosa que, atrelada ao uso de outros softwares de mapeamento, permite não somente maior rigor e precisão nas análises, mas também a atualização periódica desses dados, num intervalo de tempo cada vez menor, gerando uma dinâmica contínua de monitoramento da área a ser estudada (COSTA; SILVA, 2004).

Dentre as geotecnologias, destaca-se o geoprocessamento. Ele pode ser considerado como um conjunto de atividades, sendo definido como o conjunto de

técnicas e métodos teóricos e computacionais relacionados com atividades desde a coleta até o processamento de dados, a fim de gerar novos dados e ou informações espaciais georreferenciadas (ZAIDAN, 2017).

O geoprocessamento viabiliza a identificação de elementos da dinâmica terrestre em imagens de satélite, cartas topográficas, mapas, etc. Segundo Câmara et al. (1996), os SIGs possibilitam a integração numa única base de dados, de informações geográficas provenientes de diversas fontes; e permitem a recuperação, manipulação e visualização destes dados, por meio de algoritmos de manipulação e análises. Além de possibilitar a construção de um banco de dados e a distribuição de dados georreferenciados em mapas.

O geoprocessamento tem grande potencial de uso no Brasil, devido a sua grande extensão territorial, bem como sua grande deficiência de informações adequadas para a tomada de decisões sobre os problemas ambientais, rurais e urbanos. Em especial, há grande potencial para o uso de sistemas com tecnologias de baixo custo e que requerem conhecimentos obtidos localmente (Câmara, Davis, Monteiro, 2001). Nesse sentido, muitas empresas, instituições e pessoas físicas buscam softwares livres ou de código aberto, devido ao seu custo gratuito ou relativamente baixo, além da facilidade de acesso e adequação de uso, pois estes podem ser editados de acordo com suas necessidades.

Os SIGs podem ter aplicações socioeconômicas, com o objetivo de planejamento, tais como uso da terra, ocupação humana e atividades econômicas. E aplicações ambientais, verificando-se clima, gerenciamento florestal, poluição e o uso dos recursos naturais. E ainda as aplicações de gerenciamento, que envolvem planejamento de tráfego urbano, planejamento e controle de obras públicas e planejamento da defesa civil (CÂMARA et al., 1996).

Há no mercado brasileiro e internacional uma série de softwares SIG disponíveis, com custos de aquisição e manutenção de licenças variáveis. Pensando nisso, Stallman idealizou de modo pioneiro o desenvolvimento de um software SIG livre (open source ou de código aberto), e fundou o movimento software livre 'Open Source Geospatial Foundation (OSGeo)', consolidando o conceito de copyleft (Damasio & Ribeiro, 2006). Stallman, quando se refere ao software livre, quer dizer que respeita as liberdades essenciais dos usuários: a liberdade de executá-lo, para estudar e alterá-lo, e de redistribuir cópias com ou sem alterações. Esta é uma questão de

liberdade, não de preço, por isso pense liberdade de expressão, não em cerveja grátis (Stallman, 2009, p. 31).

Também caracteriza as diferenças entre software livre e software open source, embora os dois termos possuam a mesma categoria, a ideia e os valores transmitidos por eles são diferentes. Quase todo software open source —código aberto é um software livre; os dois termos descrevem quase a mesma categoria de software. Mas, eles defendem pontos de vista com base em valores fundamentalmente diferentes. Open source —código aberto— é uma metodologia de desenvolvimento; software livre é um movimento social. Para o movimento do software livre, software livre é um imperativo ético, porque somente este respeita a liberdade dos usuários (Stallman, 2009).

Entre as diversas geotecnologias disponíveis no mercado, para manipulação de dados espaciais, uma delas é o software Quantum Gis (QGIS). O QGIS suporta um grande número de formatos de dados matriciais e vetoriais que são facilmente adicionados usando a arquitetura de plug-in (Censipam, s/d, p. 5; apud Almeida, 2011, p. 174). Trata-se de um sistema resultante de um projeto oficial da Open Source Geospatial Foundation (OSGeo), software gratuito, com interface gráfica simples, de código aberto licenciado segundo a Licença Pública Geral GNU. É multiplataforma, escrito em C++1, o Python2 e, baseado nas bibliotecas Qt43, funciona nas plataformas Mac OSX, Windows, Linux, Unix e Android e permite o emprego de muitos formatos, como o raster, vetorial, bases de dados e várias funcionalidades (Manghi, Cavallini, Neves, 2011); (Almeida, 2011); (QGIS, 2014).

Um dos pontos positivos do QGIS é a facilidade para encontrá-lo para download e ser instalado em computadores com menor capacidade de processamento, possuindo na atualidade um grande número de usuários (Almeida, 2011).

Os usuários participam e contribuem no processo de desenvolvimento do QGIS, pois, podem auxiliar escrevendo novas rotinas para as inúmeras aplicações relacionadas. Isto é possível dado que o QGIS é baseado em uma biblioteca de código aberto.

As funcionalidades do QGIS são ampliadas através de plug-ins. Além dos instalados automaticamente com o programa, o usuário pode buscar e instalar outros plug-ins utilizando o menu do QGIS (ALMEIDA, 2011, p. 175). Outra vantagem, segundo Neto (2010), é a possibilidade de o QGIS importar pontos de GPS por meio de plug-ins.

O Quantum GIS (QGIS) é um SIG que permite análise de dados espaciais, visualização e edição. Possibilita aos usuários criar mapas multicamadas, utilizando várias projeções cartográficas. Estes mapas podem ter várias finalidades como análises ambientais, urbanas, demográficas, dentre outras (PEJOVIĆ, 2014).

3.6 Mapeamento de Suscetibilidade a Movimento de Massa

O mapeamento de áreas suscetíveis aos movimentos de massa tem um papel fundamental na perspectiva do planejamento da ocupação do solo buscando evitar tais áreas suscetíveis. Sendo assim, a acurácia do mapeamento destas áreas suscetíveis são chave para uma série de usuários tanto no setor público quanto privado (BRAGAGNOLO et al., 2020).

Faz-se necessário enfatizar a diferença entre mapas de suscetibilidade e mapas de risco. O mapa de suscetibilidade avalia a possibilidade de ocorrência de um processo ou fenômeno do ponto de vista técnico sem levar em consideração o risco de morte ou a saúde da população, englobando áreas de floresta e cultivo agrícola. Já o mapa de risco envolve um estudo do número de moradias e da população exposta a um determinado possível desastre natural, como os deslizamentos (Christ, 2019). Nesta pesquisa, aborda-se o mapeamento de suscetibilidade de movimentos de massa.

Sobreira e Souza (2021) entendem por suscetibilidade a potencialidade de processos geológicos (movimentos de massa, inundações, enchentes, alagamentos, corridas, erosões, assoreamentos, subsidências e colapsos, processos costeiros, sismos induzidos, etc.), causarem transformações no meio físico independentemente de suas consequências para as atividades humanas. Para os autores, tais estudos devem ocorrer em áreas mais abrangentes, buscando avaliações mais gerais dos terrenos quanto ao seu comportamento e representando os resultados em cartas. Tal produto cartográfico tem caráter quase sempre qualitativo sendo mais eficaz num nível mais macro.

Tabela 2 – Escalas sugeridas para os diferentes mapeamentos

Produto	Escalas de Mapeamento	Processos Geodinâmicos passíveis de identificação
Cartas de Suscetibilidade	1:25.000 ou maiores	movimentos gravitacionais de massa, inundações/enchentes, corridas, erosões, assoreamento, processos costeiros, sismos induzidos.
Carta de Aptidão à Urbanização	1:10.000, 1:5.000 ou maiores	movimentos gravitacionais de massa translacionais, inundações/enchentes/alagamentos, corridas, erosões lineares de grande porte (ravinas), assoreamento, subsidências e colapsos, queda e rolamento de blocos rochosos, processos costeiro.
Cartas de Riscos Geológicos	1:2.000 ou maiores	movimentos gravitacionais de massa – translacionais, rotacionais, em cunha, inundações/enchentes/alagamentos, corridas de lama e detritos, rastejos, erosões lineares (sulcos, ravinas e voçorocas), solapamentos de margem, assoreamento, subsidências e colapsos, expansão de terrenos, queda e rolamento de blocos rochosos, processos costeiros.

Fonte: Sobreira e Souza, 2021.

A avaliação da suscetibilidade, de acordo com Einstein (1988 apud HENRIQUE, 2014), é resultante da combinação das informações do meio físico (tipo de solo, declividade, clima, etc.) e do mapa de inventário de escorregamentos. Os atributos (indicadores) descritos neste mapa são analisados em termos qualitativos, indicando, por exemplo, baixa, média ou alta suscetibilidade.

Mapas de suscetibilidade, para Cooke & Doorkamp (1990), representam um estágio além do mapa de inventário, ou mesmo do mapa geomorfológico, nos quais se definem tendências à instabilidade em adição às vertentes que já sofreram escorregamentos.

Fernandes e Amaral (1996) também concordam que o mapa de suscetibilidade deve conter informações sobre a probabilidade espacial, probabilidade temporal, tipos, magnitudes e velocidades de avanço dos escorregamentos de uma determinada área, o qual corresponde ao mapa de perigo de escorregamento (landslide hazard maps) tratado por Varnes (1984 apud HENRIQUE, 2014) e Einstein (1988 apud HENRIQUE, 2014), entre outros. Os autores acima consideram que os mapas de suscetibilidade a escorregamentos constituem-se em instrumentos técnico-científicos fundamentais para o controle e redução das consequências destes acidentes.

No entanto, como alertam Cooke & Doorkamp (1990), toda predição de perigo de escorregamento precisa ser revisada, sempre que se tenha uma significativa alteração na gerência territorial. Os efeitos da ação do homem na vertente podem tanto aumentar como diminuir o potencial de escorregamentos e as mudanças induzidas pela ação deste agente são, normalmente, muito mais rápidas que a maioria das mudanças naturais.

O desenvolvimento dos SIGs e dos métodos modernos de modelamento espacial permitiram um considerável aumento na produção de estudos sobre metodologias de avaliação de perigos e de previsão de áreas instáveis baseados em SIGs (VAN WESTEN, 2004).

A partir da observação do mapa de suscetibilidade existente, determina-se, espacialmente, áreas que sejam mais seguras ou que apresentem maiores riscos para a ocupação humana, o portal da CPRM disponibiliza um mapa on-line com o título “Prevenção de Desastres” onde é possível ter acesso a áreas suscetíveis à risco dentro de um município. Na Figura 42 está representada a carta de suscetibilidade a movimentos de massa do município de Presidente Getúlio, elaborado pelo CPRM (2015), que classifica a área de estudo quanto ao seu nível de risco, sendo em: alta, média e baixa.

A CPRM no intuito de contribuir para a interpretação das classes de suscetibilidade a movimentos de massa e inundação, participa na elaboração de mapas de padrões de relevo para cada município em análise. Este produto é elaborado de forma padronizada a partir da aplicação da Biblioteca de Padrões de Relevo, que visa disponibilizar uma compartimentação geomorfológica proposta pela metodologia de mapeamento da suscetibilidade de municípios. Os levantamentos abrangeram 300 municípios brasileiros até janeiro de 2016 e foram realizados em parceria com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, o Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia - Censipam, a Universidade Federal do Paraná - UFPR e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE.

Os produtos gerados pelo projeto compreendem:

- a) Cartas de Suscetibilidade contendo as áreas suscetíveis e encartes dos temas, tais como hipsometria, declividade, padrões de relevo, dados hidrológicos e, ocasionalmente, litologias (formato PDF).
- b) Banco de dados em SIG (formatos shapefile e raster). As informações sobre o conteúdo e as especificações do SIG podem ser consultadas através do Glossário de Abreviações dos Dados Vetoriais e Matriciais.
- c) Visualizador do banco de dados geográfico do projeto: Mapa On-Line - Prevenção de Desastres

3.7 Mapeamento do Uso e Ocupação do Solo

A intensa ocupação realizada de forma desordenada e não planejada acarreta sérios problemas e conflitos das mais variadas ordens, apresentando-se como um dos grandes fatores responsáveis pelo rompimento do equilíbrio dinâmico dos ambientes costeiros, ampliando, entre outros, a frequência e a intensidade da ocorrência de processos geodinâmicos exógenos que comprometem a qualidade ambiental e de vida da população. Assim, além dos condicionantes naturais (processos e fenômenos naturais), o uso e ocupação do solo associados às diversas formas de intervenção humana, destacam-se como fatores indutores e/ou aceleradores, de forma direta ou indireta, de perigos potencializadores de situações de risco (erosão costeira, movimentos de massa, enchentes e inundações, erosão fluvial, assoreamento de canais de drenagem e poluição ambiental), ao mesmo tempo que são afetados, apresentando-se como o principal alvo frente a ocorrência desses perigos (TOMINAGA, 2004).

A forma atual de uso e ocupação do solo tem provocado diversos tipos de impactos em níveis variados ao meio ambiente. A impermeabilização do solo, decorrente da crescente urbanização e expansão das áreas urbanas, a poluição que se torna cada vez mais evidente, a erosão do solo devido ao manejo inadequado, a poluição dos corpos hídricos por despejo de dejetos e efluentes, o desmatamento em função da exploração cada vez maior dos recursos, como a madeira, a perda da biodiversidade, entre muitos outros são exemplos destes impactos que degradam o meio ambiente e diminuem a sua capacidade de regeneração e convivência salutar com a espécie humana. (ASSIS; CALADO; SOUZA; SOBRAL, 2014)

De acordo com Santos e Santos (2010), o mapeamento do uso e cobertura do solo tem sido considerado por muitos autores uma importante ferramenta para um melhor conhecimento dessas rápidas transformações da paisagem, porque permite a obtenção de informações para construção de cenários ambientais e indicadores, que servirão de subsídios práticos à avaliação da capacidade de suporte ambiental, proporcionando assim o direcionamento de práticas conservacionistas aliadas a um conjunto de diferentes estratégias de manejo a serem empregadas, com vista ao desenvolvimento sustentável de determinada região.

A expressão uso do solo pode ser compreendida como a maneira pela qual o espaço está sendo ocupado pelo homem. O levantamento do uso do solo é de grande

importância, na medida em que os efeitos do mau uso causam deterioração no ambiente. Os processos de erosão intensos, as inundações, os assoreamentos desenfreados de reservatórios e cursos d'água são consequências do mau uso deste solo (FERREIRA et al, 2005)

O mapa de uso e ocupação do solo procura representar a forma como o espaço está sendo ocupado pelas diversas atividades desenvolvidas pelo homem. O conhecimento das características da ocupação de um determinado uso como um dos fatores condicionantes do perigo e da vulnerabilidade é de fundamental importância nas avaliações de risco (FUJIMOTO et al. 1996; HOLL et al. 2001; ROSSINI-PENTEADO et al. 2007).

Dessa maneira, o mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal, mediante a utilização de técnicas de geoprocessamento, representa importante instrumento para o planejamento e administração da ocupação do meio físico, possibilitando a avaliação e o monitoramento do mesmo, a fim de garantir a conservação de seus recursos naturais (BORGES et al, 2008). Nessa mesma conjuntura, a evolução dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) possibilitou sua crescente utilização como ferramenta de auxílio à análise espacial, tornando possível avaliar cenários geográficos com rapidez e consequentemente tornar mais ágil as tomadas de decisão tanto em nível governamental assim como no gerenciamento de recursos hídricos, dentre outras utilizações. (ASSIS; CALADO; SOUZA; SOBRAL, 2014).

Segundo Souza e Reis (2011), o mapeamento do uso dos solos em uma determinada região é relevante e também necessário para possibilitar a compreensão da organização do espaço e suas mudanças, tendo em vista que o meio ambiente sofre uma série de transformações ao longo do tempo, que são decorrentes de processos naturais e, sobretudo pelas ações antrópicas. O uso e ocupação inadequados do solo podem comprometer a integridade das bacias hidrográficas (ARCOVA; CICCIO, 1999; DONATIO et al., 2005). Carvalho et. al. (2000) descreve que a impermeabilização do solo por intermédio da expansão urbana pode afetar a percolação das águas pluviais e o regime hídrico. O desmatamento pode levar ao surgimento de feições erosivas e assoreamento dos rios e reservatórios. Já a extensiva expansão agrícola pode ocasionar a contaminação das águas por agrotóxicos e fertilizantes através do processo natural de lixiviação (MACEDO, 2004). Logo, entendendo a importância dos recursos naturais dentro do contexto municipal, torna-se imprescindível conhecer os espaços territoriais para que seja possível existir

um planejamento integrado do uso e ocupação do solo. O emprego do sensoriamento remoto na obtenção de dados relacionados ao uso e ocupação do solo para monitoramento e análises dos recursos naturais tem sido bastante difundida. Nunes e Roing (2015), apontam que os sensores atualmente disponíveis possuem diferentes resoluções espaciais, espectrais, radiométricas e temporais, possibilitando maiores níveis de informação a serem extraídos dos dados. Dentre as informações que resultam na classificação do uso e ocupação do solo, encontram-se a forma, a textura, a resposta espectral e o contexto espacial dos objetos (LOCK; KIRCHNER, 1997). Atualmente, a tendência dos classificadores automáticos é a incorporação dessas variáveis a partir da utilização de técnicas como OBIA (do inglês *object-based image analysis*), que utilizam a segmentação de objetos, o conceito de lógica nebulosa e o conhecimento prévio do usuário (HAY; CASTILLA, 2006).

4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudos desta pesquisa é o município de Presidente Getúlio, situado no Vale do Itajaí, região norte do Estado de Santa Catarina. A distância entre a cidade e Florianópolis, capital do Estado, é de 215 km. Limita-se ao Norte com os municípios de Dona Emma e José Boiteux; ao Sul com os municípios de Laurentino, Rio do Oeste e Rio do Sul; a Leste com Ibirama e a Oeste com Rio do Oeste. De acordo com dados do IBGE (2020) possui uma área total de 297,160 km². Na Figura 11, é possível identificar a cidade de Presidente Getúlio perante ao Estado de Santa Catarina. A representação do município está sendo delimitada na imagem pela cor vermelha.

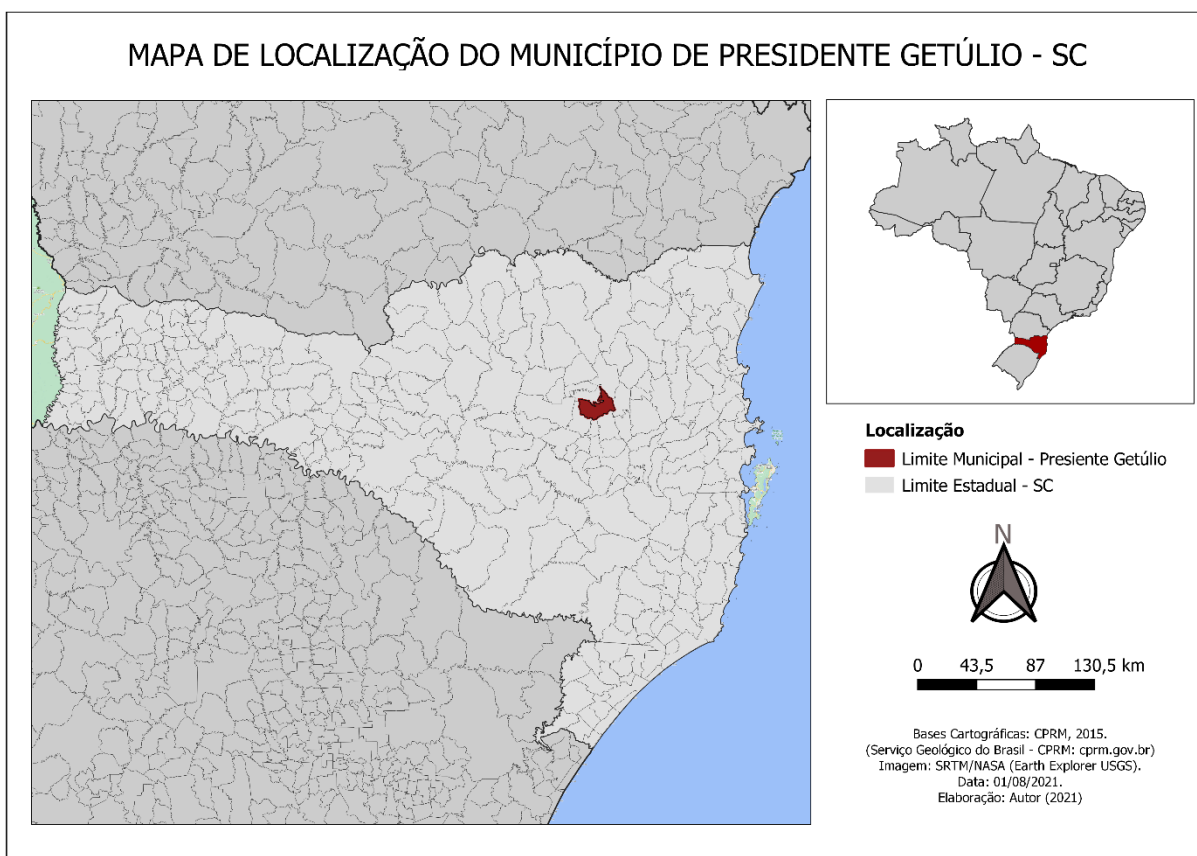


Figura 11 – Localização de Presidente Getúlio em Santa Catarina

Fonte: Autora (2021)

Na Figura 12 identifica-se a delimitação da área geográfica do município, suas divisas territoriais bem como a rodovia SC-340 que faz ligação com os municípios de Ibirama, Dona Emma e interliga demais cidades de pequeno porte da região, como por exemplo, Witmarsum e Vitor Meireles

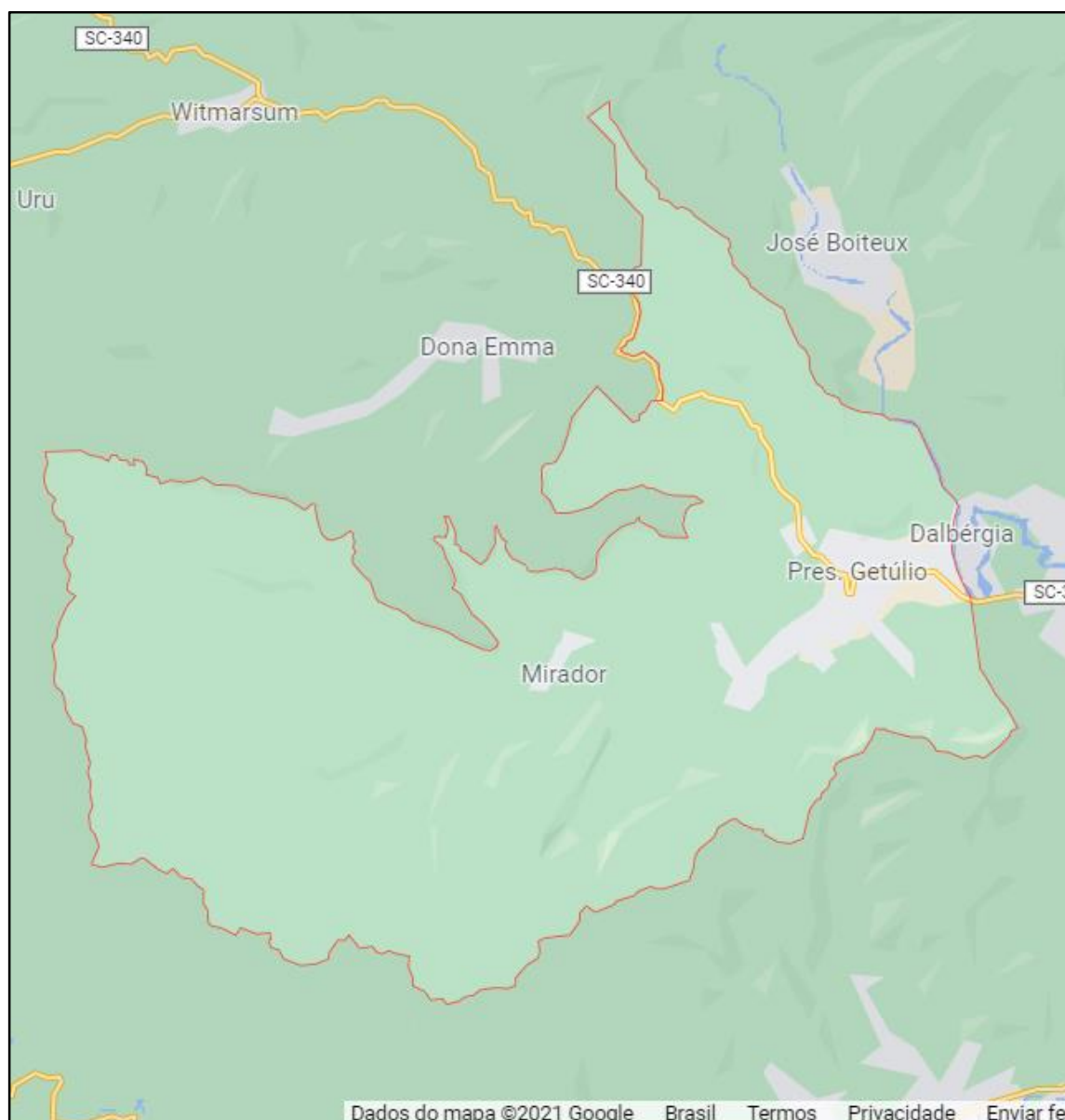


Figura 12 – Delimitação da área de Presidente Getúlio

Fonte: Google Earth (2021).

De acordo com IBGE (2010), referente a levantamentos realizados no último censo, consta que o município possuía 14.887 habitantes, porém, em 2020 foi estimada uma população de 17.726 pessoas. A área estimada do município é de 297.160 Km² e, na atualidade a maior parte de sua população reside em área urbana.

Na Figura 13 é possível ver o histórico da ocupação do solo de Presidente Getúlio entre os anos de 1970 a 2010.

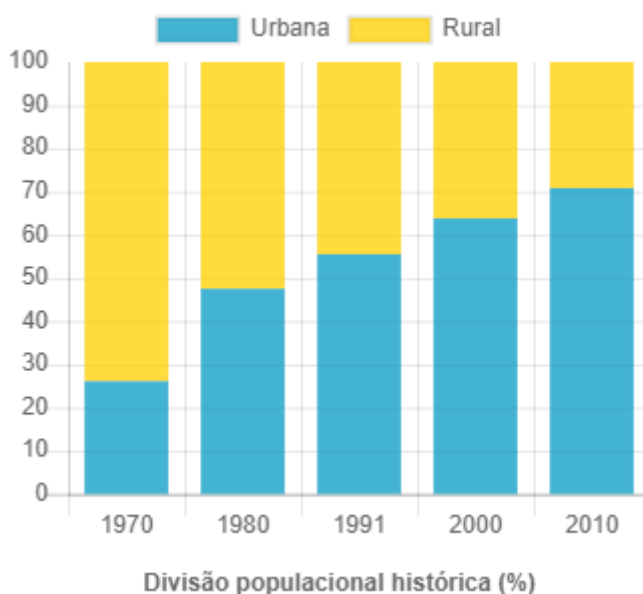


Figura 13 – Histórico da ocupação do solo na área de estudos

Fonte: AMAVI, 2021.

Em dezembro de 2020, a cidade foi alvo de noticiários e reportagens de grande circulação, dentre eles destacam-se, o NSC Total, G1 Santa Catarina, SBT News, por conta de um desmoronamento de terra envolvendo perdas humanas, materiais e econômicas. O caso de registro de desmoronamento no município aconteceu no dia 17 de dezembro de 2020 em detrimento às fortes chuvas que assolaram a região do Alto Vale do Itajaí no dia 16 de dezembro de 2020.

Este evento deixou 12 mortos, de acordo com os dados da Defesa Civil, e salienta-se que com o ocorrido, várias pessoas ficaram feridas, desabrigadas e desalojadas, foram também registrados danos sociais, econômicos e ambientais à sociedade habitante do local. Incidentes como esse, desestruturam a vida das pessoas e levam tempo considerável para que a vida de todos volte à normalidade.

Por isto é importante a fiscalização por parte dos órgãos responsáveis e responsabilidade por parte dos habitantes, no que se refere às normas que devem ser obedecidas ao se construir e áreas que possam ser ocupadas para moradia, garantindo assim o bem-estar, qualidade de vida e segurança.

4.1 Clima da região em análise

A área de estudos está inserida na Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí-Açu. Esta bacia sofre frequentemente com eventos de inundação. A região em que ocorreu o desmoronamento se encontra entre as Serras do Leste Catarinense e os Patamares

do Alto do Rio Itajaí com grande variação de altitude. A formação de planalto constitui os divisores de água da bacia, com ocorrência de várias cabeceiras de rios, muitas atingidas por movimentos de massa (MICHEL et al, 2021).

A bacia do Itajaí-Açu apresenta clima temperado de categoria subquente, com temperatura média oscilando a partir da foz em direção às encostas de 21 °C e 18 °C (FRAGA, 2003).

As precipitações são bem distribuídas na região, sendo regulares durante o ano todo. De encontro as condições climáticas esperadas para a região, na bacia do Itajaí-Açu há uma maior concentração de precipitação nos meses de verão: dezembro, janeiro, fevereiro e março (NERY et al., 2000). O valor de precipitação média anual para a região varia de 1500 a 1600 mm. A elevada pluviosidade, aliada às encostas declivosas da região, favorece a fluidificação de movimentos de massa e, assim, a ocorrência de fluxos de detritos,

A caracterização climática do Alto Vale do Itajaí tem como base as informações contidas no Zoneamento Agroecológico e Socioeconômico do Estado de Santa Catarina (EPAGRI, 1999). Para Presidente Getúlio, podem ocorrer, em termos normais, de 2,8 a 7,7 geadas por ano. Os valores de horas iguais ou abaixo de 7,2°C são relativamente baixos (de 164 a 437 horas acumuladas por ano). A insolação varia de 1.566 a 1.855 horas nesta sub-região.

A figura 14 mostra a nebulosidade associada a este sistema de baixa pressão que provocou a chuva abundante na região do Vale do Itajaí. No evento de 2020 o município de Presidente Getúlio foi um dos mais atingidos. A chuva acumulada em 24 horas foi entre 80 a 100 mm, o que é equivalente ao esperado para 20 dias de chuva, pois a média mensal da região é de 153 mm. (MARTINS, 2020)

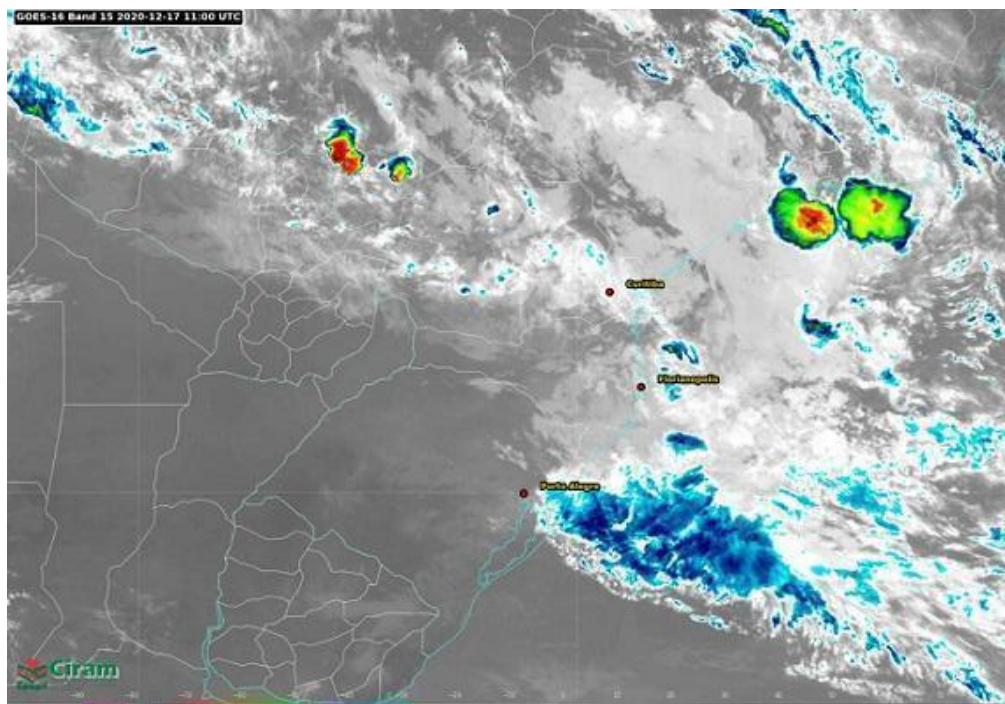


Figura 14 – Imagem de satélite GOES do dia 17/12/2020

Fonte: EPAGRI/CIRAM (2020).

De acordo com dados disponibilizados pela EPAGRI, o município apresenta uma temperatura média anual variando entre 18°C a 19°C (Figura 15).

TIPO CLIMÁTICO, TEMPERATURA, PRECIPITAÇÃO E UMIDADE RELATIVA

ÍTEM ANALISADO	UNIDADE DE MEDIDA	VALOR REGISTRADO
Tipo climático (Koeppen)	Especificação	(Cfa) Subtropical (mesotérmico úmido, com verão quente)
Temperatura média anual	°C	18 - 19
Precipitação média anual	mm	1.300 a 1.500
Precipitação máxima em 24 horas	mm	120
Umidade relativa do ar (média)	%	82 a 84

Figura 15 – Aspectos do clima

Fonte: EPAGRI/CLIMERTH (2003)

Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), nos 5 dias que antecederam o evento, a região do Alto Vale do Itajaí acumulou cerca de 125 mm de precipitação (Figura 16).

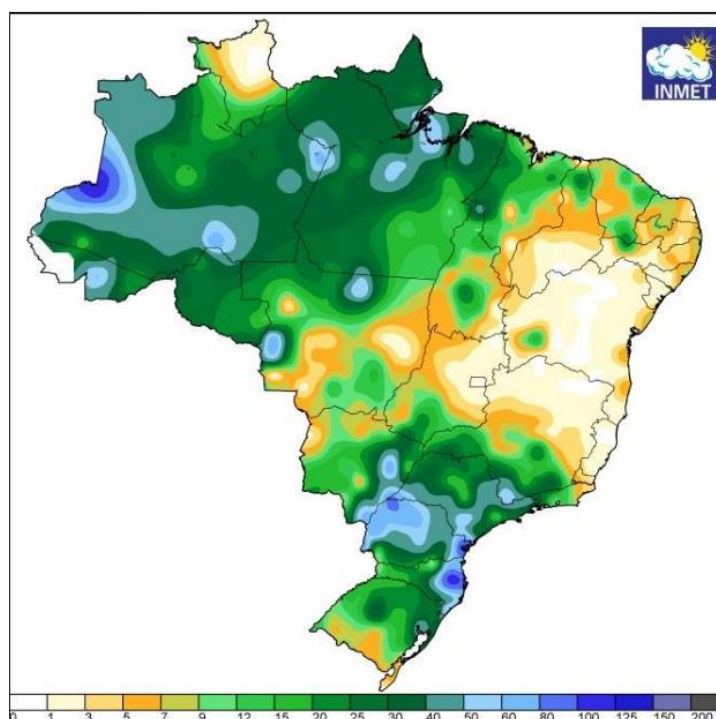


Figura 16 – Precipitação acumulada nos últimos 5 dias anteriores a 17/12/2020

Fonte: INMET (2021).

Dentre os municípios afetados, Presidente Getúlio conta com pluviômetros automáticos disponibilizados pelo CEMADEN, onde os valores são armazenados em tempo real a cada 10 minutos. Os valores acumulados observados nos pluviômetros locais revelam grande variação dos dados estimados pelo INMET, em escala nacional. Entre o momento do evento e as 96 h anteriores para Presidente Getúlio foi registrado uma precipitação de 242 mm. Já para os dados acumulados mensais o valor foi de 368 mm MICHEL et al (2021).

A precipitação seguiu um padrão similar no município, no dia 13 de dezembro próximo ao horário das 21h00, ocorreu um pico intenso de precipitação que seguiu até as 00h00. No dia 14 houve alternância entre ausência de precipitação e uma pequena garoa, que começou as 21h30 e seguiu para uma precipitação ininterrupta até aproximadamente às 11h00 do dia 15 de dezembro. Houve um período sem precipitação que se seguiu até a noite do dia 16 de dezembro, quando se iniciou um evento intenso em áreas nas quais o solo já se encontrava com alta umidade, culminando nos movimentos de massa e enxurradas MICHEL et al (2021).

Em Presidente Getúlio o pluviômetro iniciou o registro de precipitação as 22h10 do dia 16 de dezembro, cessando às 01h50 do dia 17 de dezembro, totalizando 124 mm.

Na Figura 17 mostra a distribuição da precipitação ocorrida em Presidente Getúlio durante a chuva intensa ocorrida.

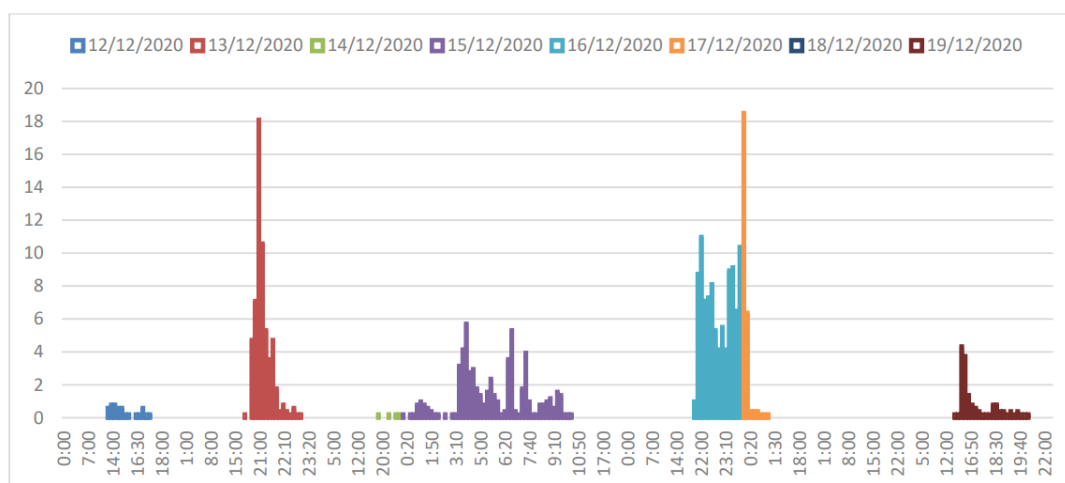


Figura 17 – Distribuição da precipitação para Presidente Getúlio

Fonte: MICHEL et al (2021)

4.2 Hidrografia

Os rios da bacia hidrográfica do rio Itajaí-Açu apresentam um perfil longitudinal bastante irregular no curso superior, onde a topografia é acidentada. No curso inferior, os rios formam meandros, apresentando perfis longitudinais de baixas declividades, caracterizando-se como rios de planície MICHEL et al (2021).

O maior curso d'água desta bacia é o rio Itajaí-Açu, suprido por 54 rios e ribeirões, sendo os principais formadores os rios Itajaí do Oeste e Itajaí do Sul como ilustrado na Figura 18. Estes rios se encontram no município de Rio do Sul, onde, juntos, passam a se chamar rio Itajaí-Açu. Os principais tributários são: o rio Itajaí do Norte, que desemboca no rio Itajaí-Açu no município de Ibirama e, os rios Benedito e Itajaí-Mirim, que desembocam no município de Itajaí. O rio Itajaí-Açu percorre cerca de 200 km desde suas nascentes até a foz no Oceano Atlântico, localizada entre as cidades de Itajaí e Navegantes (COMITÊ DO ITAJAÍ, 2005).

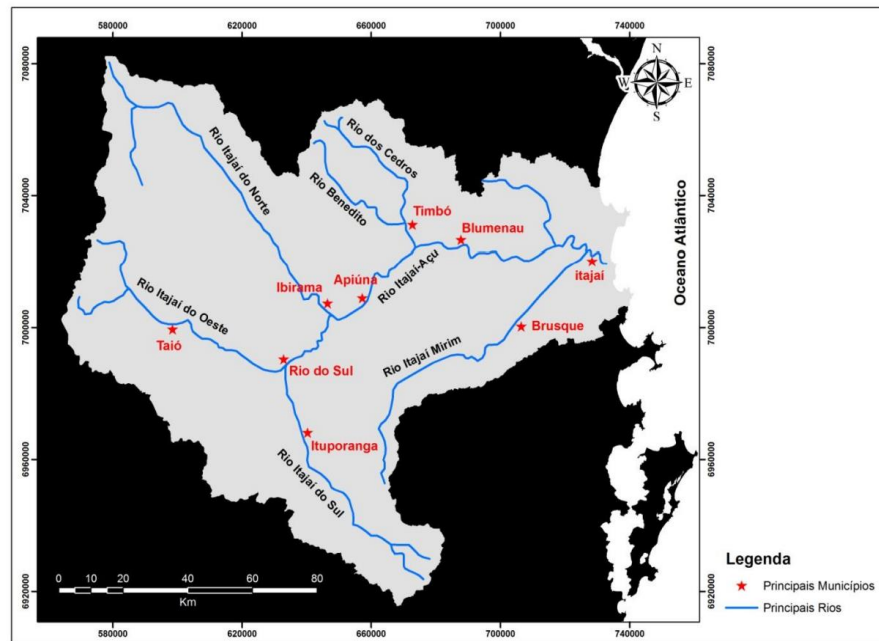


Figura 18 – Principais cursos de água da bacia hidrográfica do rio Itajaí-Açu

Fonte: Pacheco (2011)

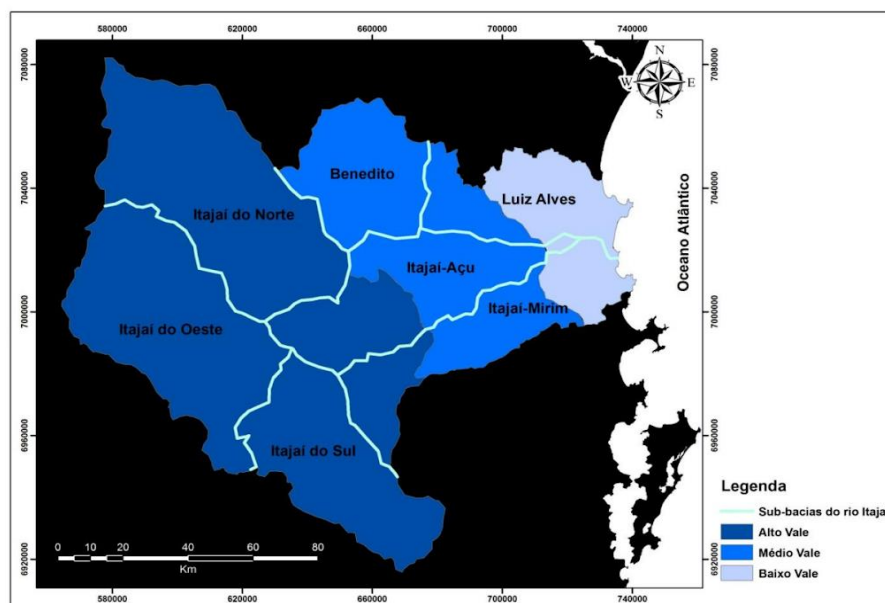


Figura 19 – Divisão da bacia hidrográfica do rio Itajaí-Açu em Alto Vale, Médio Vale e Baixo Vale

Fonte: Pacheco (2011)

4.3 Geologia

Geologicamente, o perímetro urbano do município de Presidente Getúlio está situado em uma região que não apresenta grande complexidade estratigráfica, onde

os estratos encontram-se dispostos horizontalmente, com basculamentos muito suaves e em áreas tectonicamente afetadas (Figura 20).

O principal curso fluvial da área mapeada tem orientação NE-SW, concordante aos grandes lineamentos estruturais regionais. Os afluentes, por outro lado, apresentam orientação NW-SE, orientados concordantemente aos lineamentos estruturais regionais. (PELLERIN et al.; 2015)

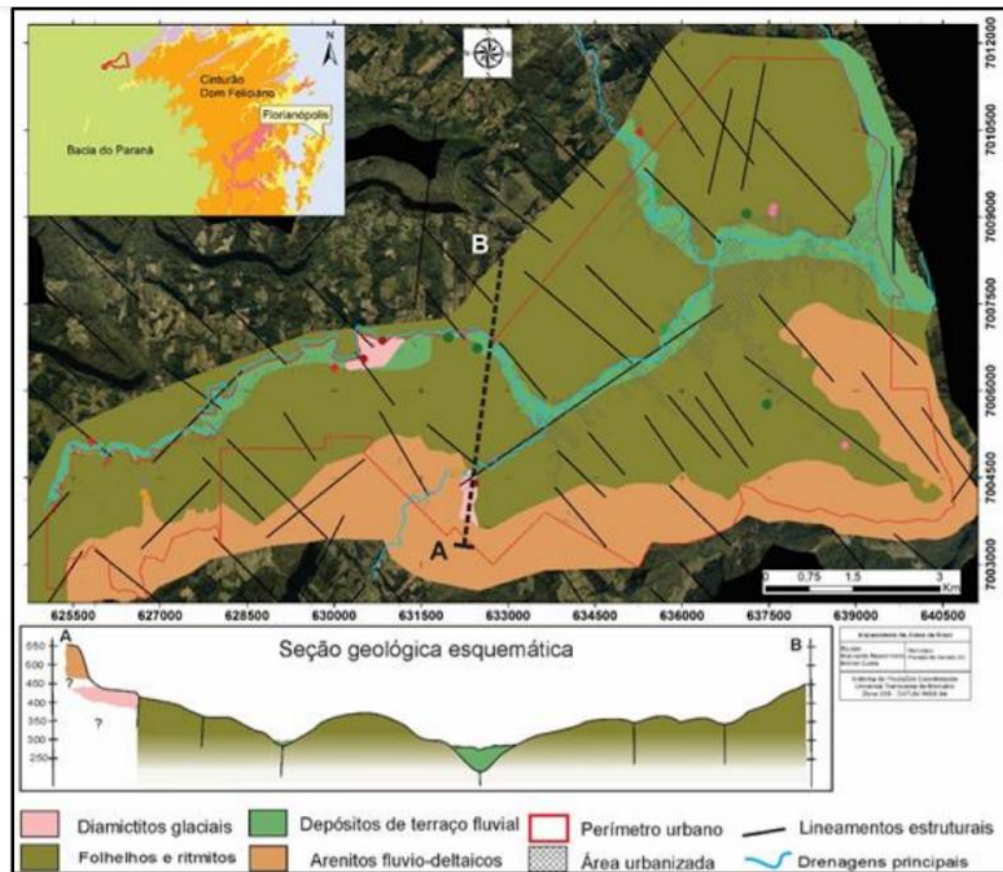


Figura 20 – Mapa e seção geológica do perímetro urbano central do Município de Presidente Getúlio, elaborado a partir da análise de afloramentos.

Fonte: Lima (2010)

Três unidades litoestratigráficas foram identificadas da base para o topo: (1) ritmitos pelito/siltito (turbiditos); (2) diamictidos arenosos e argilosos glaciais; (3) arenitos flúvio-deltaicos. As fácies sedimentares indicam atributos compatíveis com depósito da Formação Taciba (Grupo Itararé).

O mapeamento geológico envolve a realização e o registro de observações geológicas objetivas - em campo - para a produção de um mapa geológico que contenha dados relativos aos tipos de rochas presentes nas áreas, aos contatos entre as litologias, às estruturas geológicas, aos depósitos superficiais e às feições

topográficas e geomorfológicas. Sua finalidade é ampla, mas geralmente direcionada à pesquisa mineral (OLIVEIRA & MONTICELLI, 2018). A Figura 21 mostra o mapa geológico do município disponibilizado pela CPRM.

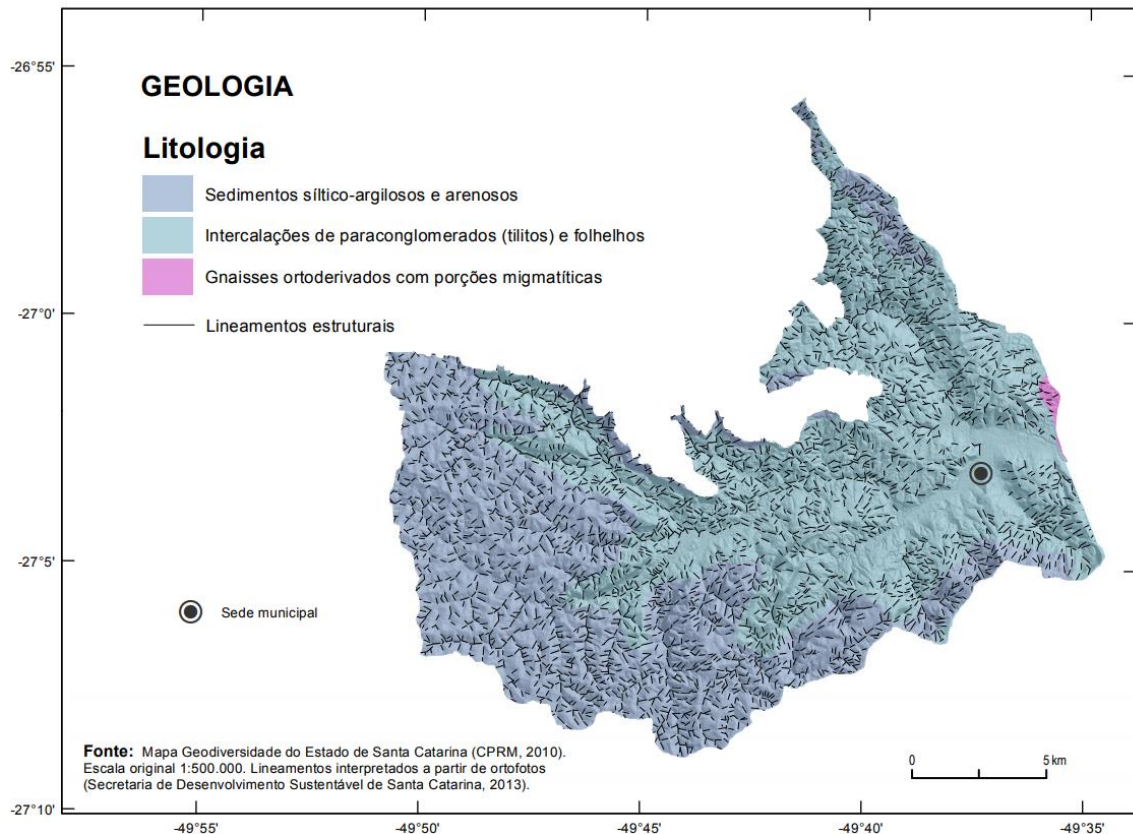


Figura 21 – Mapa geral da geologia de Presidente Getúlio disponibilizado pela CPRM

Fonte: CPRM (2010)

O Vale assenta-se sobre uma área formada por um dos mais extensos derramamentos vulcânicos do período Mesozóico (cerca de 250 milhões de anos) e faz parte do complexo da Serra do Mar. Apresenta relevo de dissecação montanhosa, situado no limite oriental da cobertura sedimentar da bacia do Paraná e do embasamento cristalino do Leste Catarinense. Os arenitos lito-feldspáticos e conglomerados pré-cambrianos da Formação Gaspar do Grupo Itajaí, em contato por falha com o Complexo Granulítico de Santa Catarina, formam o essencial do substrato do domínio geomorfológico. (SENEM & MARCELINO, 2013)

4.4 Geomorfologia

A área em análise localiza-se em região de Serras do Leste Catarinense as quais caracterizam-se por um conjunto de serras cristalinas subparalelas com cotas altimétricas que variam entre 100 a 1200 metros, diminuindo em direção ao litoral (SANTA CATARINA, 2016).

A bacia hidrográfica do Rio Itajaí-Açu sofre frequentemente com eventos de inundação. A região em que ocorreu o desastre se encontra entre as Serras do Leste Catarinense e os Patamares do Alto do Rio Itajaí e apresenta grande variação de altitude. A formação de planalto constitui os divisores de água da bacia, com ocorrência de várias cabeceiras de rios, muitas atingidas por movimentos de massa. A figura 22 traz algumas imagens da região após o evento. (MICHEL et al., 2020).

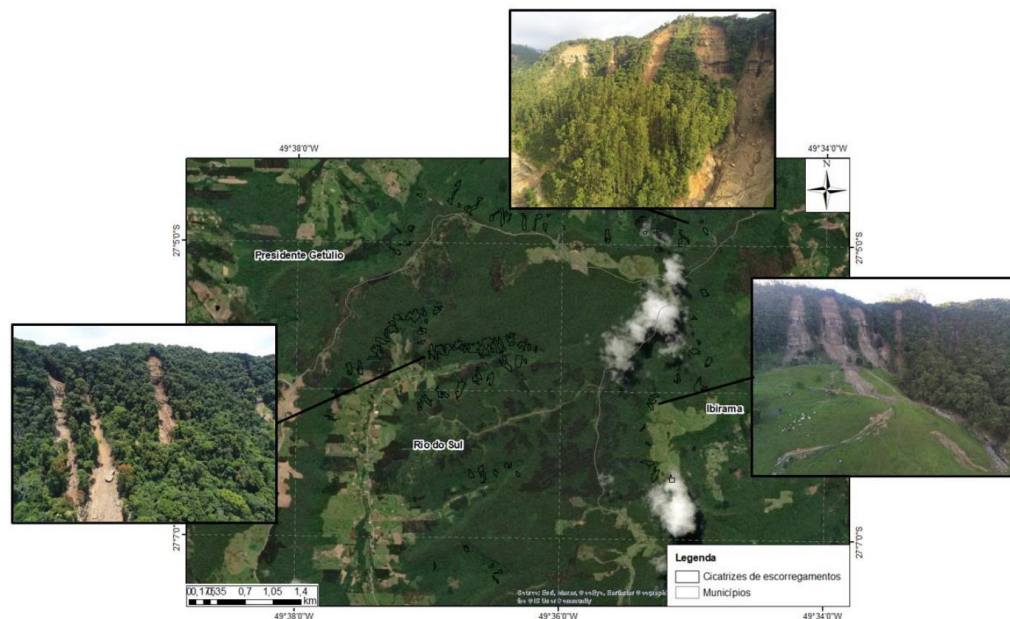


Figura 22 – Local de ocorrência de desastre e cicatrizes de escorregamentos

Fonte: Biehl (2021)

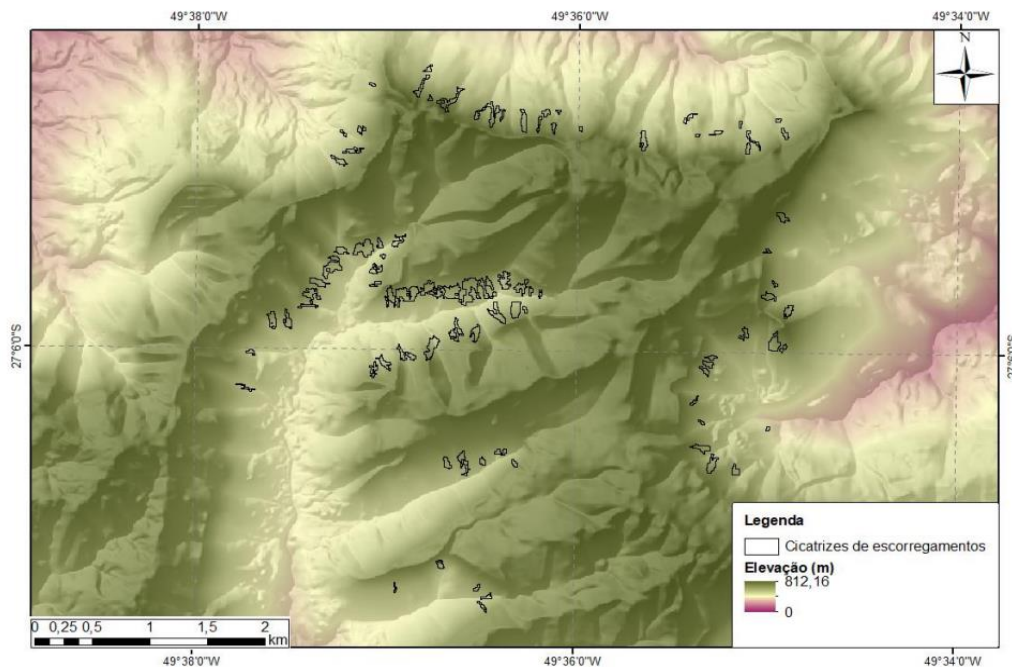


Figura 23 – Mapa altimétrico da região

Fonte: Biehl (2021)

Esta formação de relevo é constituída por rochas sedimentares e apresenta forte dissecação pelos rios com vales profundos, com desníveis que podem chegar a 500 m. Mesmo com a predominância de vales muito encaixados, são comuns as planícies de vales abertos onde há o estabelecimento de cidades, tais como Rio do Sul, Ibirama e Presidente Getúlio. A diferença altimétrica na região, formada pelos patamares citados, são apresentados na Figura 23.

A Figura 24 apresenta o mapa de declividades da região, bem como as classes de relevo relacionadas segundo EMBRAPA (1979)

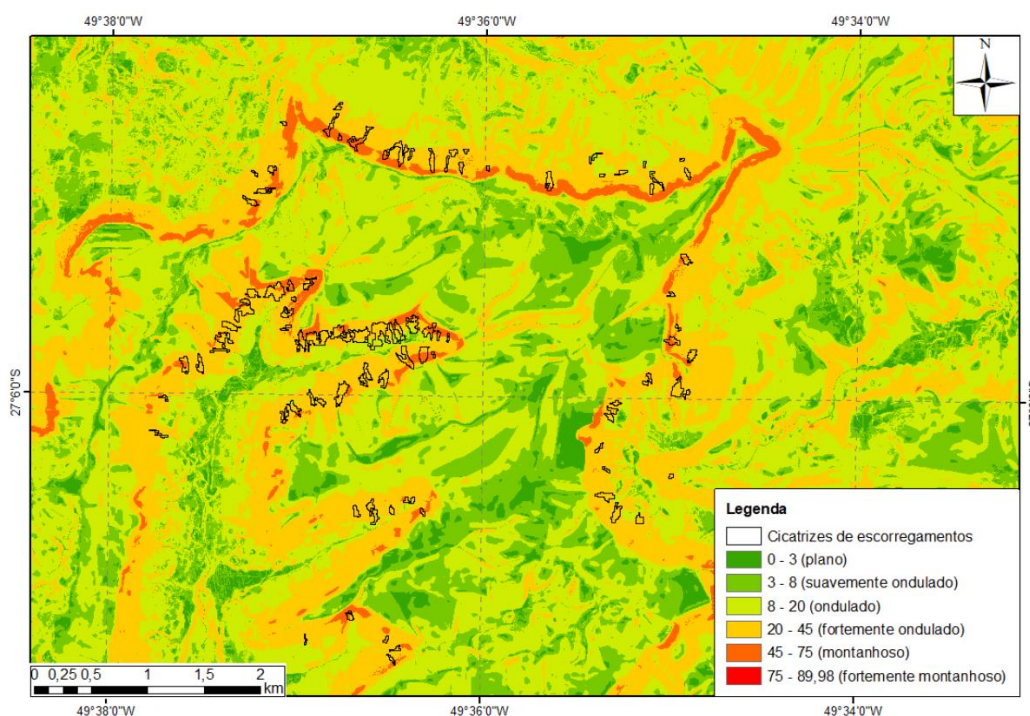


Figura 24 – Mapa de declividades

Fonte: Biehl (2021)

Analisando-se as declividades mostradas na figura acima, verifica-se haver predominância de relevo ondulado a fortemente ondulado, com ocorrência de regiões montanhosas a fortemente montanhosas. As cicatrizes de escorregamento se concentram nas encostas mais declivosas. (MICHEL et al., 2021)

4.5 Solo

De acordo com um estudo elaborado pela S.A. (2020), o uso e ocupação do solo na área de estudo da LD 138kV Salto Pilão – Presidente Getúlio é caracterizado principalmente pela vegetação arbórea/arbustiva, representando 44,17% da cobertura do uso do solo, seguido pela pastagem com 18,70%, silvicultura com 15,87% e solo agrosilvipastoril com 13,13%.

A Lei do Plano Diretor do município de Presidente Getúlio define a área de influência do empreendimento como macrozona rural e macrozona urbana. Define a macrozona rural com destinação predominantemente agropecuária ou extrativista, tendo como um dos objetivos incentivar o turismo rural e o ecoturismo, disciplinando a implantação de equipamentos e de serviços nessas áreas. A macrozona urbana são áreas com destinação predominantemente urbana, delimitadas pelos atuais

perímetros urbanos da sede e dos distritos, áreas de expansão urbana e núcleos rurais com características urbanas.

Na Figura 25 é possível observar os macrozoneamentos existentes. De acordo com o Plano Diretor Físico Territorial de Presidente Getúlio (2019), as delimitações das zonas visam atingir os objetivos de:

- I) Incentivar, coibir e qualificar a ocupação, compatibilizando a capacidade de infra - estrutura instalada com a proteção ao meio ambiente;
- II) Contenção da expansão desordenada da área urbana que possa acarretar problemas de natureza sócio-ambiental;
- III) Minimização dos custos de implantação, manutenção e otimização da infraestrutura urbana e dos serviços públicos essenciais;
- IV) Ordenar o processo de expansão territorial visando o desenvolvimento sustentável do Município.

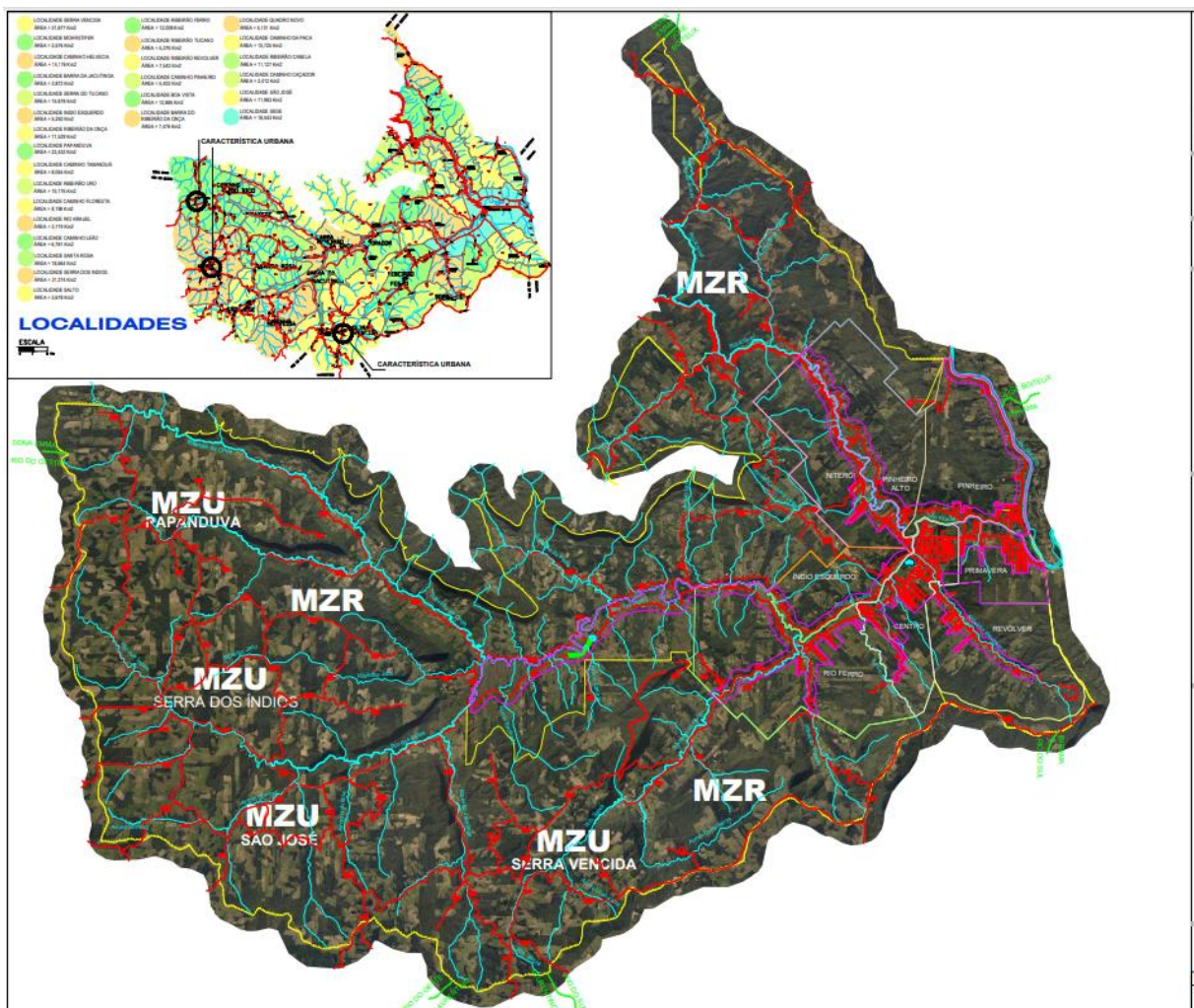


Figura 25 – Mapa de Macrozoneamento Urbano e Rural

Fonte: Câmara Municipal de Presidente Getúlio (2019)

5 MÉTODO

Visando alcançar os objetivos desta pesquisa e com base no embasamento teórico-metodológico apresentado anteriormente, a orientação metodológica desta pesquisa segue descrita abaixo:

5.1 Tipo de Pesquisa

Este trabalho, no que se propõe em sua metodologia e do ponto de vista de seus objetivos, pode ser classificado como uma pesquisa exploratória. Conforme Gil (2002), tal classe de pesquisa é caracterizada pela busca de maior familiaridade com o problema. O planejamento da pesquisa exploratória costuma ser bastante flexível, de modo que permita a consideração dos mais variados aspectos relativos ao fato estudado.

Quanto à classificação sob o critério nos procedimentos técnicos utilizados para coleta de dados, este trabalho é classificado como um estudo de caso, o qual se constitui como um estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos. A unidade-caso foi definida do ponto de vista espacial, sendo esta a caracterização dos movimentos gravitacionais de massa do município de Presidente Getúlio/SC. O estudo de caso se utiliza de várias técnicas de coleta de dados (GIL, 2002). Para este trabalho, os dados foram obtidos a partir de pessoas, tal como depoimentos pessoais, entrevistas, e também a partir de fontes de “papel”, na forma de pesquisa bibliográfica e documental. A pesquisa bibliográfica foi realizada através da análise de materiais já elaborados, tal como livros e artigos científicos, resultado da contribuição de diversos autores sobre um determinado assunto. Já a pesquisa documental foi realizada pela análise de materiais não tratados analiticamente, tal como os documentos na forma de lei, imagens de satélite e mapas.

5.2 Procedimento Metodológico

O método adotado para esta pesquisa é descrito nos subitens abaixo, e engloba as atividades representadas no organograma a seguir:



Figura 26 – Organograma

Fonte: Autora (2021)

5.2.1 Seleção da área de estudos

A escolha da área de estudos deu-se em função da grande quantidade de desastres naturais que ocorrem no Estado de Santa Catarina, mais precisamente na região denominada Vale do Itajaí. Portanto, o estudo desenvolveu-se no município de Presidente Getúlio - SC, uma região que periodicamente apresenta problemas de ordem social e econômica, em função da ocorrência de processos morfodinâmicos. Baseando-se na premissa inicial e, a partir da leitura de diversas bibliografias: SCHETTINI (2001), MICHEL et al (2021), COMITÊ DO ITAJAÍ (2005), FRAGA (2003) e PACHECO (2011) observou-se os recorrentes desastres na região em análise. Recentemente, no ano de 2020, o município foi alvo de mais um desastre, no qual a região foi surpreendida por um evento de precipitação extrema, fato este que resultou

na deflagração de diversos movimentos de massa e consequentes inundações bruscas (enxurradas), resultando em prejuízos materiais e perdas de vidas humanas.

O evento extremo ocorreu na região da divisa entre três municípios de Santa Catarina: Presidente Getúlio, Ibirama e Rio do Sul. Os municípios têm como divisa comum uma área montanhosa, denominada de Serra do Mirador. Estão localizados na mesorregião do Vale do Itajaí, região afetada recorrentemente por precipitações intensas e, assim, por desastres hidrológicos e geológicos. O desastre de 2008 (FRANK & SEVEGNANI, 2009), que afetou todo o Vale do Itajaí, é frequentemente citado como referência, contudo, eventos similares, porém de menor magnitude, ocorreram também nos anos de 2011, 2013, 2015 e 2017 na região. A Figura 27 apresenta a localização dos movimentos de massa, bem como os municípios atingidos no evento de dezembro de 2020.

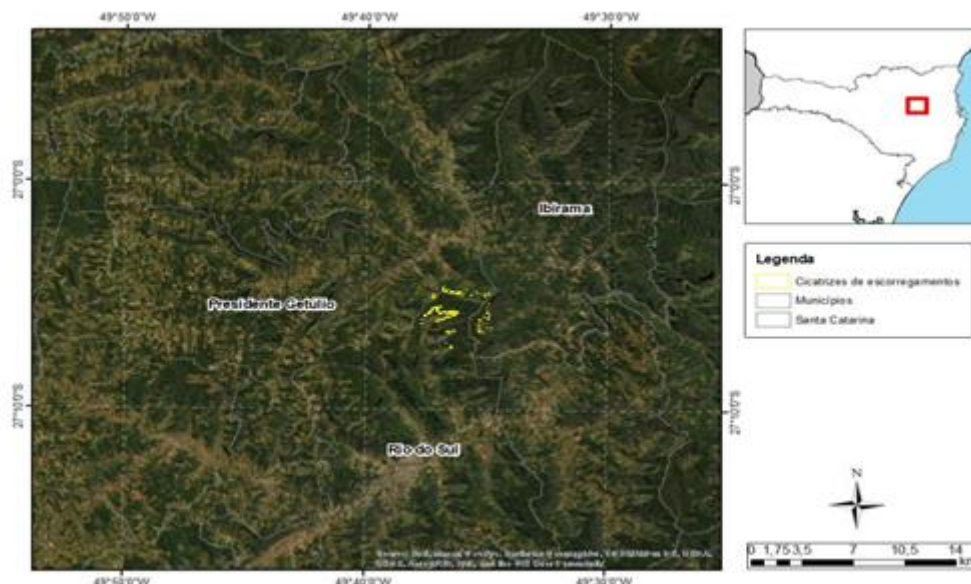


Figura 27 – Localização da área impactada pelos movimentos de massa

Fonte: MICHEL et al (2021)

Após a escolha da área de estudos as etapas descritas a seguir se propõem a atingir os objetivos definidos para esta pesquisa.

5.2.2 Geração e análise dos mapas de uso e ocupação do solo

Buscando compreender os processos que levaram ao desastre natural ocorrido em Presidente Getúlio no ano de 2020, a presente pesquisa, consiste em analisar

evolutivamente a caracterização do uso e ocupação do solo do município de estudo antes e depois do evento.

A avaliação do uso e ocupação do solo ocorreu através de classificação supervisionada de imagens de satélites. Essas imagens foram obtidas principalmente por meio do satélite Sentinel-2 disponibilizado pela United States Geological Survey – USGS.

As imagens a seguir foram retiradas dos satélites CBERS-4 (MUX) e Sentinel-2 L2A, porém com maior proximidade, sendo possível ver as marcas deixadas pelo desastre caracterizado entre os dias 16 e 17 de dezembro de 2020.

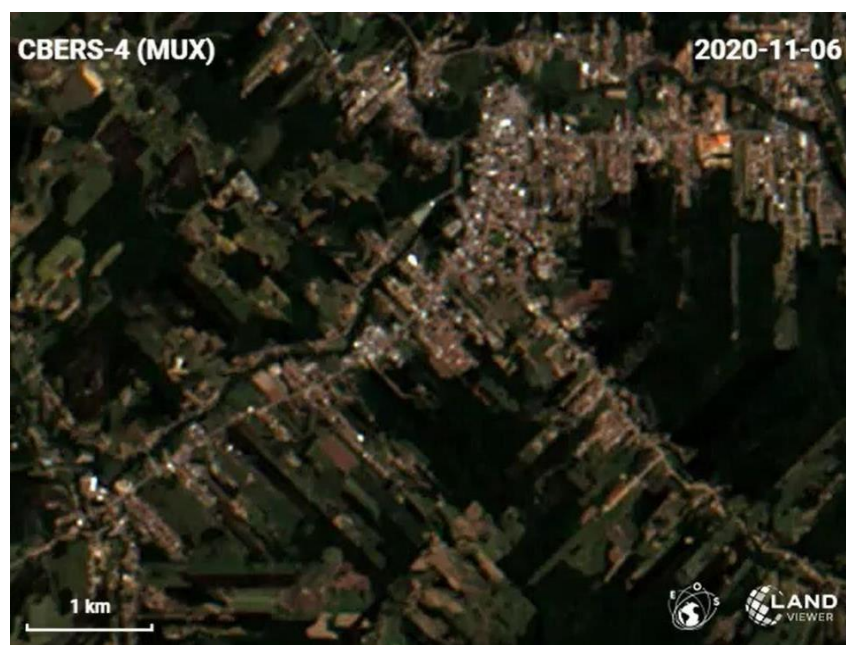


Figura 28 – Satélite CBERS-4 (MUX), antes do desastre

Fonte: Land Viewer (2021)



Figura 29 – Satélite Sentinel-2 L2A, após o desastre

Fonte: Land Viewer (2021)

Para a elaboração dos mapas, em um primeiro instante foram utilizadas as imagens do satélite CBERS-4 (MUX) fornecidas pelo INPE, pois sua plataforma possibilita um acesso mais facilitado aos seus usuários, porém, não foram encontradas imagens que atendessem no período desejado para o objetivo do presente estudo. Sendo assim optou-se pelo satélite Sentinel-2 disponibilizado pela USGS (Serviço Geológico dos Estados Unidos), onde foi possível encontrar imagens antes e após o desastre ocorrido em dezembro de 2020.

Para a geração dos produtos cartográficos foram utilizadas as seguintes imagens (Tabela 3).

Tabela 3 – Imagens de satélite utilizadas para o mapeamento

Sensor	Número da Imagem	Data de Obtenção	Resolução espacial (m)
MSI (Multispectral Imager)	S2B_MSIL1C_20201001T132239_N0209_R038	01/10/2020	10
MSI (Multispectral Imager)	S2B_MSIL1C_20210218T132229_N0209_R038	18/02/2020	10

Fonte: Autora (2021)

Sua escolha decorreu da baixa cobertura de nuvens e por abranger toda área de estudo necessária, permitindo sua análise sem interferências atmosféricas e sem a necessidade de elaboração de mosaico de imagens (Figura 30).

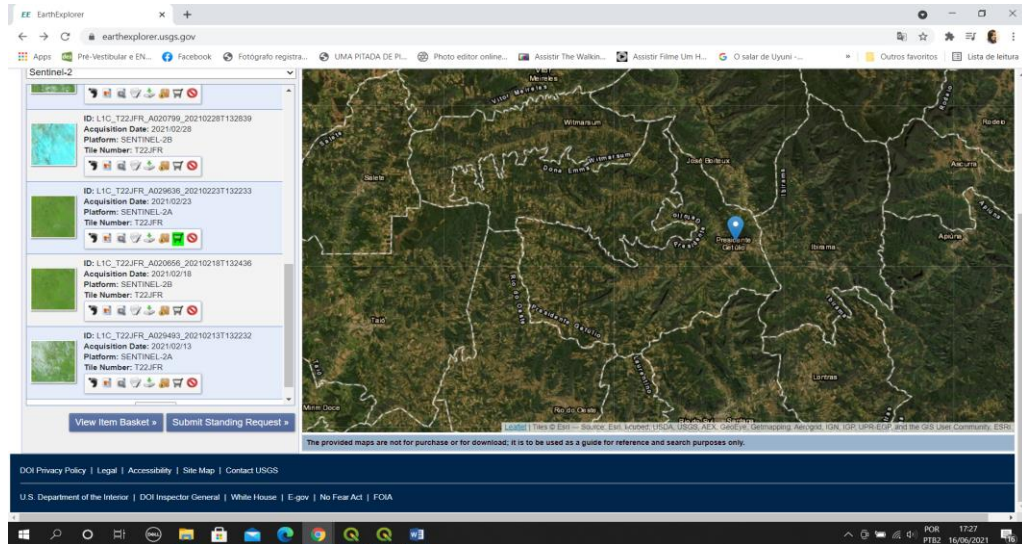


Figura 30 – Obtenção das imagens para pesquisa pelo QGIS

Fonte: Autora (2021)

Posteriormente, foi usado o software QGIS 3.16 para habilitar o processamento dessas imagens. Por meio do geoprocessamento, a área de estudo foi georreferenciada e será descrita abaixo.

- a) Com o QGIS aberto, foi executado a Função Gerenciador de Fontes de Dados Livres e em seguida na função Raster (figura 31).

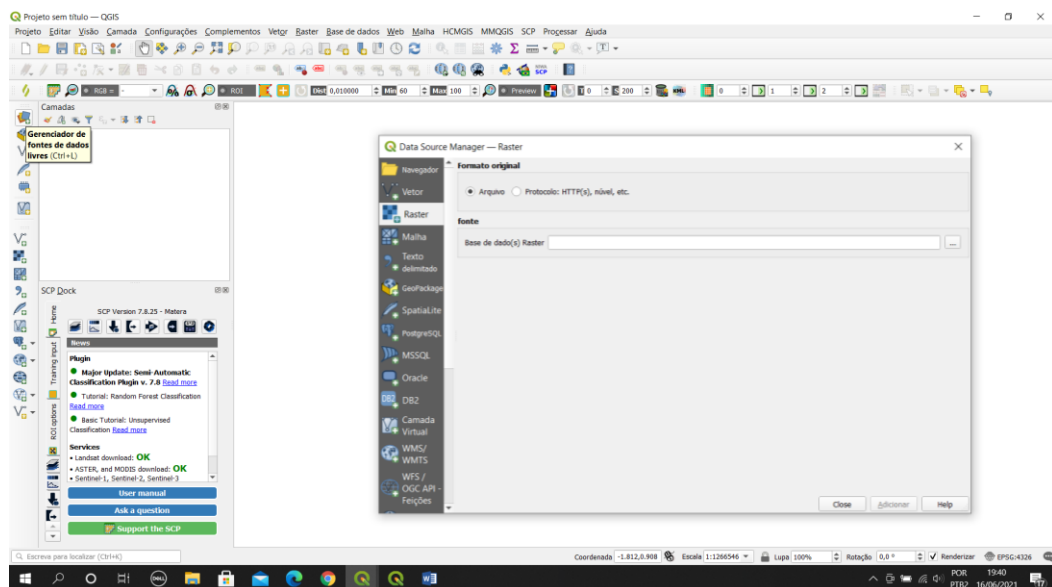


Figura 31 – Função gerenciador de fontes

Fonte: Autora (2021)

- b) Navegou-se até o local do computador que contém as imagens obtidas no site USGS. Em seguida, foram escolhidos os seguintes arquivos (Figura 32):

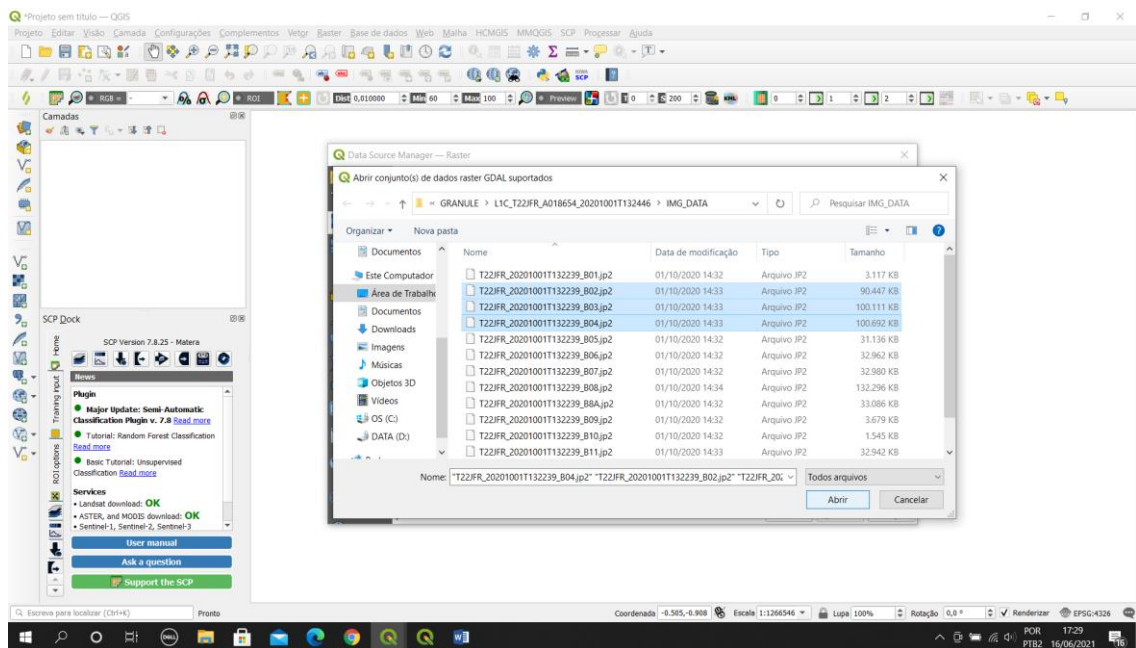


Figura 32 – Seleção das imagens raster

Fonte: Autora (2021)

- c) Uma vez obtida a imagem desejada esta foi preparada para o processo de classificação de modo a se determinar o uso e ocupação do solo antes e depois do desastre de 2020. Passaram por um processo de georreferenciamento e testes de composição de bandas.

Para realizar a composição RGB, acessou-se o menu Raster – Miscelânea – Mesclar (Figura 33).

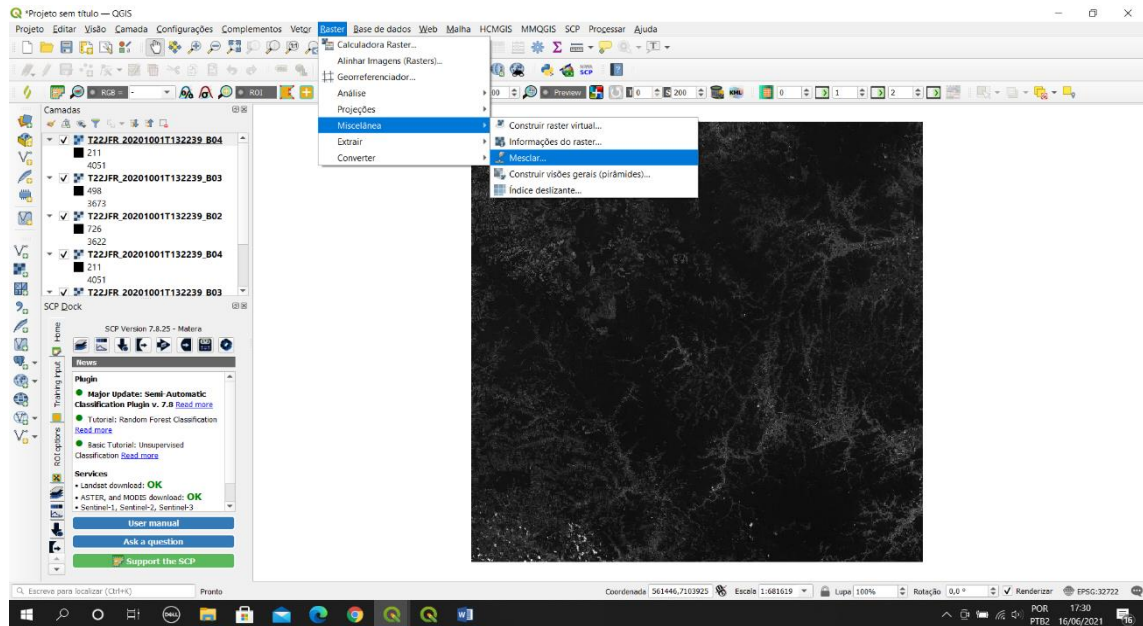


Figura 33 – Função Miscelânea

Fonte: Autora (2021)

Para gerar a composição colorida, segue-se o passo a passo:

- i. Foram selecionadas as bandas que serão utilizadas no processo. Em alguns casos, podemos utilizar a composição de quatro bandas para alterar entre a composição em cor verdadeira e a composição em falsa cor. Foi optado por gerar a composição de três bandas, pois após vários testes percebeu-se que já seria o suficiente para atender o objetivo deste estudo.
- ii.
- iii. Na mesma janela, foi arrastado as imagens para gravar corretamente a composição no canal RGB. Para o satélite Sentinel-2, temos:
 - Banda 2 (Azul);
 - Banda 3 (Verde);
 - Banda 4 (Vermelho);

Logo, para gerar uma cena Sentinel-2 colorida no padrão Cor Verdadeira (True Color), foi indicado a combinação 4-3-2 para o canal R (Red), G (Green) e B (Blue). Após os testes das composições de banda, optou-se em classificar as imagens utilizando-se a composição RGB432. Após finalizar a combinação de bandas adequada foi pressionado o botão OK (Figura 34).

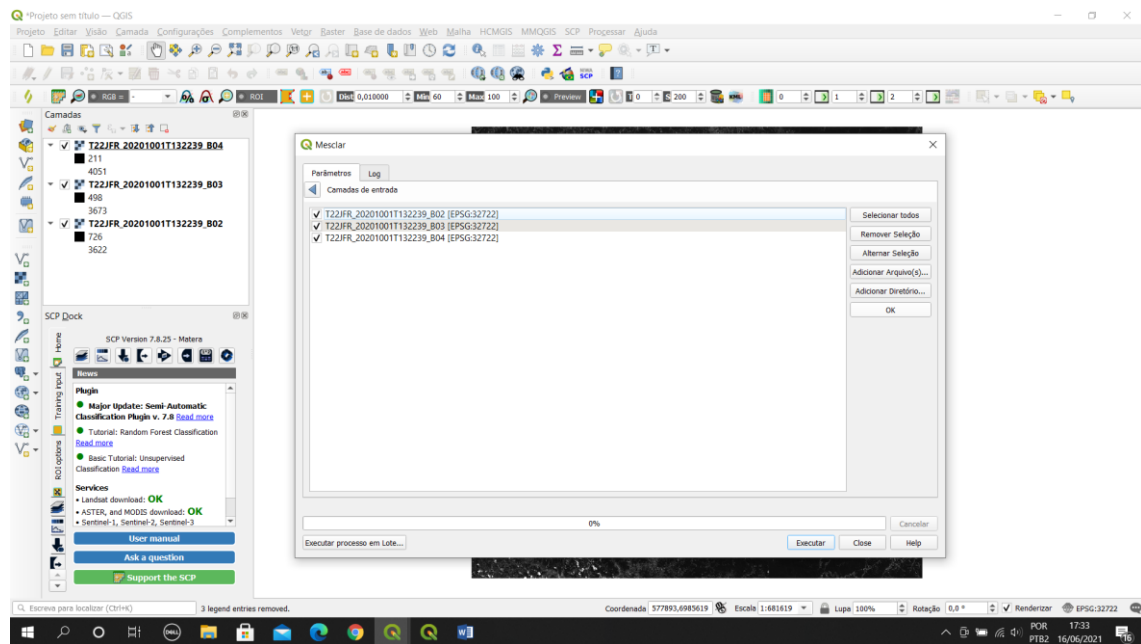


Figura 34 – Composição das bandas

Fonte: Autora (2021)

No passo seguinte, foi habilitado o recurso “Coloque cada arquivo de entrada em uma banda separada”. Este parâmetro é importante para aplicar o empilhamento de bandas, camada acumulada ou Layer Stacking, que são sinônimos encontrados em outras aplicações.

A última opção é o Tipo de Dado. Este parâmetro está associado à intensidade de energia eletromagnética armazenada na imagem como Número Digital. Durante a passagem do satélite, a intensidade da energia obtida pelo sensor é representada por números e armazenada em escalas. Originalmente, as imagens Sentinel-2 são distribuídas em Números Inteiros de 16 Bits Sem Sinal ou Números Inteiros de 16 Bit Não Sinalizados (UNSIGNED INTEGER 16 BIT). Foi mantido o mesmo parâmetro ao indicar o valor UInt16 na caixa de seleção Tipo de dado de saída.

Indicou-se um nome e um local do computador para gravar a imagem. Uma cena Sentinel-2 neste formato terá aproximadamente 700 MB de tamanho para uma composição de três bandas. Após essas etapas foi gravado o resultado como arquivo. (Figura 35 e Figura 36).

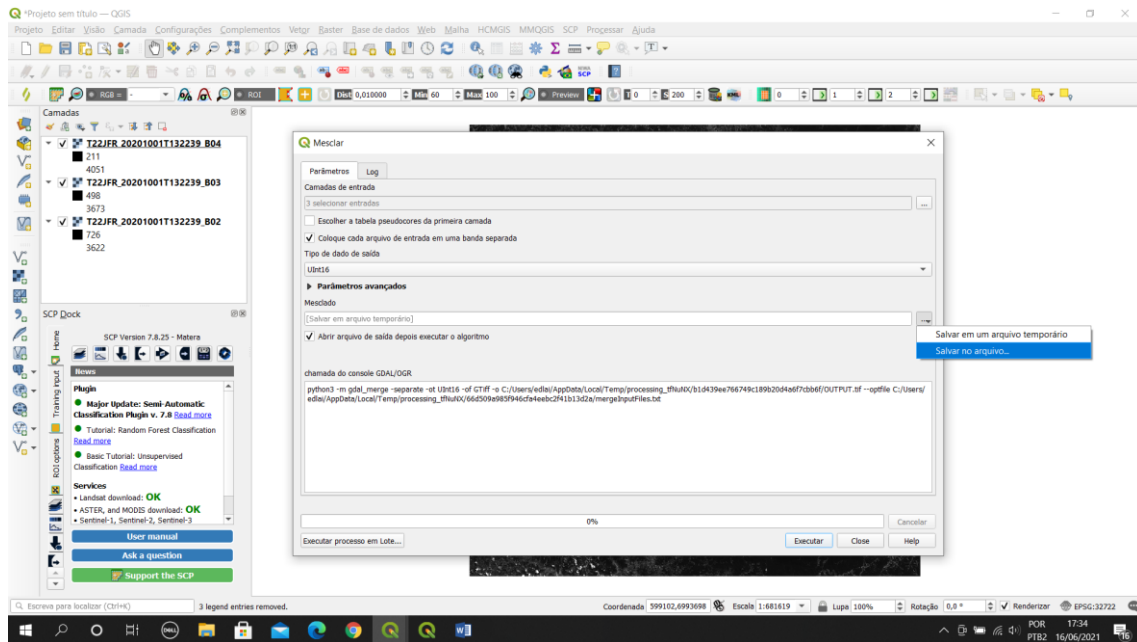


Figura 35 – Local para salvar imagem

Fonte: Autora (2021)

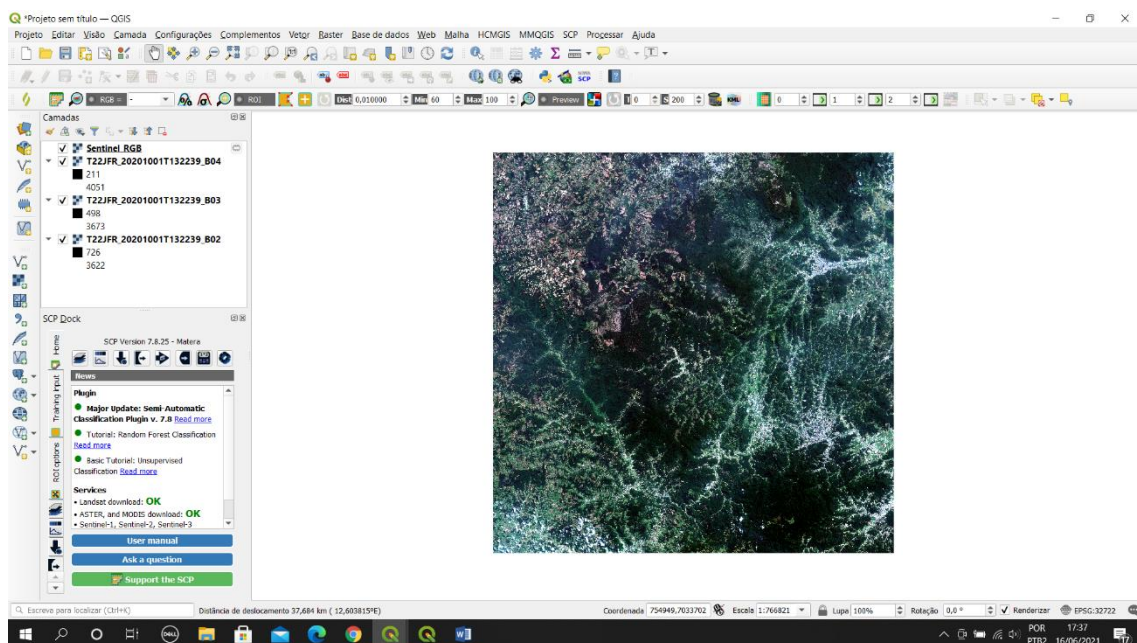


Figura 36 – Composição RGB

Fonte: Autora (2021)

A próxima etapa consistiu em sobrepor o limite da área de estudo (Figura 37), obtida do mapa de SC no formato shapefile (CPRM, 2015) e prosseguir com o recorte da imagem (Figura 38).

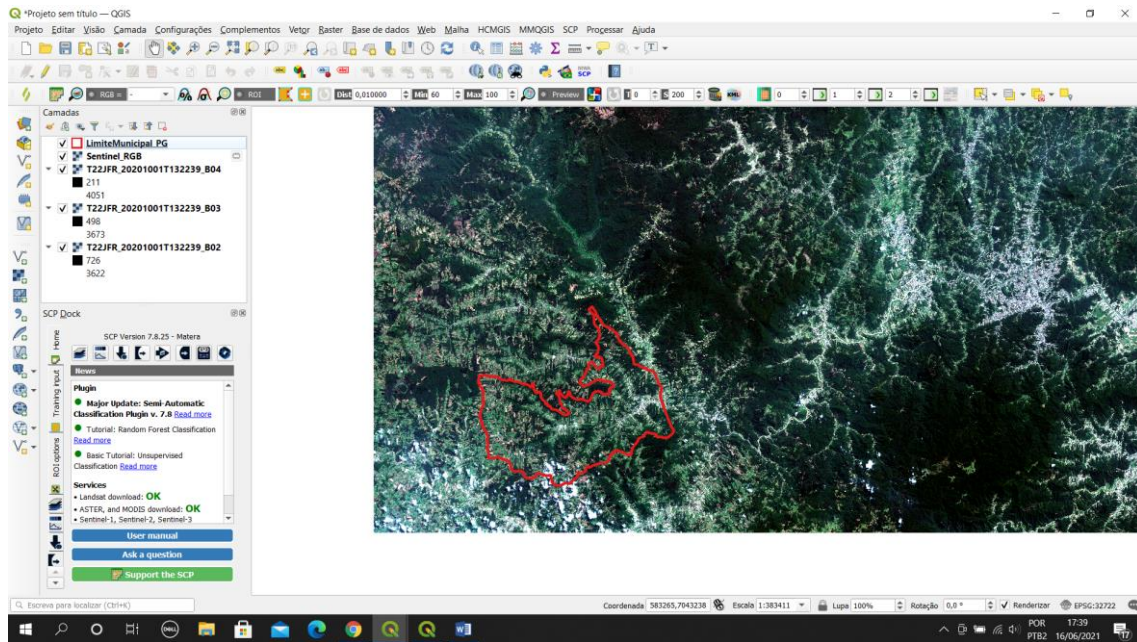


Figura 37 – Shapefile do município

Fonte: Autora (2021)

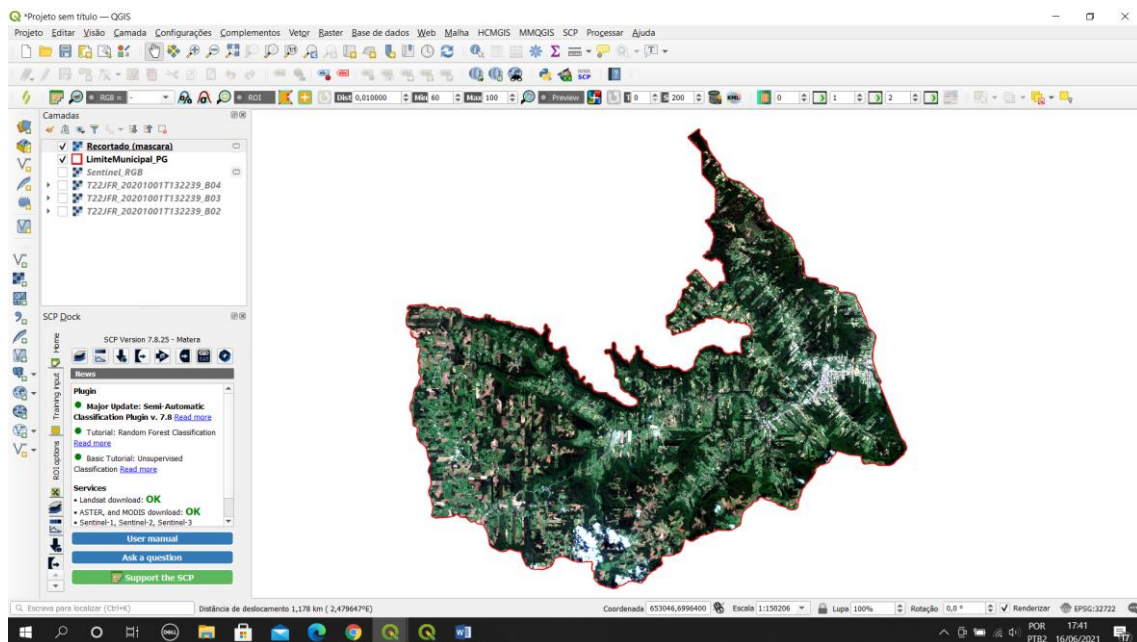


Figura 38 – Imagem RGB limitada ao município

Fonte: Autora (2021)

Procedeu-se então para a instalação e utilização do plugin SCP (Semi-automatic classification plugin). Foram testados alguns algoritmos de classificação de modo a se obter a melhor distinção entre as classes desejadas, sendo estas: água, solo exposto, agricultura, floresta e área construída. O quadro abaixo coloca amostras das classes identificadas na imagem e utilizadas como chave de classificação:

Tabela 4 – Amostras utilizadas na classificação semi-automática

Água	Solo exposto	Agricultura	Floresta	Área construída
				

Fonte: Autora (2021)

O tratamento das imagens foi realizado com o uso do software livre QGIS. As imagens foram reprojadas para o sistema de referência atualmente em uso no Brasil, o SIRGAS 2000.

O plugin SCP dispõe de 3 tipos de algoritmos, que são eles, Minimum Distance, Maximum Likelihood e Spectral Angle Mapping. O algoritmo de distância mínima produz resultados um pouco generalizados. O ângulo espectral é um algoritmo recomendado para a análise de dados hiperespectrais. O algoritmo de máxima verossimilhança é o mais utilizado e recomendado para trabalhos envolvendo uso e cobertura do solo (OSCO & RAMOS, 2018).

Sendo assim, foi elaborada uma amostra de cada algoritmo através da classificação semiautomática a fim de se analisar qual das opções obtinham melhores resultados. Porém, como podemos observar nas Figuras 39 e 40, tanto o algoritmo de Distância Mínima como o de Máxima Verossimilhança apresentaram problemas na elaboração dos mapas finais, pois, foi considerado a existência de pixels fora do limite da região de estudo. Seus resultados implicam na elaboração de tabelas futuras, diminuindo suas precisões, como por exemplo, a matriz de confusão.

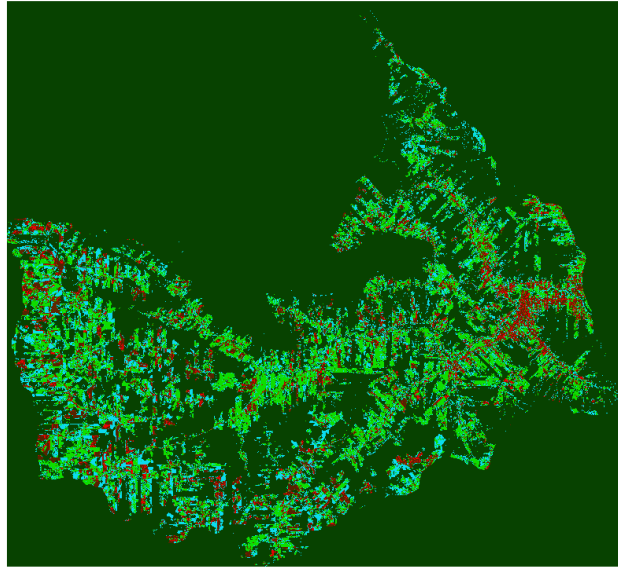


Figura 39 – Utilização do algoritmo Minimum Distance

Fonte: Autora (2021)

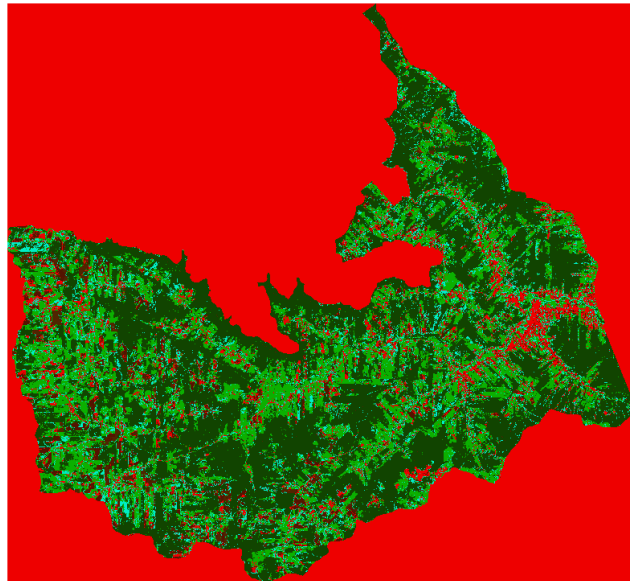


Figura 40 – Utilização do algoritmo Maximum Likelihood

Fonte: Autora (2021)

Sendo assim, o único algoritmo que atingiu os resultados esperados e consequentemente utilizado foi o Spectral Angle Mapping.

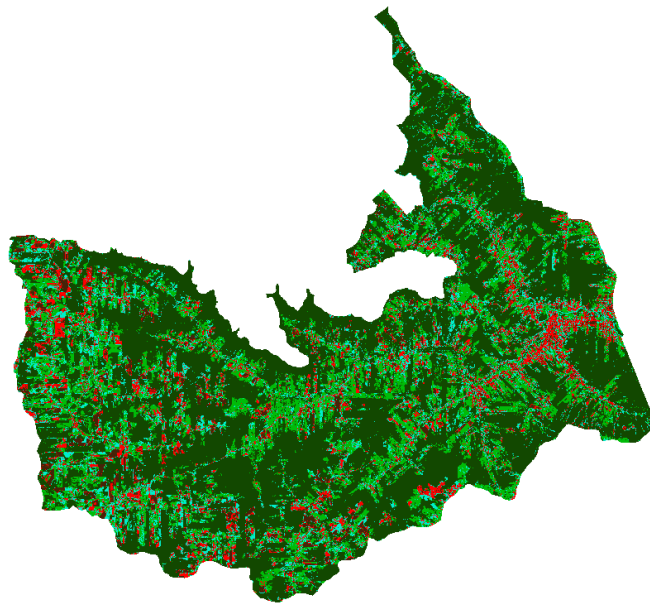


Figura 41 – Utilização do algoritmo Spectral Angle Mapping

Fonte: Autora (2021)

Para delimitar adequadamente a área impactada pela corrida de detritos foi necessário fazer a criação de shapefiles que pudessem descrever essa região.

5.2.3 Análises comparativas e apresentação dos resultados

Com a elaboração dos mapas de uso de ocupação do solo, será possível realizar as análises comparativas quanto:

1. Uso de ocupação do solo antes e após o evento;
2. Confrontar os mapas de Uso e Ocupação do solo após o evento com o mapa de suscetibilidade;
3. Comparar dados hidrológicos com geotécnicos.

Os mapas de uso do solo de 2020 e 2021 são imprescindíveis para se analisar os locais onde ocorreram os deslizamentos e corridas de detrito. A partir deles, localiza-se o evento no espaço e possibilita-se a sobreposição destes dados sob a forma de mapa com o mapa de solos e com o mapa de suscetibilidade gerado pelo governo federal através da CPRM.

A partir da observação do mapa de suscetibilidade existente, determina-se, espacialmente, áreas que sejam mais seguras ou que apresentem maiores riscos para a ocupação humana, o portal da CPRM disponibiliza um mapa on-line com o título

“Prevenção de Desastres” onde é possível ter acesso a áreas suscetíveis à risco dentro de um município. Na Figura 42 está representada a carta de suscetibilidade a movimentos de massa do município de Presidente Getúlio, elaborado pelo CPRM (2015), que classifica a área de estudo quanto ao seu nível de risco, sendo em: alta, média e baixa.

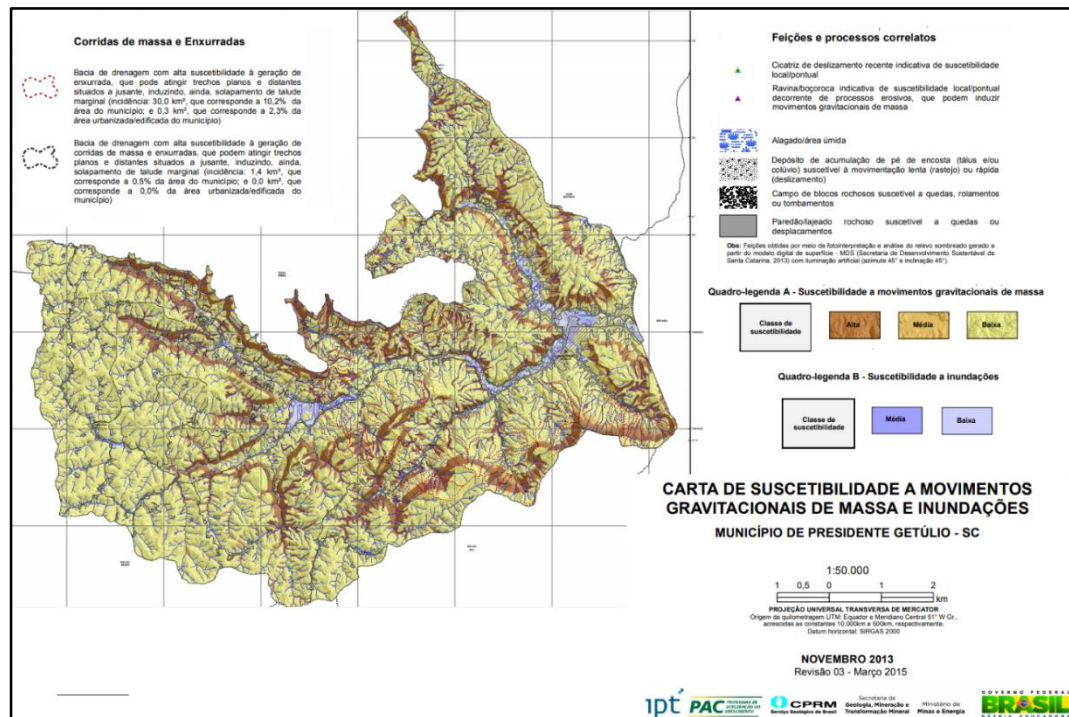


Figura 42 – Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: município de Presidente Getúlio - SC

Fonte: CPRM (2015)

Um mapa de suscetibilidade se faz necessário para promover ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação de áreas sujeitas a eventos de riscos naturais ou que sejam motivadas pela ocupação urbana desordenada. Este documento é constituído por meio da orientação do ordenamento territorial de municípios sujeitos a processos do meio físico tais como corridas de massas, deslizamentos, inundações e enxurradas. Diante da relevância deste instrumento dentro de um município, pretende-se realizar a partir da geração do mapa de uso e ocupação do solo após o desastre, a sobreposição deste com o de suscetibilidade já existente, a fim de avaliar se áreas atingidas pela enxurrada estavam contempladas nas áreas de riscos pré-dispostas pelos levantamentos/ estudos existentes produzidos pelos órgãos competentes.

Por fim, analisa-se as precipitações ocorridas na região juntamente com suas informações geotécnicas, pois percebeu-se com base nas pesquisas já levantadas,

que a maior concentração de precipitação já é esperada conforme as condições climáticas daquela área. Com isso, a elevada pluviosidade neste período de tempo pode ter se tornado um aliado em conjunto com as encostas declivosas da região, tornando o ambiente favorável a fluidificação de movimentos de massa.

A partir das análises comparativas e dos resultados obtidos com a geração dos mapas de uso e ocupação de solo pré e pós evento de geodinâmica será possível obter dados quantitativos da área atingida pelos movimentos de massa.

Da mesma forma, com o cruzamento do mapa de uso e ocupação de solo após o evento com o de suscetibilidade já existente, analisa-se se a magnitude e a localização do evento estavam adequadamente previstos pelo modelo já estudado e, portanto, se poderiam ter sido utilizados para minimizar impactos econômicos, ambientais e físicos.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste item são apresentados os resultados obtidos com o método anteriormente descrito, quantificando a área impactada pelo desastre de 2020 em Presidente Getúlio, confrontando-se o mapa de uso do solo com o de suscetibilidade e, por fim, avaliando-se a utilização do QGIS para o método adotado nesta pesquisa.

6.1 Mapas de uso e ocupação do solo

Através da composição RGB432 das imagens SENTINEL foi possível gerar os mapas antes e depois do desastre, como mostra nas figuras 43 e 44 respectivamente.

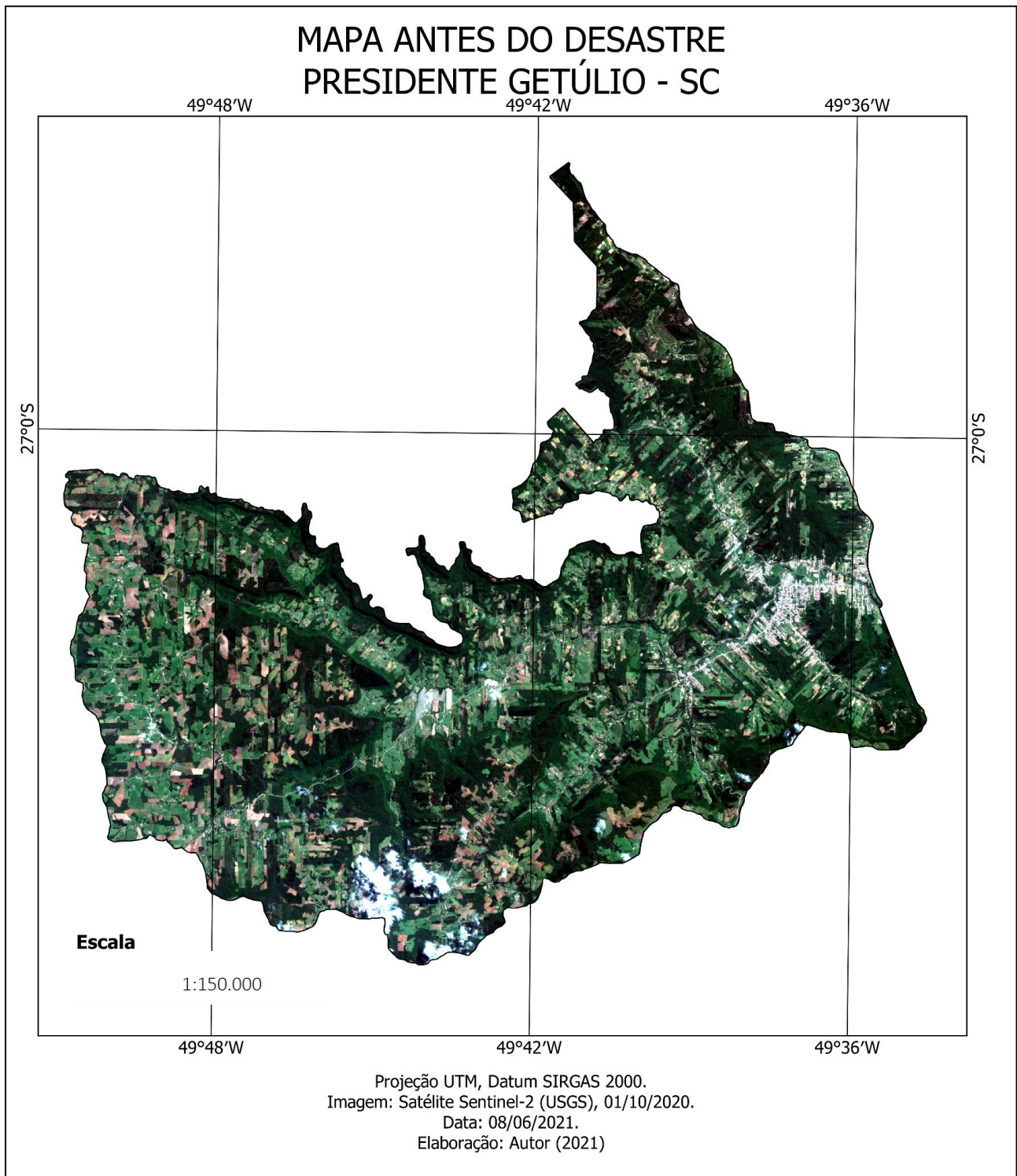


Figura 43 – Mapa de Presidente Getúlio antes do desastre

Fonte: Autora (2021)

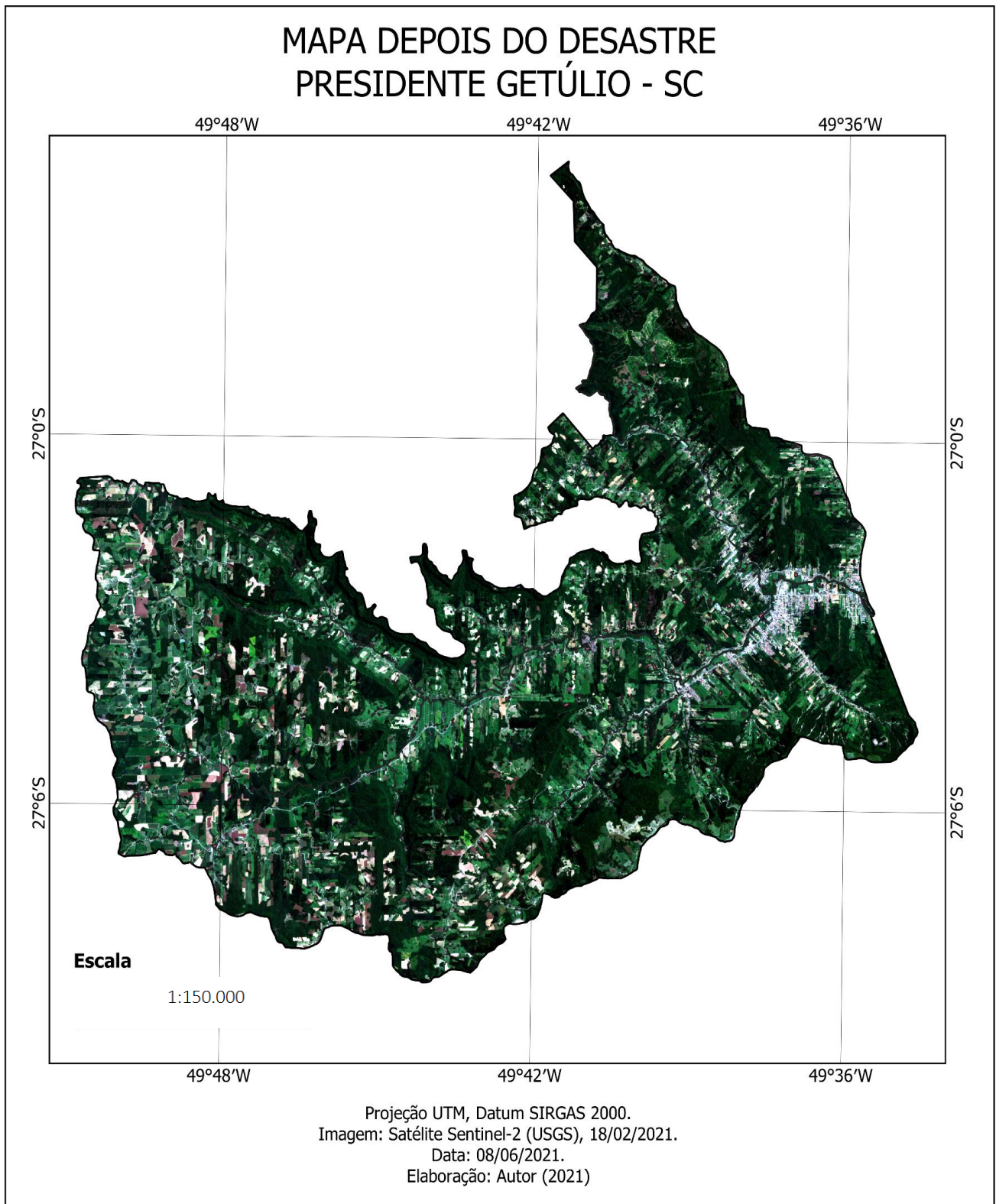


Figura 44 – Mapa de Presidente Getúlio após o desastre

Fonte: Autora (2021)

Após a composição colorida das imagens, necessitou-se construir a chave de classificação elaborada a partir das feições presentes na área de estudo. Tendo em

vista a imagem utilizada para a interpretação, a chave obtida (Figura 34) leva em consideração as resoluções espaciais e espectrais da imagem.

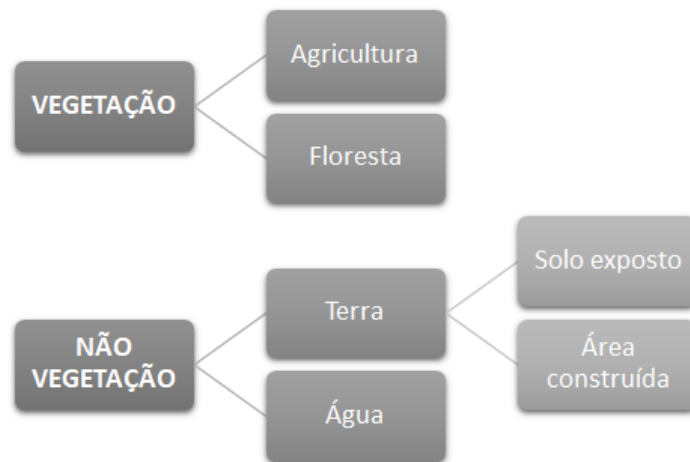


Figura 45 – Chave de classificação

Fonte: Autora (2021)

A divisão da chave dos mapas elaborados de uso e ocupação do solo do município de Presidente Getúlio, ocorreu inicialmente entre vegetação e não vegetação, sendo que a parte de não vegetação, compreende as classes finais: solo exposto e área construída, devido às características da imagem. Sendo assim, possuindo 5 classes, seguem as seguintes definições:

- a) Área construída – compreende áreas de maior densidade populacional, incluindo núcleos urbanos. Como por exemplo: vilas, cidades, complexo industrial e outras ocupações antrópicas consolidadas.
- b) Água – corresponde à rede de drenagem, englobam tanto corpos d'água naturais como lagos e lagoas quanto corpos d'água artificiais.
- c) Solo exposto – são caracterizadas por apresentarem alternâncias entre linhas de vegetação e faixas de exposição de areia. Contém áreas que no momento de captação da imagem não apresentavam vegetação, podendo ser uma região de pousio tanto da agricultura quanto de uma área degradada.
- d) Agricultura – estas áreas foram caracterizadas pela sua uniformidade, campos abertos e altura relativamente baixa.
- e) Floresta – floresta que apresenta formações de vegetação densa.

O mapeamento foi realizado a partir da classificação das imagens com o algoritmo Spectral Angle Mapping, com resolução de 10 m. Através do software

Quantum GIS, realizadas através das bandas espectrais RGB432, a acurácia foi obtida através da matriz de confusão.

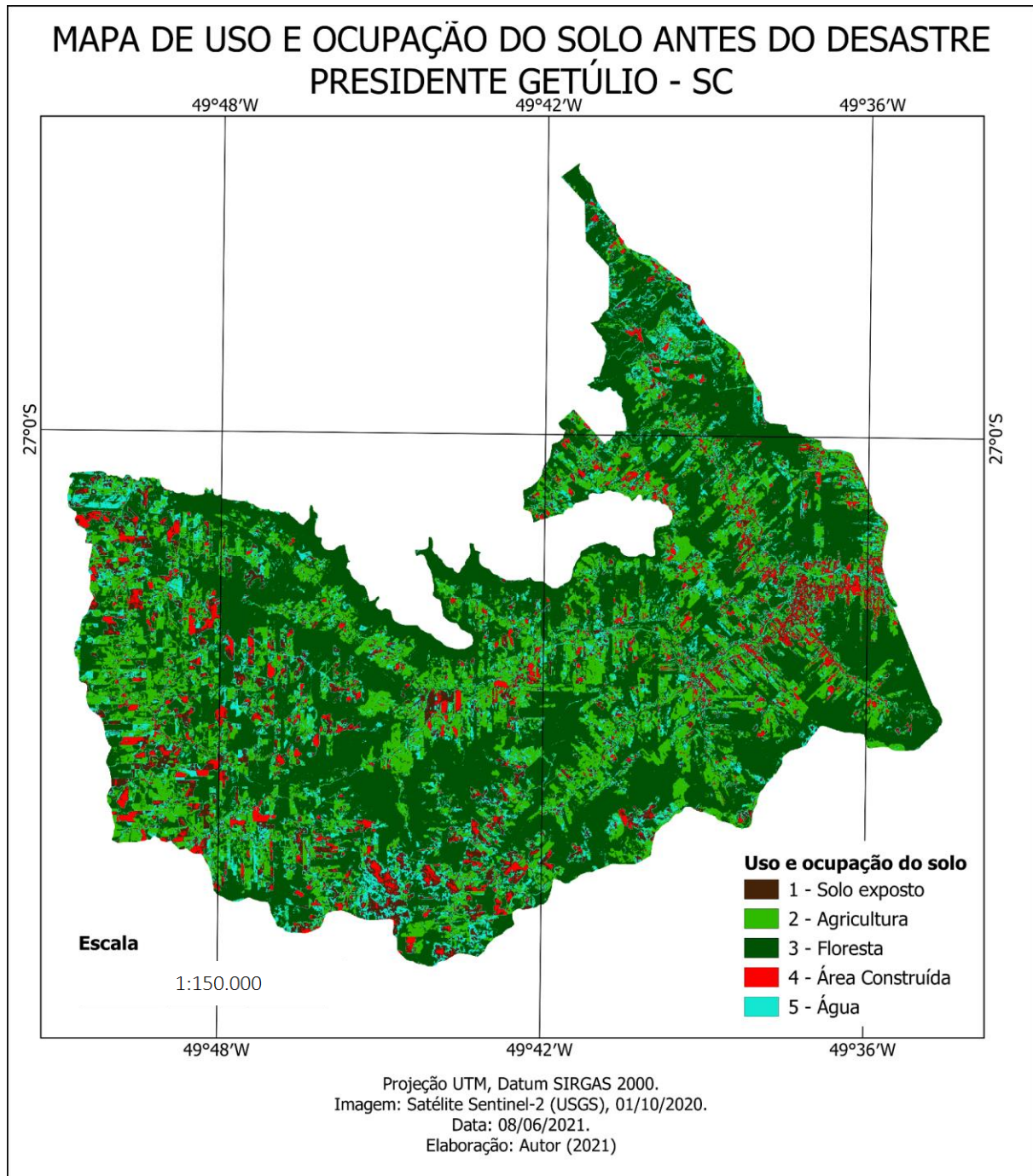


Figura 46 – Mapa de Uso e Ocupação do Solo antes do desastre.

Fonte: Autora (2021)

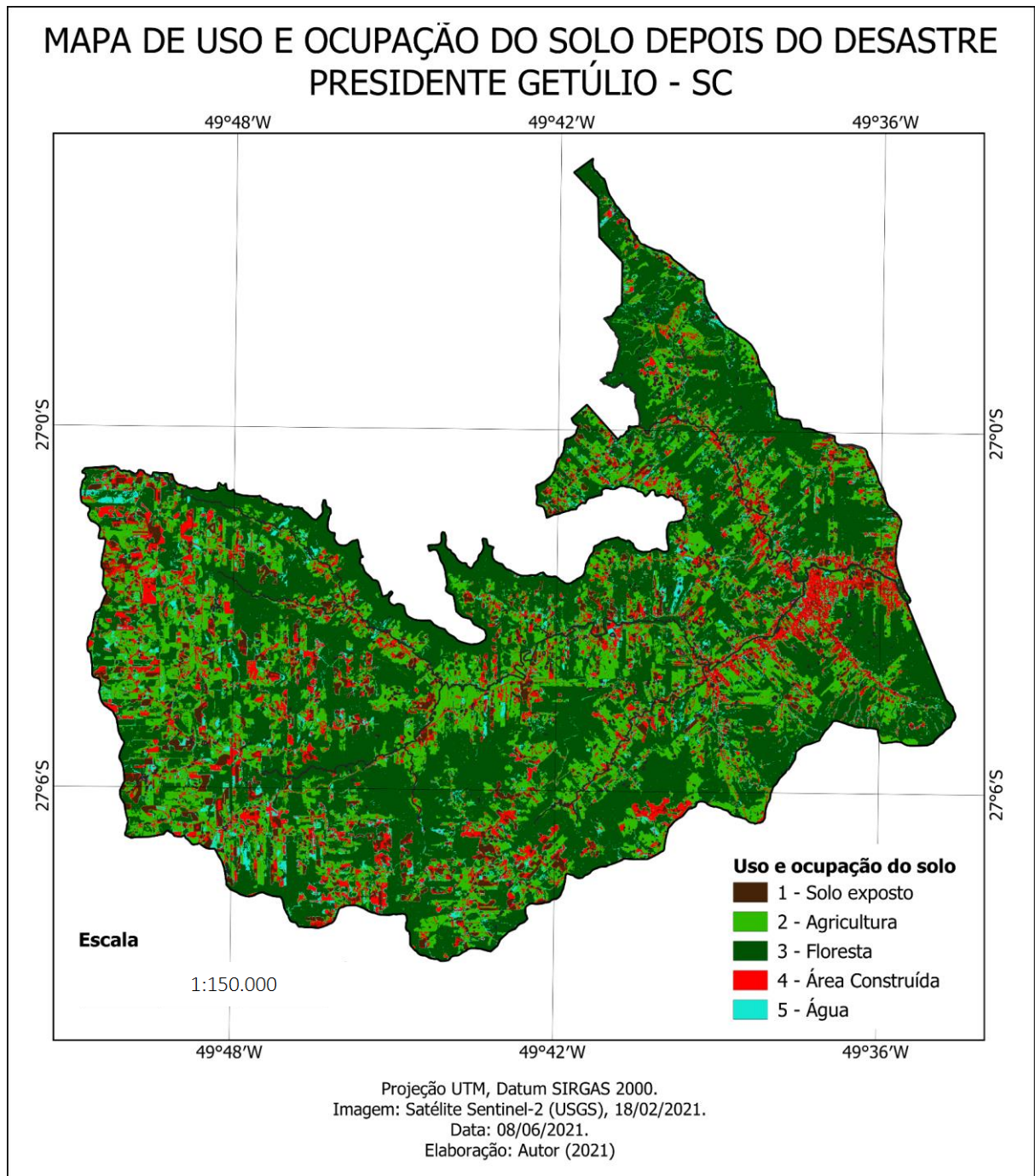


Figura 47 – Mapa de Uso e Ocupação do Solo depois do desastre.

Fonte: Autora (2021)

Após o processo de classificação, é útil avaliar a acurácia da classificação de cobertura da terra, buscando identificar e medir os erros do mapa. Normalmente, a avaliação da acurácia é realizada com o cálculo de uma matriz de erro, que é uma tabela que compara as informações do mapa com dados de referência para um número de áreas amostrais (Congalton e Green, 2009).

Através do complemento Acatama disponibilizado pelo QGIS, foi possível estimar a acurácia dos mapas gerados. Foram coletados 250 pontos de amostragem, e logo após transformados em shapefile. Posteriormente realizou-se uma tabulação cruzada entre a imagem raster gerada pela composição RGB juntamente com a imagem classificada. (Figura 48)

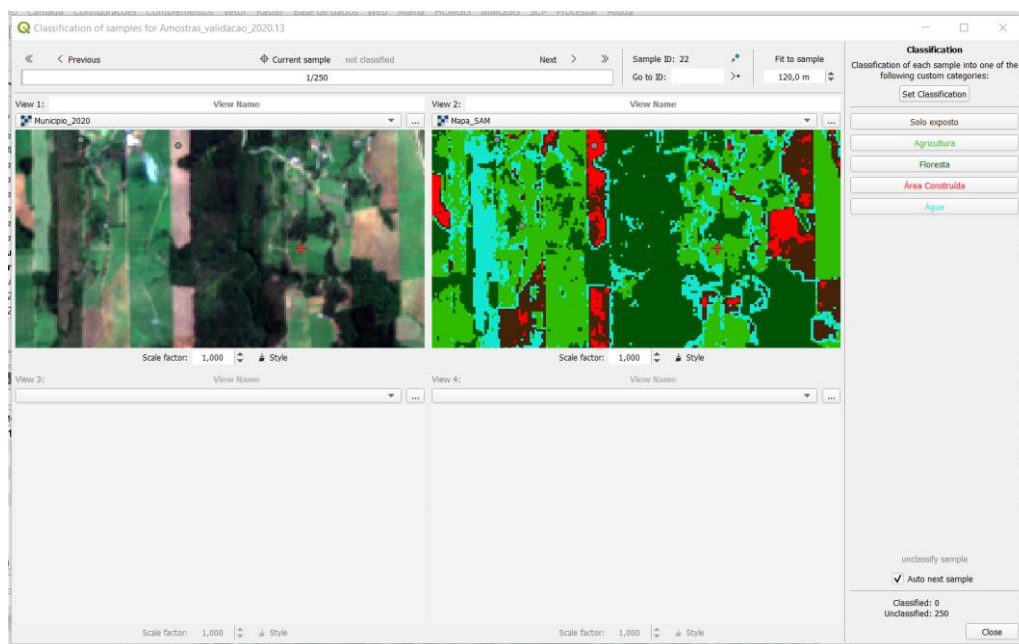


Figura 48 – Resultados da avaliação de acurácia

Fonte: Adaptado de QGIS 3.16 (2021)

A partir desse levantamento, foi possível avaliar a exatidão temática da classificação realizada para os mapas de ocupação do solo antes e após o evento. A Figura 49, mostra a tabela gerada pelo complemento Acatama, conhecida como Matriz de erro ou confusão.

O método padrão para avaliação da precisão temática atualmente tem sido índices derivados da matriz de confusão. A matriz de confusão fornece a base para descrever a precisão da classificação e caracterizar os erros, ajudando a refinar a classificação. De uma matriz de confusão podem ser derivadas várias medidas de precisão da classificação, sendo a exatidão global uma das mais conhecidas (Foody, 2002).

A matriz de erros ou confusão apresenta de forma resumida os resultados da classificação digital ou fotointerpretação em relação à imagem referência, onde teremos então uma distribuição binomial. Cada frequência observada na matriz

corresponderá também a uma frequência esperada, a qual é calculada sob uma determinada hipótese de acordo com as regras da probabilidade (SPIEGEL, 1993).

Nas Figuras 49 e 50 respectivamente, é possível ver o valor de acurácia para as 250 amostras do mapa classificadas automaticamente pelo plugin.

Classification accuracy assessment results										
Thematic raster: Mapa_SAM.tif										
Sampling file: Amostras_validacao_2020.13.gpkg										
Classification status: 250/250 samples classified										
1) Error matrix (confusion matrix):										
		Classified values					Total	User accuracy	Total class area (m²)	Wi
		1 (Solo exposto)	2 (Agricultura)	3 (Floresta)	4 (Área Construída)	5 (Água)				
Thematic raster classes	1	15	12	9	14	0	50	0.3	24312300.0	0.08266
	2	0	47	3	0	0	50	0.94	63487100.0	0.21584
	3	0	6	42	0	2	50	0.84	159009300.0	0.54059
	4	32	3	2	13	0	50	0.26	12845800.0	0.04367
	5	10	24	12	4	0	50	0.0	34484500.0	0.11724
	total	57	92	68	31	2	250		294139000.0	
	Producer accuracy	0.26316	0.51087	0.61765	0.41935	0.0		0.468		

Figura 49 – Matriz de confusão do mapa de uso e ocupação do solo antes da enxurrada.

Fonte: Adaptado de QGIS 3.16 (2021)

Classification accuracy assessment results										
Thematic raster: Mapa_01_SAM.tif										
Sampling file: Amostra_validacao_2021.5.gpkg										
Classification status: 250/250 samples classified										
1) Error matrix (confusion matrix):										
		Classified values					Total	User accuracy	Total class area (m²)	Wi
		1 (Solo exposto)	2 (Agricultura)	3 (Floresta)	4 (Área construída)	5 (Água)				
Thematic raster classes	1	37	6	0	7	0	50	0.74	12586500.0	0.04279
	2	1	42	4	3	0	50	0.84	77744800.0	0.26431
	3	0	2	48	0	0	50	0.96	153719100.0	0.5226
	4	16	14	2	16	2	50	0.32	32039500.0	0.10892
	5	4	20	21	4	1	50	0.02	18053300.0	0.06138
	total	58	84	75	30	3	250		294143200.0	
	Producer accuracy	0.63793	0.5	0.64	0.53333	0.33333		0.576		

Figura 50 – Matriz de confusão do mapa de uso e ocupação do solo depois da enxurrada.

Fonte: Adaptado de QGIS 3.16 (2021)

Além disso, o plugin também disponibiliza sua precisão geral (Overall Accuracy) e a área disposta por cada item classificado, ou seja, levando em consideração o mapa total, como mostra nas figuras 51 e 52.

Overall Accuracy:
0.69314

5) Class area adjusted table:

	Area (m ²)	Error
1 (Solo exposto)	22411902.0	2681823.71203
2 (Agricultura)	101917250.0	8220498.51193
3 (Floresta)	150543364.0	8962482.00512
4 (Área Construída)	12906112.0	2205909.66089
5 (Água)	6360372.0	4451333.13551
total	294139000.0	

Figura 51 – Precisão geral do mapa de uso e ocupação do solo antes da enxurrada (2020).

Fonte: Adaptado de QGIS 3.16 (2021)

Overall Accuracy:
0.79146

5) Class area adjusted table:

	Area (m ²)	Error
1 (Solo exposto)	22565810.0	2843926.74292
2 (Agricultura)	89157156.0	6423206.65124
3 (Floresta)	162653886.0	5479173.00726
4 (Área construída)	18123702.0	3520581.91047
5 (Água)	1642646.0	966867.43573
total	294143200.0	

Figura 52 – Precisão geral do mapa de uso e ocupação do solo depois da enxurrada (2021).

Fonte: Adaptado de QGIS 3.16 (2021)

É possível visualizar através dos valores obtidos na aplicação do plugin, que os resultados foram satisfatórios. Porém, durante o processo de classificação observou-se confusões temáticas nas classificações geradas. Isso ocorreu principalmente devido à utilização de diferentes atributos disponibilizados no software na tentativa de englobar todos os segmentos das respectivas classes temáticas.

Outra questão é que muitos segmentos de certos alvos não apresentam altos valores de adesão relacionados aos atributos, possuindo segmentos com valores

intermediários e com características que dificultam sua extração. A confusão temática entre solo exposto e área construída foram bastante perceptíveis, pois partes dessas categorias exibem respostas espectrais e espaciais semelhantes.

Comparando a área de cada categoria, é possível ter um dado mais consistente para avaliar a dimensão de cada feição (Figura 53). Embora muitas regras sejam construídas para cada categoria na tentativa de englobar todas as partes de cada feição, alguns segmentos permaneceram sem classificação devido às suas características díspares em relação aos outros segmentos da mesma feição.

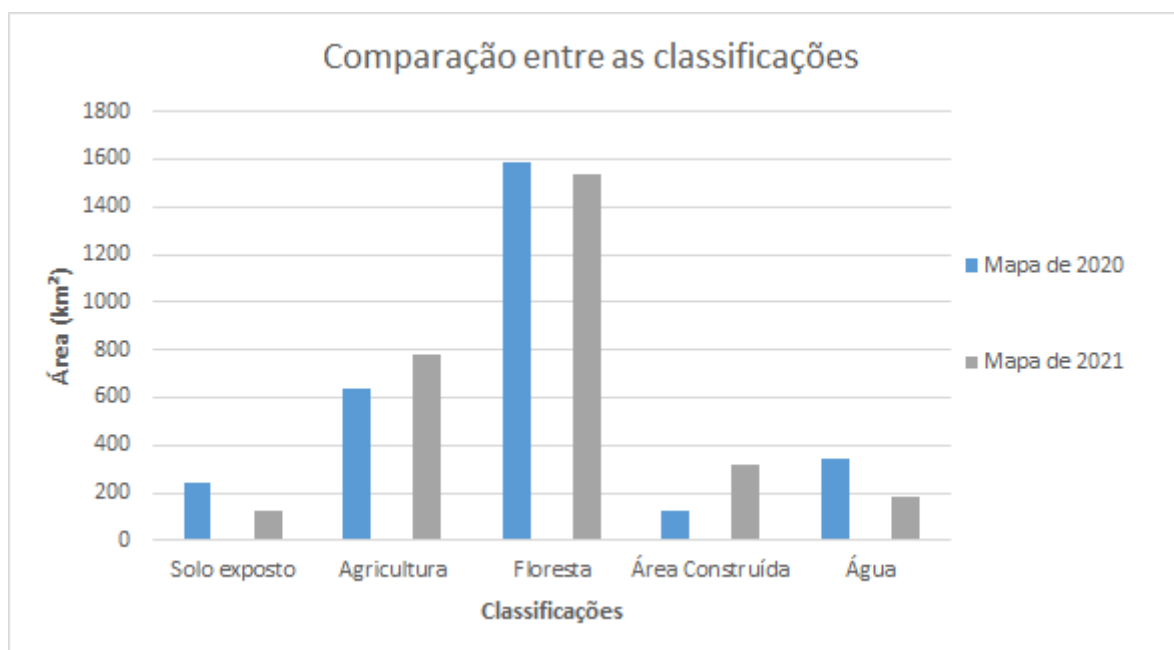


Figura 53 – Comparação entre as classificações das áreas expressas em km² antes e após o desastre.

Fonte: Autora (2021)

A diminuição na área da classe solo exposto destaca o fato de as áreas de preparo do solo agrícola terem sido incluídas nessa feição por estarem com o solo descoberto no período da obtenção da imagem, evidenciando a necessidade de uma análise temporal das feições que apresentam essa sazonalidade para uma classificação temática mais acurada.

Conforme os mapas gerados, nota-se que a classificação feita utilizando-se o algoritmo Spectral Angle Mapping, foram percebidas modificações na apresentação visual dos elementos, no entanto, de forma moderada, sem grandes discrepâncias.

Porém, se analisarmos visualmente com maior detalhamento, podemos perceber que o mesmo classificou como presença de água em regiões em que não se tem. A partir desses resultados se optou por limitar e estudar a análise cartográfica da área efetivamente afetada pela enxurrada.

6.2 Mapeamento das cicatrizes dos deslizamentos e área atingida pela corrida de detritos

Observando-se os mapas gerados de uso e ocupação do solo verifica-se que não foi possível separar, para o ano de 2021 (pós desastre) a classe referente apenas à área atingida pela corrida de detritos e, tampouco ficaram nítidas as cicatrizes dos deslizamentos.

É visível, no entanto, ao se observar as imagens classificadas (Figura 54) que a porção sudeste do município possui um aumento significativo da classe área construída e que, sabidamente, corresponde ao local onde ocorreu a corrida de detritos. Observa-se também a formação de alguns ‘cursos d’água’ na parte inferior da imagem de 2021, que, na realidade, correspondem às cicatrizes dos deslizamentos.

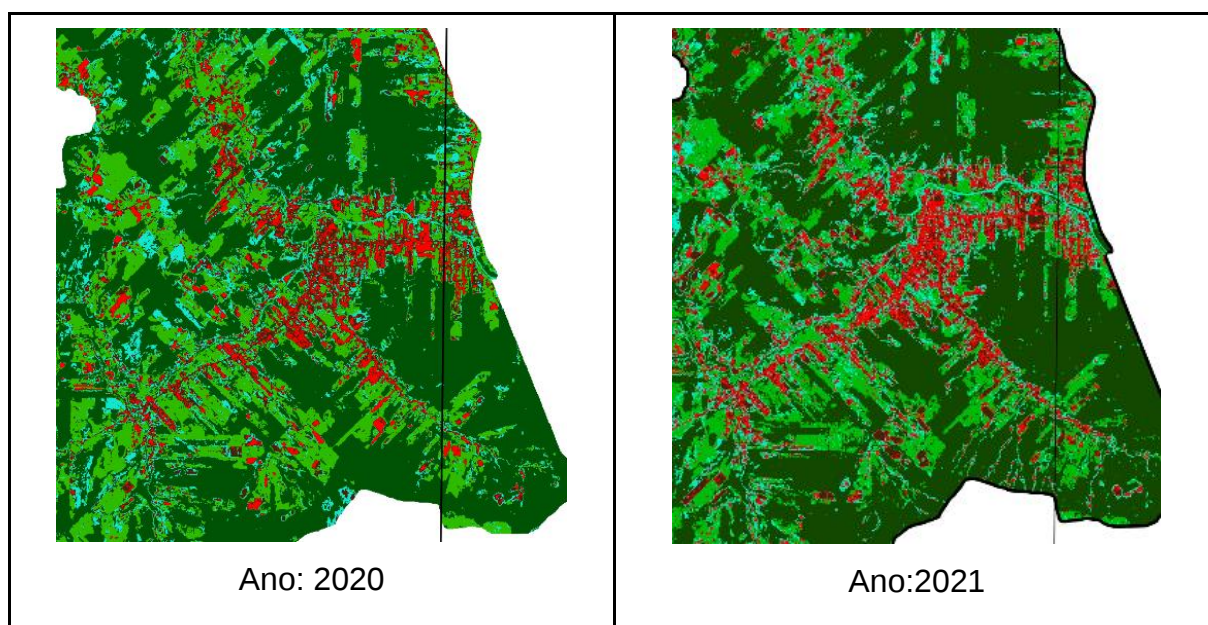


Figura 54 – Comparação entre as imagens classificadas

Fonte: Autora (2021)

Sendo assim, foram feitas pesquisas através de documentários e reportagens a fim de se confirmar a localização do evento, bem como do nome da localidade/bairro.

A seguir um relato de um dos bombeiros que prestou serviço em Presidente Getúlio e algumas das reportagens sobre o ocorrido.

“A situação é caótica, nós também estamos vulneráveis pois ficamos sem acesso ou tivemos as casas invadidas [pela água]. O bairro mais atingido é o Revólver — conta o bombeiro Alex de Lima (NSC TOTAL, 2020).”

MENU

ndt



Notícias
Santa Catarina
Show Me
Diversão
Esportes
Futebol
Cotidiano
Blogs e colunas
Publicações Legais

FOTOS: temporal da madrugada causa mortes no Alto Vale do Itajaí

O número de vítimas ainda está sendo contabilizado pelos bombeiros voluntários de Presidente Getúlio

REDAÇÃO ND, BLUMENAU
17/12/2020 ÀS 07H23 - Atualizado Há 9 meses

Enviar no WhatsApp

f

t

in

O temporal da noite desta quarta-feira (16) causou mortes em [Presidente Getúlio](#), no Alto Vale do Itajaí. A informação foi divulgada pelo Corpo de Bombeiros Voluntários da cidade na manhã desta quinta (17).



1 | 18

Presidente Getúlio na manhã desta quinta-feira (17) - Reprodução/Redes sociais

A situação mais complicada é no bairro Revólver, onde praticamente todas as casas foram alagadas. Em alguns pontos, de acordo com os bombeiros, a água alcançava o ombro dos moradores.

Figura 55 – Reportagem do jornal ND Mais do dia 17/12/2020.

Fonte: Adaptado de ND MAIS (2020).

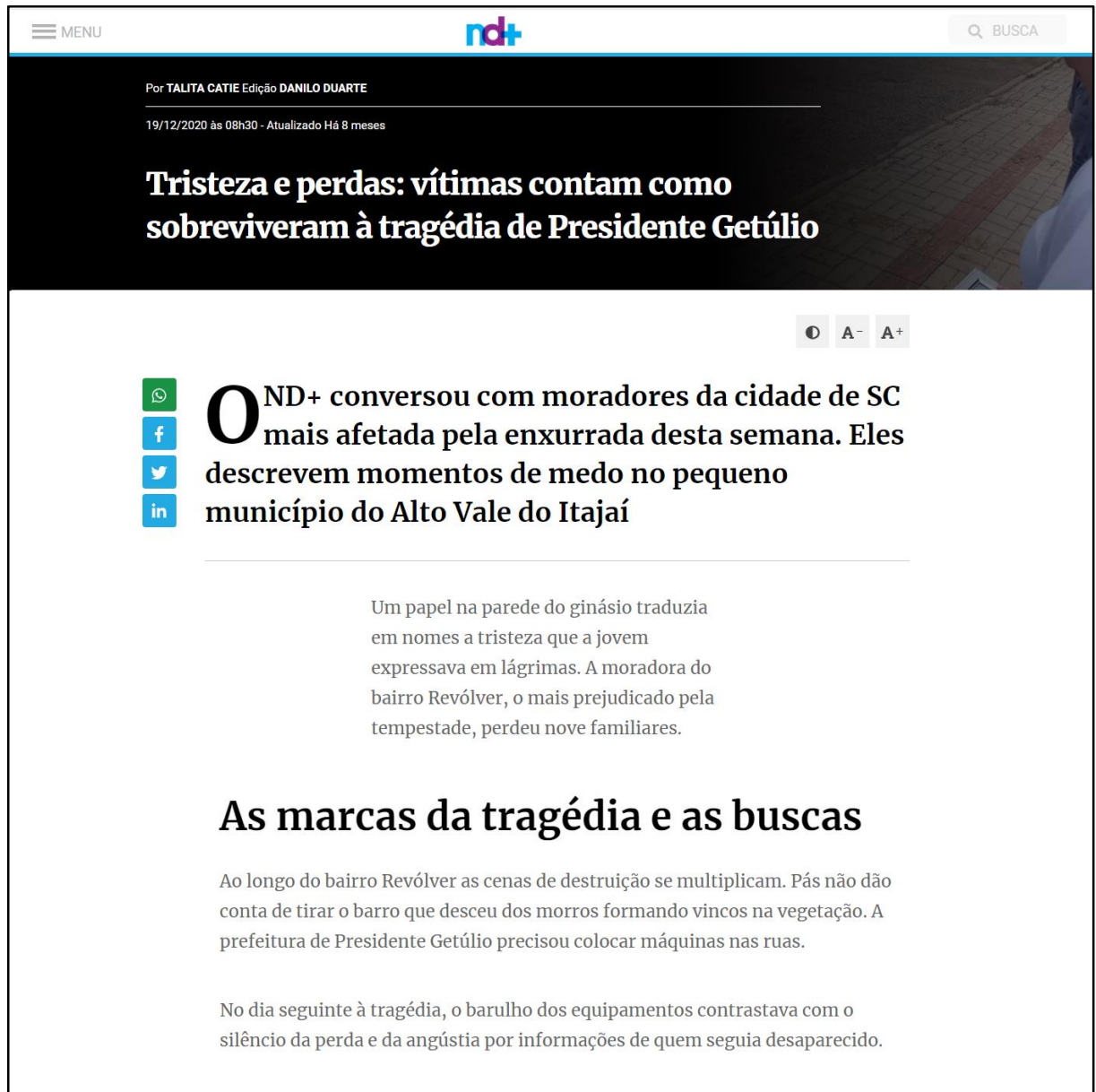


Figura 56 – Reportagem do jornal ND Mais do dia 19/12/2020.

Fonte: Adaptado de ND MAIS (2020).



Figura 57 – Reportagem do jornal ND Total do dia 17/12/2020

Fonte: Adaptado de ND Total (2020).

Portanto, através de uma avaliação visual feita pelas imagens georreferenciadas juntamente com os documentários citados, pode-se afirmar que a região mais atingida foi o Bairro Revólver. Este é um bairro predominantemente residencial. Devido a sua posição geográfica, têm-se registros que a localidade já havia sido afetada pelos eventos de estiagem, inundação e enxurrada nos anos de 2005, 2011 e 2013 respectivamente (BRASIL, 2015).

Ainda segundo Michel et al. (2021) os escorregamentos se concentraram nas cabeceiras da Serra Mirador que divide os 3 municípios afetados (Rio do Sul, Ibirama e Presidente Getúlio) sendo as regiões a jusante dos escorregamentos afetadas pelos fluxos de detritos e pelas inundações dos rios Ribeirão Cobras (Rio do Sul), Arroio Revólver (Presidente Getúlio) e Ribeirão das Pedras e Ribeirão Areado (Ibirama).

Grande parte dos escorregamentos de terra tornaram-se fluxos de detritos que alcançaram o canal principal, ocasionando diversas áreas de acúmulo de detritos ao longo de seu curso. Esse fato também resultou em uma inundação brusca com grande quantidade de sedimentos, detritos rochosos e lenhosos, o que aumentou o poder destrutivo do fenômeno.

O Bairro Revólver é justamente o apontado na imagem comparativa das classificações de 2020 e 2021, onde, na porção sudeste das mesmas, observa-se um aumento da mancha que se refere à classe 'área construída' e, na verdade, engloba também, a mancha de sedimentos deixada pela corrida de detritos. Portanto, como na imagem classificada não se conseguiu separar a área de deposição dos detritos da área urbana/construída, optou-se por fazer a digitalização da área atingida pelos detritos e as cicatrizes dos deslizamentos. Na figura 58 se visualizam os elementos digitalizados.

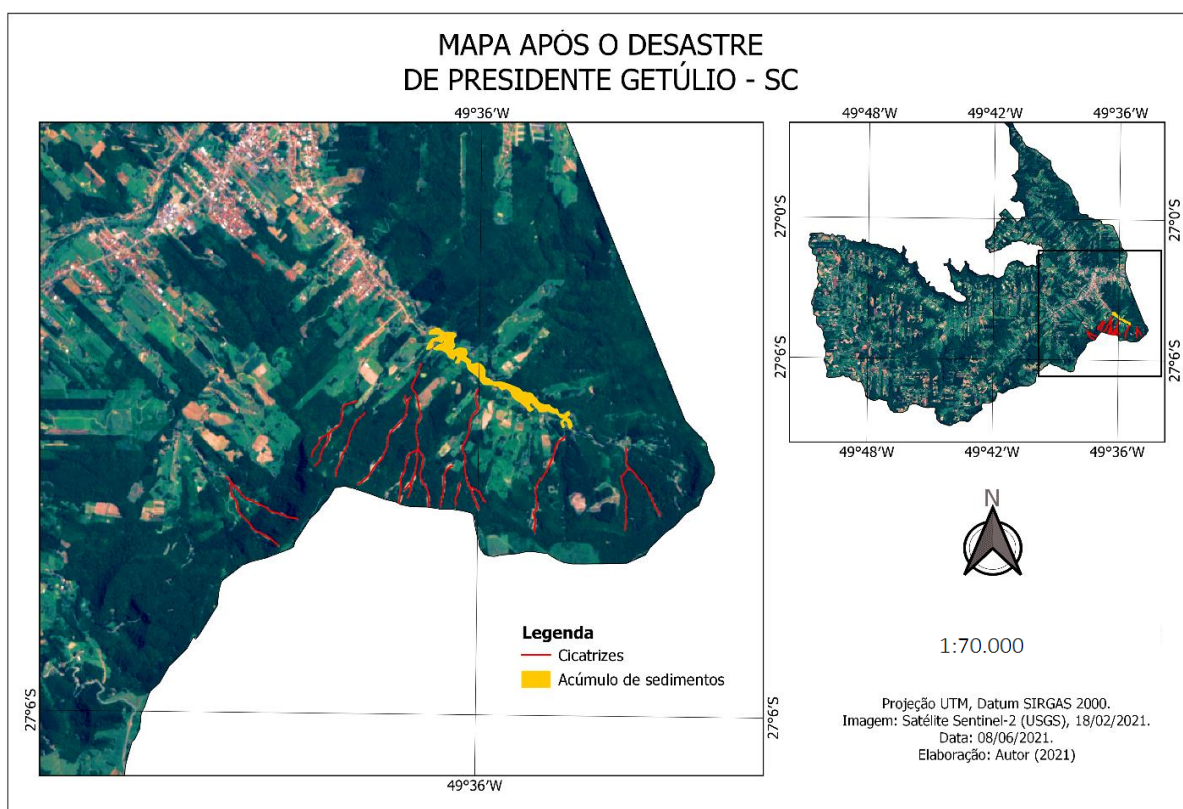


Figura 58 – Mapa das cicatrizes de deslizamento e corrida de detritos.

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Na Figura abaixo mostra-se com mais detalhe a posição das cicatrizes dos escorregamentos deflagrados pelo evento.

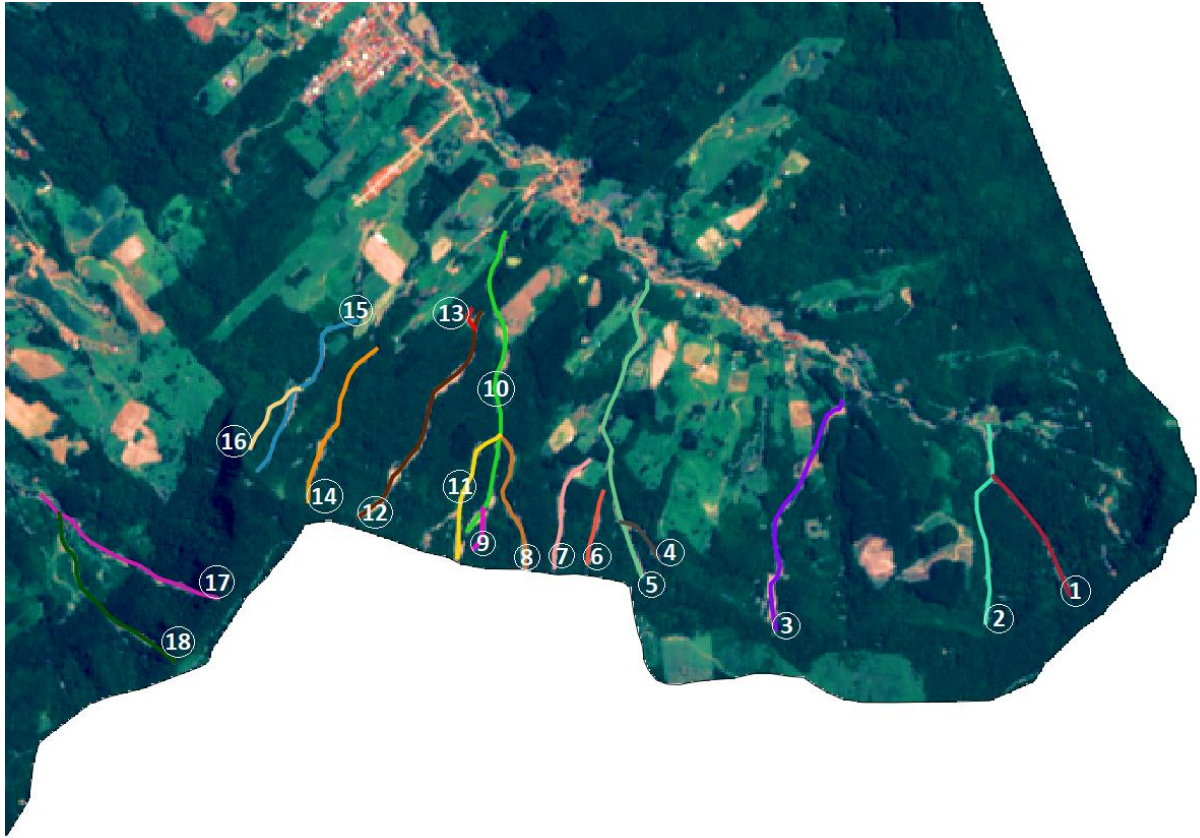


Figura 59 – Mapa de detalhamento das cicatrizes.

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

A fim de ter um maior detalhamento da proporção do impacto das feições deixadas pelo desastre, elaborou-se uma tabela com medidas das dimensões das cicatrizes (unidade de medida: m) e depósitos de sedimentos (unidade de medida: m²) de acordo com a tabela de atributos disposta pelo software QGIS.

Tabela 5 – Tabela de atributo com informações do comprimento de cada cicatriz.

Feição	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Comp. (m)	602,42	867,04	1065,37	229,45	1326,40	307,88	500,22	597,81	178,93
Feição	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Comp. (m)	1322,77	578,75	1047,48	90,78	729,76	819,64	340,86	869,14	840,27
TOTAL (m)	12.314,97								
Comprimento médio (m)	684,17								

Fonte: Adaptado de QGIS 3.16 (2021)

Conforme o relatório de Michel et al. (2021), os fluxos de detritos que atingiram o bairro Revólver, percorreram distâncias de até 1800 metros, ultrapassando áreas habitadas até alcançar o Rio Revolver. Neste cenário não se formou uma área de deposição antes da calha de drenagem, e os blocos maiores e detritos lenhosos distribuíram-se ao longo da calha do rio, enquanto o movimento seguiu carregando sedimentos menores, atingindo a região central do município com um fluxo de lama e inundações.

Através da ferramenta régua, disponível no software Qgis, na Figura 60 é possível identificar aproximadamente a área representada no polígono vermelho na imagem, com 139.683,370 m².

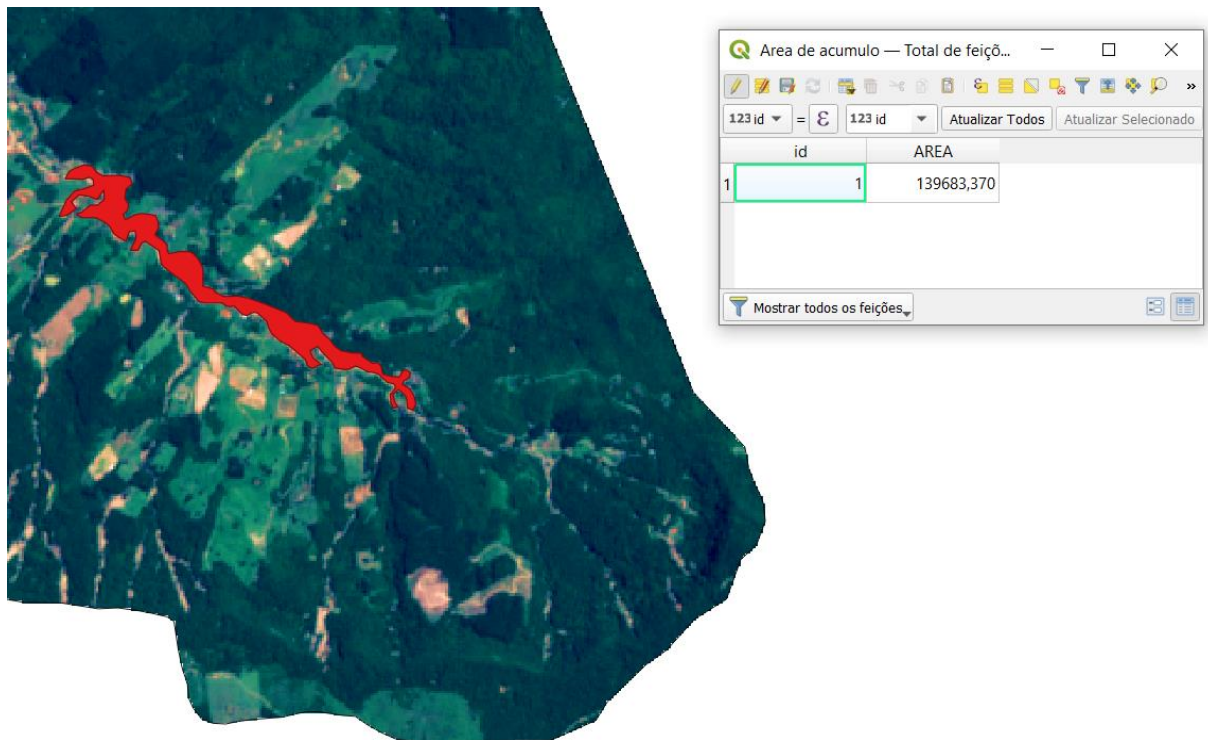


Figura 60 – Delimitação da área em que houve depósito de sedimentos.

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

6.3 Análise do Mapeamento de suscetibilidade

Por meio do Repositório Institucional de Geociência do CPRM, foi possível acessar a carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações do município de Presidente Getúlio e aos shapefiles. As cartas apresentam as áreas suscetíveis à risco e também classifica a área quanto ao seu

nível de risco. Já os shapefiles auxiliam na delimitação da área suscetível a cada risco em específico.

O IPT em conjunto com a CPRM mapeou a suscetibilidade a enxurradas, corridas e inundação, entre outros eventos de movimentos de massa e hidrológicos passíveis de ocorrência nos municípios brasileiros. A Nota Técnica (2014) do produto gerado pela CPRM utiliza o termo enxurradas (flash flood) para designar um evento hidrológico caracterizado como uma enchente ou inundação brusca e de curta duração desenvolvidas em bacias de drenagem restritas ao contexto de relevo serrano ou morros altos. O termo corrida (corrida de massa - debris flow) diz respeito a um movimento de massa complexo e com alta capacidade de transporte, com fluxo de blocos de rocha e troncos vegetais imersos em matriz com alta concentração de sedimentos de diferentes granulometrias, provenientes de deslizamentos das encostas. E, por fim, o termo inundação (flooding) refere-se ao atingimento e submersão da planície aluvial pelo transbordamento de águas do canal principal do rio.



Figura 61 – Exemplos das áreas de escorregamento/deslizamento, fluxo de detritos e inundação

Fonte: Michet et al., 2021

Dada a importância dessa informação para o município, sobrepôs-se o mapa de uso do solo de 2021 (pós desastre) com o de suscetibilidade da CPRM, de modo a se

avaliar a concordância entre as áreas afetadas e o levantamento/estudo anteriormente citado. Na Figura 62 está representada a sobreposição.

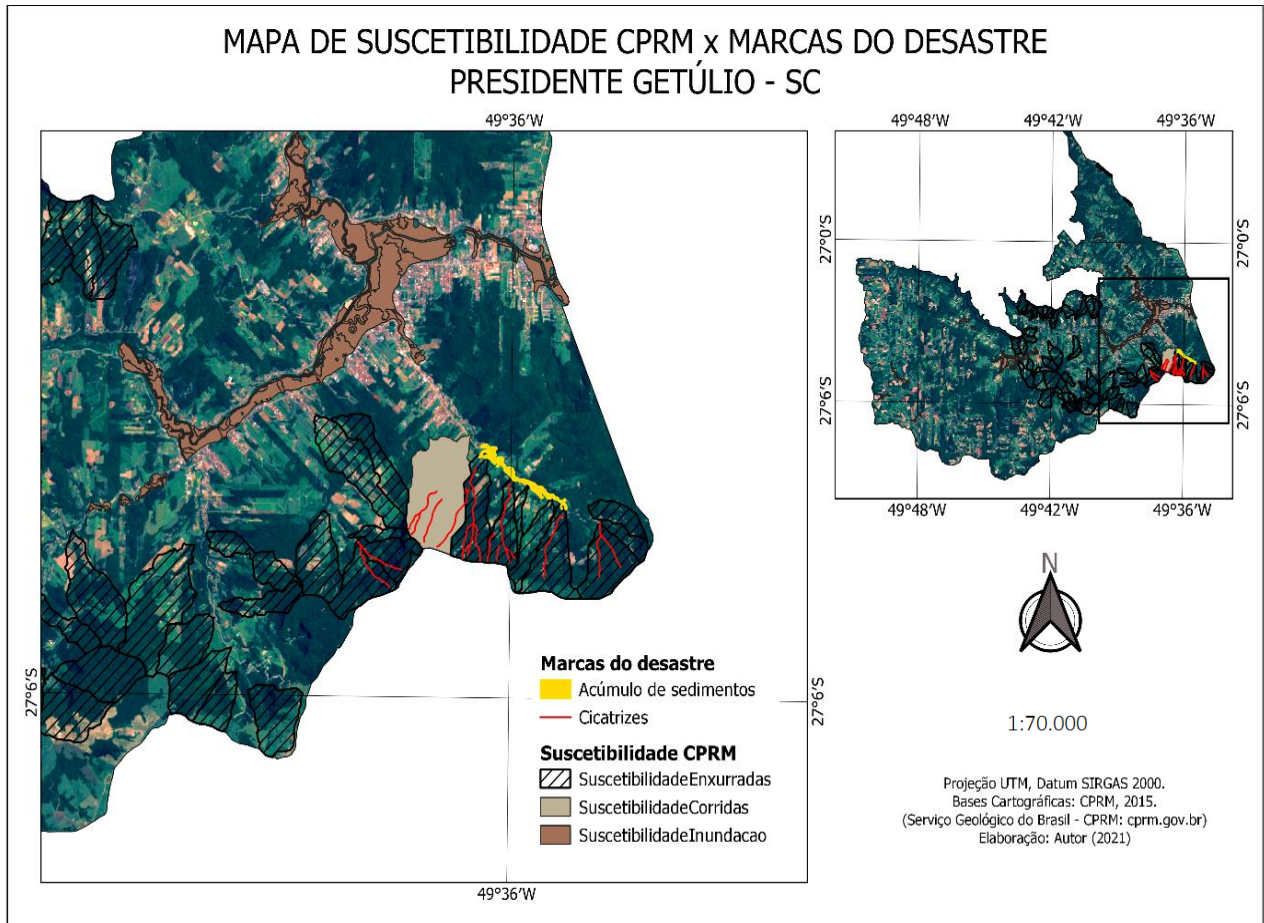


Figura 62 – Mapa de suscetibilidade x marcas do desastre.

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Conforme pode ser vislumbrado no Mapa de suscetibilidade x marcas do desastre, a carta de suscetibilidade disponibilizada pelo CPRM caracterizou o território municipal como tendo suscetibilidade de ocorrências de eventos relacionados a enxurradas, corridas e inundação.

Com o evento ocorrido em 2020, pode-se perceber que os pontos previamente estudados pelo CPRM, foram de fato os locais impactados pela enxurrada. A exemplo do bairro Revólver que já havia sido diagnosticado como suscetível a corridas de massa e de enxurradas, fato este que se comprovou em 2020.

6.4 Comparação dos dados hidrológicos com geotécnicos

As análises das unidades geomorfológicas através de fatores como: cobertura vegetal, ângulo de declive, estabilidade de taludes e material formador de taludes, são essenciais, pois, influenciam na suscetibilidade das áreas aos desastres e, também explicam as diferenças na distribuição espacial dos eventos de falha de taludes num município (Smyth & Royle, 2000). Por este motivo, apresenta-se abaixo os mapas de hipsometria (Figura 63) e declividade gerados para Presidente Getúlio/SC a partir de dados de radar (SRTM).

A hipsometria e a declividade do solo são atributos geomorfológicos que permitem a análise e avaliação mais aprofundada da execução do modelo digital de elevação (MDE) de uma dada bacia hidrográfica. A carta hipsométrica é um documento robusto e essencial, caracterizado por informar a altimetria de uma dada área, que propicia ao usuário uma visão ampla do relevo e do rebaixamento do terreno. As análises das bases cartográficas, a elaboração dos mapas hipsométricos e de declividade, permitem a visualização das altitudes e cotas mínimas e máximas da área em estudo. Assim, com o mapa hipsométrico obtém-se uma visão do relevo, caracterizando as suas áreas de planícies aluviais e as demais formas do relevo (SOARES e PIROLI, 2019).

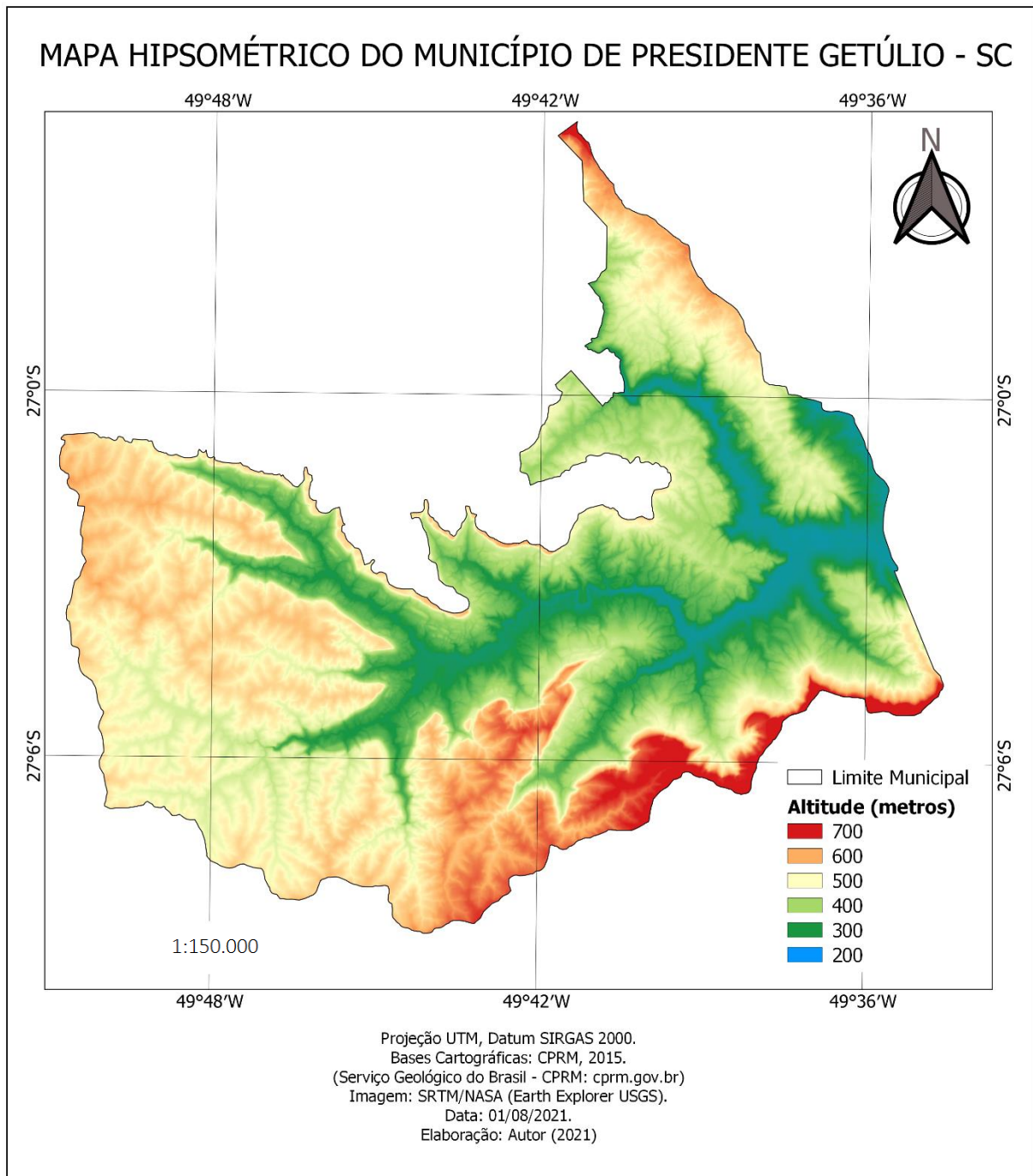


Figura 63 – Mapa Hipsométrico.

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Ao analisar o mapa hipsométrico na Figura 63, pode-se observar que os intervalos com maior ocorrência na área de estudo possuem altitudes que variam entre 500 a 700 metros.

A declividade é um dos principais fatores na avaliação da suscetibilidade, e descreve a inclinação da superfície do terreno em relação ao plano horizontal, podendo ser especificada em graus ou porcentagem. O mapa da declividade foi

elaborado a partir dos shapefiles disponibilizados pela CPRM (2016) e reclassificado em seis classes de declividade em porcentagem, seguindo a proposta de EMBRAPA (2006) (Figura 65). Na Figura 64 é apresentada a classificação do relevo de acordo com a declividade das vertentes, expressas em percentuais e ângulos, seguido do mapa de declividade do município de Presidente Getúlio.

Classes de declividade		Classificação do relevo
(%)	(°)	
0 - 3	0 - 1,35	Plano
3 - 8	1,35 - 3,60	Suave ondulado
8 - 20	3,60 - 9,00	Ondulado
20 - 45	9,00 - 20,25	Forte ondulado
45 - 75	20,25 - 33,75	Montanhoso
> 75	> 33,75	Escarpado

Figura 64 – Classificação do relevo de acordo com a declividade, adotando intervalos em graus segundo os intervalos da EMBRAPA para classificação de solos

Fonte: Adaptado de EMBRAPA (2006)

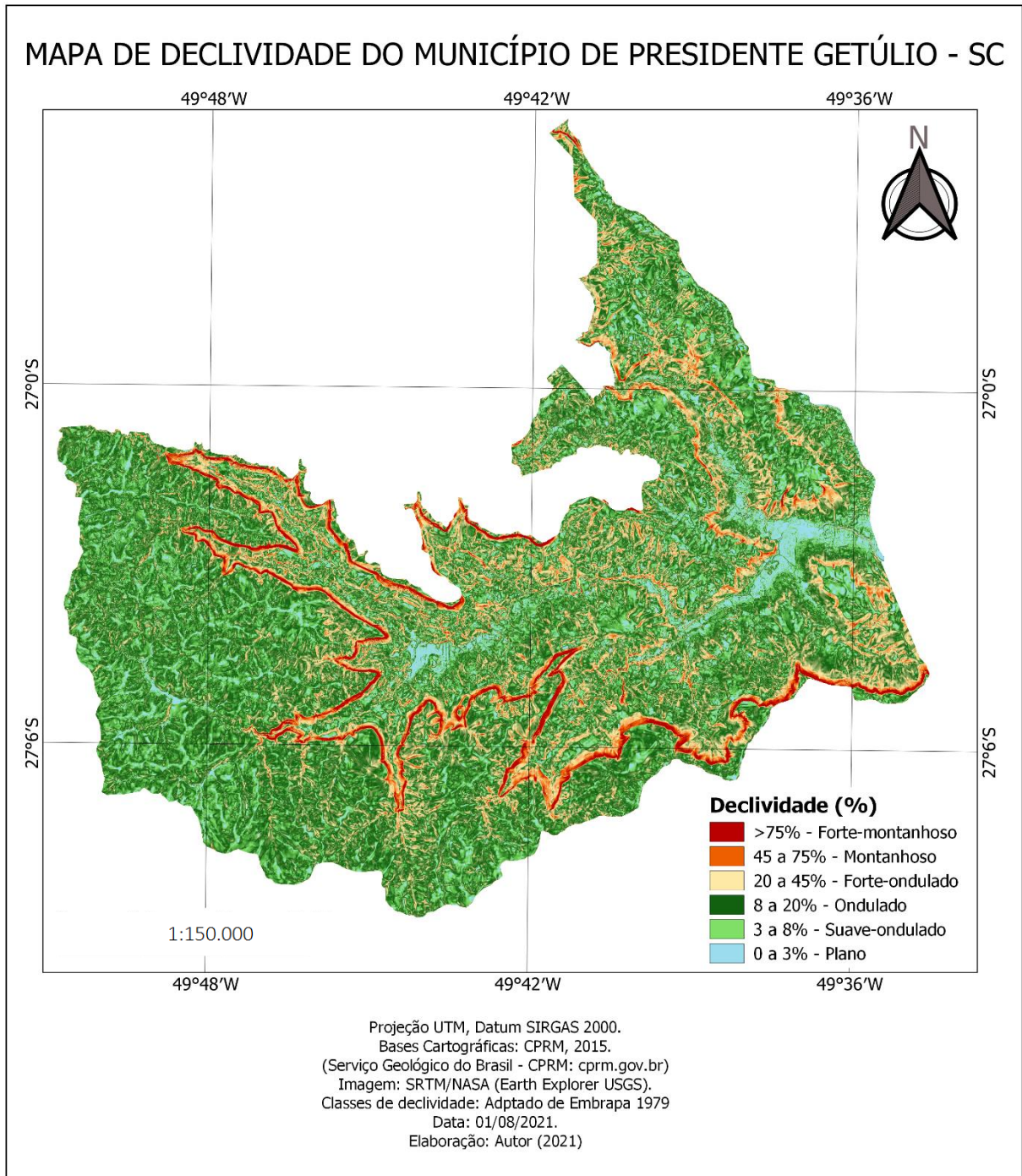


Figura 65 – Mapa de declividade.

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Devido à predominância de relevo ondulado a forte-ondulado no município, com ocorrência de regiões montanhosas a fortemente montanhosas, as cicatrizes de escorregamento se concentram nas encostas mais declivosas.

As informações sobre as bacias hidrográficas municipais são interessantes para os gestores públicos de várias maneiras, sendo ele na condução de um bom

planejamento de áreas rurais, especialmente em levantamentos hidrogeológicos, por exemplo, são úteis para delinear locais favoráveis e vulneráveis. Isso é importante porque é possível delinear qualquer área com níveis restritos por meio de levantamentos hidrológicos, de solo e de uso do solo.

Aliando-se as informações de hipsometria, declividade e pedologia (Figura 67), é possível se analisar o contexto da ocorrência dos desastres.

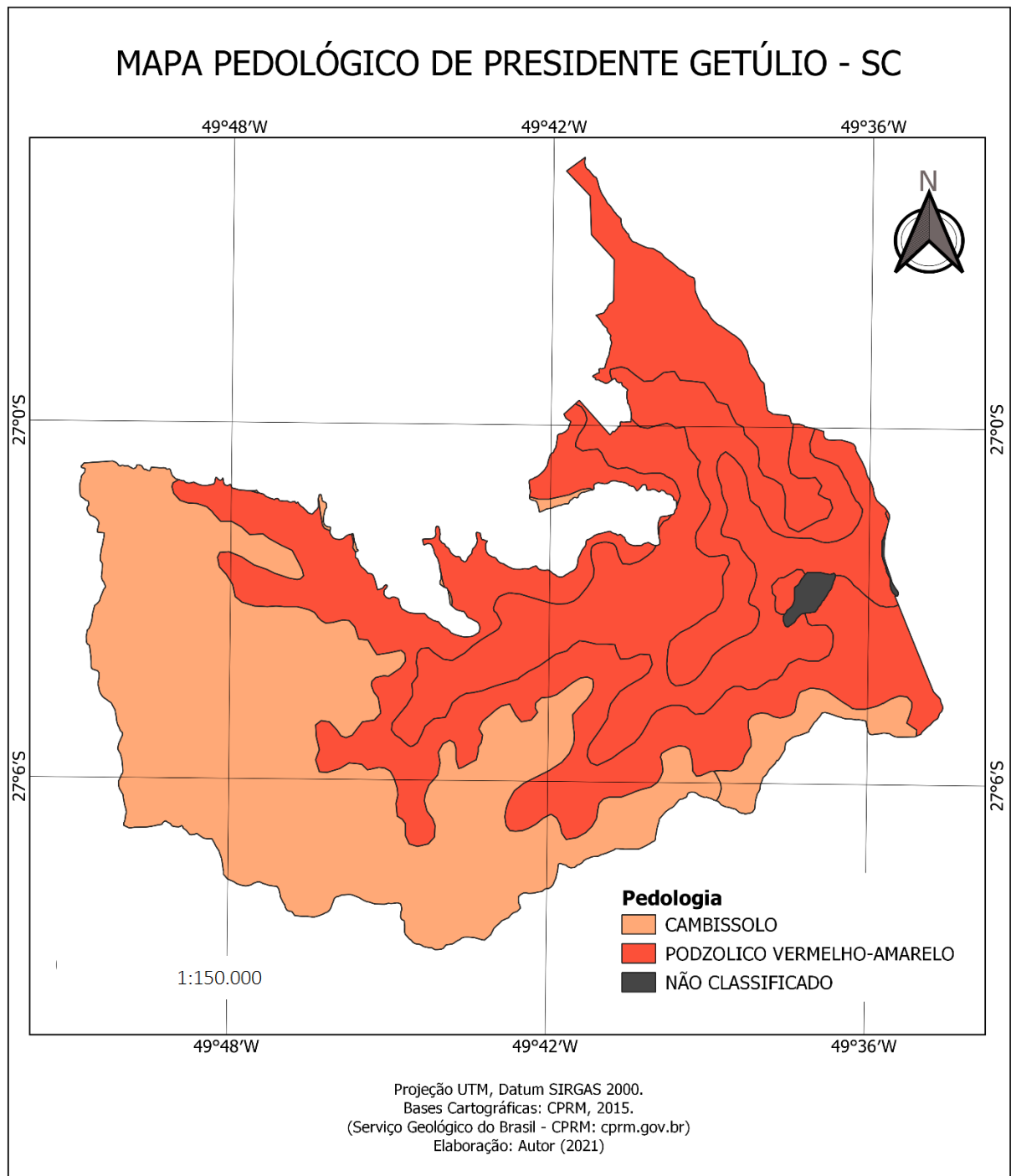


Figura 66 – Mapa Pedológico.

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Na figura 66 se observa que o município possui basicamente duas grandes classes de pedologia: cambissolo e solo podzólico vermelho-amarelo. Tais solos, derivados do arenito Botucatu ocorrem segundo uma estreita faixa contornando a escarpa da Serra Geral. Os mais comuns são o Podzólico Vermelho-Amarelo e o Cambissolo, ambos de textura média. As rochas efusivas intermediárias e ácidas deram origem a solos argilosos ou de textura média, alguns com gradiente textural bem acentuado, com teores variáveis de Fe₂O₃, em geral inferior a 18%. (POTTER et al, 2004)

A sobreposição do mapa pedológico com as cicatrizes dos deslizamentos é mostrada na figura 67:

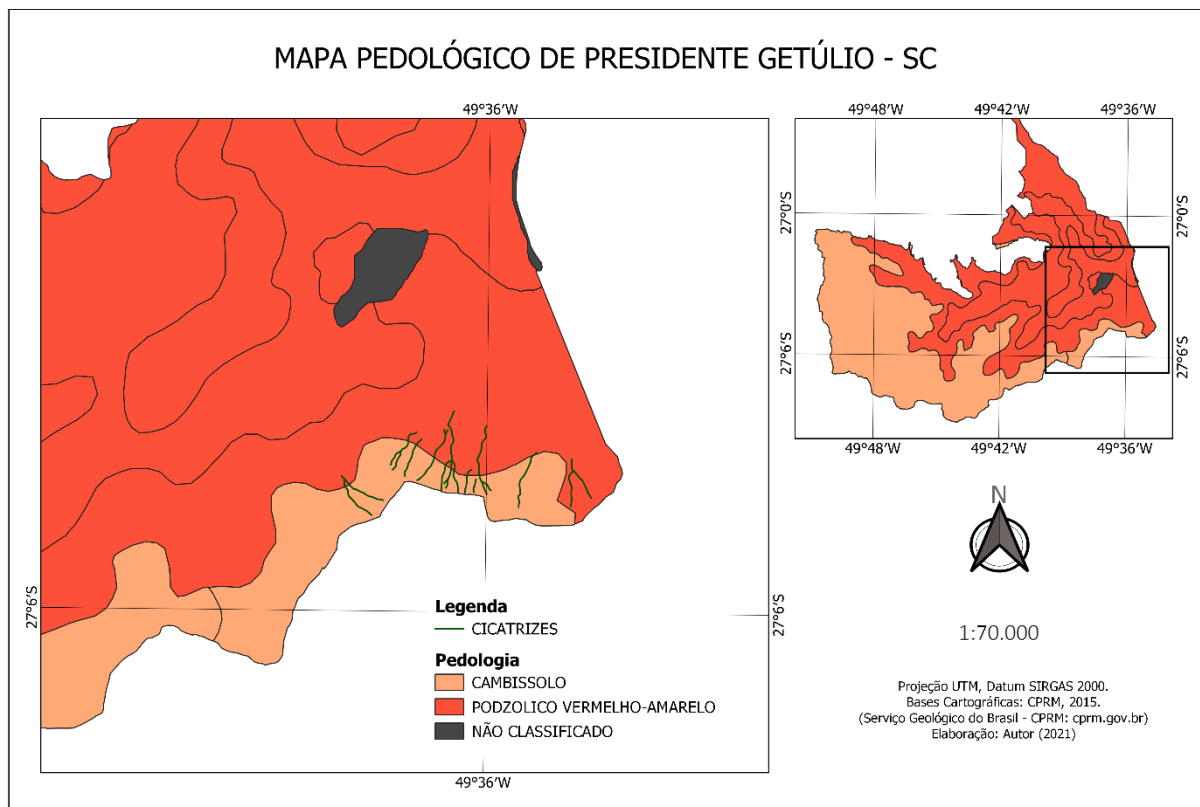


Figura 67 – Mapa Pedológico e cicatrizes.

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Michel et al. (2021) realizaram ensaio de campo com o equipamento BoreHole Shear Test (BST) a fim de se obter os parâmetros de coesão e ângulo de atrito dos dois tipos de solo mapeados. Estes autores utilizaram as terminologias da classificação geotécnica dos solos separando a área de estudos em duas unidades: Arenito/Rimito/Folhelho/Argissolo para a declividade média a baixa da Bacia do Córrego Revólver e Arenito/Folhelho/Siltito/Cambissolo para a porção mais declivosa, próxima aos topos de morro da mesma bacia (figura 68).

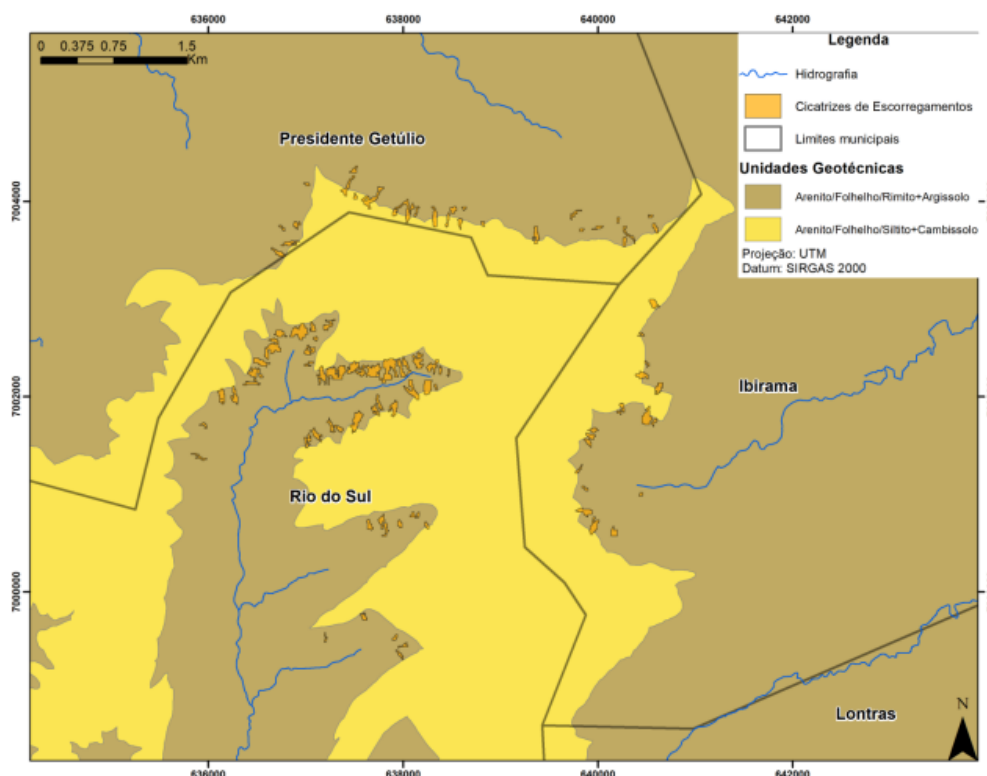


Figura 68 – Unidades Geotécnicas da Região de Presidente Getúlio

Fonte: Michel et al., 2021

Os resultados obtidos pelos autores podem ser vistos na tabela abaixo:

Tabela 6 – Parâmetros de solo das unidades geotécnicas

Unidade geotécnica	ϕ (°)	c (Pa)
Argissolo	36,3	1100,00
Cambissolo	33,8	4000,00

Fonte: Michel et al., 2021

Os Argissolos são de profundidade variável, desde forte a imperfeitamente drenados, de cores avermelhadas ou amareladas e mais raramente brunadas ou acinzentadas. A textura varia de arenosa a argilosa no horizonte A e de média a muito argilosa no horizonte Bt, sempre havendo aumento de argila daquele para este. Compreendem solos constituídos por material mineral, que têm como características diferenciais a presença de horizonte B textural de argila de atividade baixa, ou atividade alta desde que conjugada com saturação por bases baixa ou com caráter aluminico. Possuem problemas sérios de erosão são verificados naqueles solos em

que há grande diferença de textura entre os horizontes A e B, sendo tanto maior o problema quanto maior for a declividade do terreno. (EMBRAPA, 2018)

Os Cambissolos, devido à heterogeneidade do material de origem, das formas de relevo e das condições climáticas, as características destes solos variam muito de um local para outro. Assim, a classe comporta desde solos fortemente até imperfeitamente drenados, de rasos a profundos, de cor bruna ou bruno-amarelada até vermelho- -escura, de alta a baixa saturação por bases e atividade química da fração argila. Compreendem solos constituídos por material mineral, com horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial, desde que em qualquer dos casos não satisfaçam aos requisitos estabelecidos para serem enquadrados nas classes Vertissolos, Chernossolos, Plintossolos e Organossolos. (EMBRAPA 2018)

As precipitações médias anuais do município estão representadas na figura abaixo:

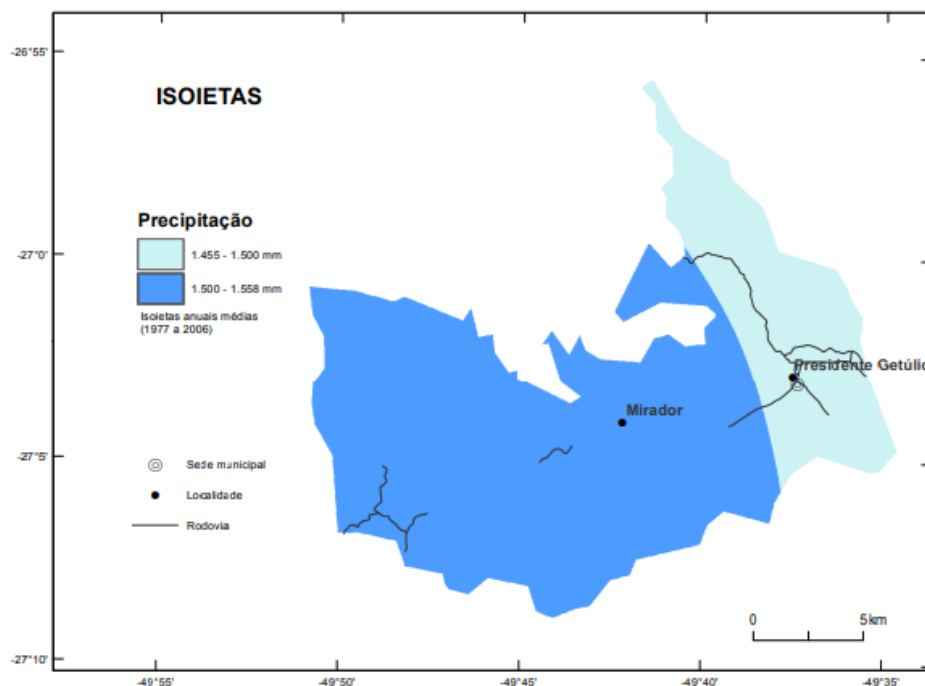


Figura 69 – Precipitação média anual de Presidente Getúlio/SC

Fonte: CPRM (2015)

A partir das isoietas médias mensais acima representadas obteve-se as médias mensais (Figura 70) para a área (CPRM, 2015).

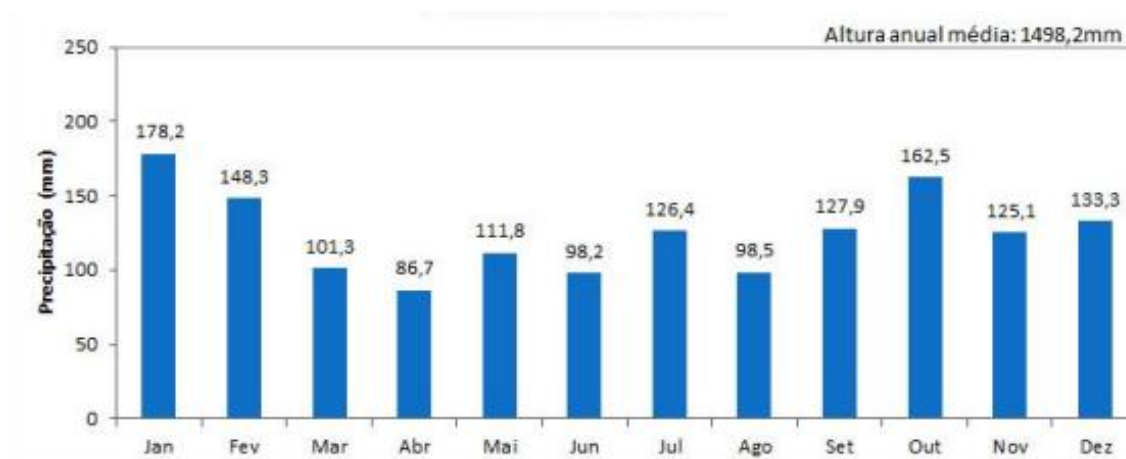


Figura 70 – Médias mensais de Presidente Getúlio/SC

Fonte: CPRM (2015)

A precipitação no dia 13 de dezembro próximo ao horário das 21h00, ocorreu de maneira intensa até as 00h00. Se estendendo até às 11h00 do dia 15 de dezembro. Houve um período sem precipitação que se seguiu até a noite do dia 16 de dezembro, quando se iniciou um evento intenso em áreas nas quais o solo já se encontrava com alta umidade, culminando nos movimentos de massa e enxurradas MICHEL et al (2021). Como podemos ver o valor médio mensal de precipitação para o mês de dezembro é de 133,3 mm e em apenas aproximadamente 4 dias os dados pluviométricos registram uma precipitação de 242 mm.

6.5 Análise do Plano Diretor Municipal frente a desastres naturais

O município de Presidente Getúlio possui instrumentos jurídicos que auxiliam no planejamento territorial. Dentre eles destacam-se: Plano Diretor revisado em 2019, Código de Obras e Edificações, Código de Posturas, Lei de Delimitação do Perímetro Urbano, Plano Municipal de Saneamento, Mapeamento e Cadastro dos Núcleos de Interesse Especial; Mapeamento e Lei que define as áreas urbanizadas da Serra dos Índios, Serra Vencida e Papanduva.

No tocante ao Plano Diretor Municipal (Lei Complementar Nº 2.416/2019), pode-se destacar que existe a promulgação de zoneamento que caracteriza as áreas em residencial, comercial/serviço, industrial, as vias projetadas além das áreas de expansão urbana e o núcleo de interesse especial. Ao longo dos seus cursos hídricos dos Rios do Índio e Krauel (que são afluentes do rio Itajaí do Norte) no perímetro urbano, é possível observar o desenvolvimento de diversos terraços que têm sido

utilizados, intensamente, para o desenvolvimento de atividade agricultura e também para ocupação urbana (BRASIL, 2015).

Os danos provenientes da inundação brusca foram intensificados pela presença de diversas residências muito próximas aos cursos hídricos. Diversas das vítimas fatais causadas pelo extravasamento do rio durante a inundação brusca deflagrada pelo evento de 2020, são reflexo dessa ocupação dentro de uma zona que é considerada área de preservação permanente (APP). Assim, energias altas de escoamento, aliadas ao aumento rápido da lâmina da água e a presença de materiais de grande porte provindos dos movimentos de massa tornaram o evento bastante perigoso no entorno dos rios.

O Plano Diretor reporta que nas áreas degradadas por processos erosivos e nos locais onde foram dispostos os resíduos sólidos urbanos, é proibido o parcelamento e ocupação urbana e é obrigatória a execução de medidas corretivas e preventivas que promovam a recuperação ambiental. As delimitações das áreas compreendidas no plano diretor municipal estão relacionadas à Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização Frente aos Desastres, elaborado pelo Ministério das Cidades em parceria com a UFSC, que informa quais são as áreas de risco geológico no município.

É imprescindível que estes instrumentos permaneçam integrados e que sejam atualizados em conjunto, pois assim, é possível se qualificar o território mediante a ocupação do solo e identificar a potencialidade de riscos relacionados à dada região, vedando-se o parcelamento e ocupação urbana em áreas suscetíveis a deslizamentos, inundações, enxurradas e demais desastres naturais. Estas restrições permanentes em âmbito municipal, referem-se à zona de atingimento dos deslizamentos, que inclui as áreas planas situadas a jusante do eixo do movimento gravitacional de massa, na base das encostas, onde o material deslizado poderá ser depositado. Estas áreas devem ser submetidas à realização de estudos pontuais. Além disso, são necessárias fiscalizações periódicas para evitar a ocupação desordenada e inadequada.

6.6 O QGIS como frente de análise pós-movimentos de massa

Zanandrea et al. (2018) afirmam que, a caracterização, o mapeamento e a avaliação de eventos sedimentológicos extremos e de cicatrizes de escorregamentos/deslizamentos, são muito importantes para se gerenciar as bacias

hidrográficas, mesmo em situações pós-evento, de modo a se compreender a dinâmica da paisagem analisada.

O QGIS é um software livre, gratuito e bastante amigável. A escolha deste sistema levou em consideração: sua facilidade para o download; sua acessibilidade, pois não requer um hardware muito potente; a disponibilidade de tutoriais para o seu aprendizado e também por possuir grande número de usuários.

A tarefa de encontrar camadas vetoriais e rasters para serem utilizadas nas elaborações dos mapas não foi tão fácil. Foram feitas várias pesquisas em diversos sites para encontrar as imagens de satélites com qualidade e os shapefiles que atendessem a área de estudo.

Através do fácil acesso a tutoriais sobre o software, foi possível ter uma facilidade no manuseio e utilização de ferramentas, porém, embora haja facilidade no manuseio diante ao contexto apresentado, o programa apresenta algumas limitações que atrapalham na fluidez do trabalho, mas nada muito crítico. Um ponto que é importante ressaltar sobre o QGIS, seria quanto a sua recuperabilidade, o software possui baixa capacidade de recuperar dados em caso de falha, resultando no retrabalho de algumas etapas na construção dos mapas e consequentemente no aumento de tempo necessário para a sua conclusão.

Uma das etapas que mais necessitou de tempo para a sua execução, foi na geração dos mapas de uso e ocupação do solo. Em um primeiro instante, os procedimentos necessários para obtenção dos mapas, se fizeram por meio da criação de shapefile para cada classificação através da técnica da fotointerpretação no ambiente do software QGIS, porém essa etapa exigia um período consideravelmente longo de trabalho, sendo uma técnica bastante eficiente, que envolve um trabalho minucioso, o qual exige tempo e atenção e dedicação do profissional. Sendo assim, viu-se a necessidade em buscar novas possíveis opções.

Através de pesquisas sobre a geração desses mapas, foi encontrado o plugin SPC, utilizado como complemento do QGIS, onde foi possível obter os mapas de uso ocupação do solo de forma relativamente rápida e eficaz, uma vez que a coleta de amostras leva um tempo consideravelmente menor e o mapa de uso do solo é obtido por um processamento rápido. Em relação ao tempo necessário para executar o programa de obtenção dos dois mapas, verificou-se que o método de fotointerpretação requer mais de vinte horas de trabalho total, enquanto para a

obtenção do mesmo mapa pela tecnologia de classificação foram necessárias pouco mais de duas horas.

Com relação ao cruzamento de mapas para a geração das análises pós-desastres, o QGIS disponibiliza complementos para a obtenção desses resultados, foi possível encontrar tutoriais sobre a utilização desse plugin.

7 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta pesquisa analisou-se as condições geológico-geotécnicas e climáticas para a ocorrência dos deslizamentos e fluxo de detritos ocorridos em Presidente Getúlio/Sc no ano de 2020.

Através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento de imagens de satélite, mapeou-se as cicatrizes dos deslizamentos e a área de acúmulo de detritos provenientes destes deslizamentos. Foram identificadas 18 cicatrizes com um comprimento total de 12.314,97 metros, localizadas numa área de maior declividade (45 a 75%) no município e elevada altimetria (variando da cota 500m a 700 m). A área invadida pela corrida de detritos corresponde a 139.683,370 m² ao longo da porção mais baixa da superfície no Bairro Revólver.

Os mapas pedológicos indicam que as cicatrizes estão localizadas sobre os seguintes solos: argissolos e cambissolos, os quais possuem as características de serem solos suscetíveis a erosão sob suas condições podendo ser desde solos fortemente até imperfeitamente drenados.

Os dados de hipsometria e declividade mostraram que área mais atingida do município se localiza próximo a regiões montanhosas. Os dados pluviométricos mostram a ocorrência de um evento extremo na ocasião do desastre pois o valor médio mensal de precipitação para o mês de dezembro é de 133,3 mm e em apenas 96h foi registrado uma precipitação de 242 mm. Porém, Presidente Getúlio não dispõe de dados hidrológicos históricos, devido à ausência de uma estação fluviométrica com série de registros longos o suficiente que permita análises estatísticas para o cálculo do tempo de retorno dos eventos com maior precisão e acurácia. Neste sentido, recomenda-se implantar estações pluviométricas em pontos estratégicos dentro dos limites geográficos municipais, com vista a subsidiar estudos, análises, estatísticas e o monitoramento hidrometeorológico para prever o tempo de retorno de eventos com vistas a mapear áreas de risco e criar sistemas de previsão e alerta.

Analisando-se o planejamento urbano do município, em especial o Plano Diretor observou-se que, o município não possui um Plano de Contingência com o objetivo de estabelecer as ações de proteção e defesa civil. Desta forma não se têm ações de preparação e resposta a desastres suscetíveis a região. Embora o município tenha ordenamento jurídico que permeia o uso e ocupação do solo, devido ao evento ocorrido, pode-se identificar que diversas vítimas fatais resultantes dos danos

provenientes a inundação brusca, tinham suas residências muito próximas aos cursos hídricos e estavam localizadas dentro de uma zona considerada área de preservação permanente (APP). Sugere-se neste âmbito, a elaboração de um Plano de Contingência que contemple a definição de procedimentos, ações e decisões que serão tomadas em caso de eventos extremos. Recomenda-se também fiscalizar e fazer cumprir as legislações vigentes para evitar a ocupação inadequada dos munícipes em áreas destinadas a núcleos especiais, e aqueles locais que possam ser suscetíveis a eventos.

Também é importante enfatizar a importância de proceder ao monitoramento ambiental das áreas de expansão urbana do município, projetada para diagnosticar possíveis mudanças locais no quadro de suscetibilidade ambiental e de aptidão urbana das áreas ainda não ocupadas, assim como a mitigação de riscos que possam ser gerados no processo de parcelamento e aproveitamento do uso urbano do solo.

Considerando o mapa apresentado, conclui-se que as regiões de ocorrência de escorregamentos no evento de 16 de dezembro de 2020 foram relatadas previamente como áreas suscetíveis pelo CPRM. Desta maneira, tais regiões poderiam ter sido previamente identificadas como áreas de perigo a escorregamentos translacionais rasos e tal ação poderia ter embasado a adoção de medidas preventivas, principalmente a remoção da população para se evitar óbitos.

A experiência com o QGIS possibilitou a percepção de elaboração de mapas e entendimento da aplicação prática do Geoprocessamento e possibilitou a interação com diversas áreas de conhecimento, as imagens de satélite facilitam no cruzamento de dados para criação de diversos tipos de mapas. O QGIS é um programa bem intuitivo, com maior facilidade de entendimento para realizar as operações, mesmo para pessoas com pouco conhecimento na área. Didaticamente muito interessante

Por fim, para os diferentes níveis de gestão, recomenda-se realizar campanhas periódicas de educação ambiental visando a orientação, conscientização e capacitação com os munícipes, a fim de instruí-los sobre áreas propensas à suscetibilidade, bem como destacar áreas de risco, e instruí-los em ação de Proteção Ambiental e Defesa Civil.

Tendo em vista o potencial das importantes informações que esta metodologia gerou e pode gerar, recomenda-se que fazer estudos de estabilidade de taludes são de fundamental importância para a proposição de projetos de contenção de encostas de forma mais coerente. Da mesma forma, conhecer melhor as características

geotécnicas da área podem ajudar a entender o processo e a relação entre as duas geologias encontradas na área.

REFERÊNCIAS

- AHRENDT, Adriana. **MOVIMENTOS DE MASSA GRAVITACIONAIS**: proposta de um sistema de previsão: aplicação na área urbana de campos do jordão - sp. 2005. 364 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2005. Cap. 2.
- ALVES, E. et. al. **Êxodo e sua contribuição à urbanização de 1950 a 2010**. Revista de Política Agrícola (Embrapa). Ano XX – nº 2 – Abr./Maio/Jun. 2011. pp.80-88.
- ALHEIROS, M. M. SOUZA, M. A. A., BITOUN J., MEDEIROS, S.M. G. M., AMORIM JÚNIOR, W. A. **Manual de ocupação dos morros da Região Metropolitana do Recife**. FIDEM, 2003.
- ALMEIDA, J. A. **Guia de excursão pedológica**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34., Florianópolis. Anais...Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013.56 p.
- AUGUSTO FILHO, O. **CARTAS DE RISCO DE ESCORREGAMENTOS**: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilhabela, SP. São Paulo. 162 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo, 1994.
- ARANTES, Otília; VAINER, Carlos; MARICATO, Ermínia. **A cidade do pensamento único: desmanchando consensos**. Petrópolis: Vozes, 2000, p. 121- 192.
- ALMEIDA, L.C. (2011). **“Análise espacial de dados com o Quantum Gis: exercícios realizados durante tópico especial ofertado pelo programa de Pós-Graduação em Geografia da UFSC”**, Observatorium, 3:173-194.
- ASSIS, Janaina Maria Oliveira de; CALADO, Ludmilla de Oliveira; SOUZA, Werônica Meira de; SOBRAL, Maria do Carmo. **MAPEAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO MUNICÍPIO DE BELÉM DE SÃO FRANCISCO**: nos anos de 1985 e 2010. Revista Brasileira de Geografia Física, Recife, v. 05, n. 07, p. 859-870, 2014.
- AMAVI. **PRESIDENTE GETÚLIO**. Disponível em: <https://www.amavi.org.br/municipios-associados/perfil/presidente-getulio>. Acesso em: 05 set. 2021.
- BRIGIO, A. M. **Aplicação de Sensoriamento Remoto e Sistema de Informação Geográfica na determinação da vulnerabilidade natural e ambiental do Município de Guimarães (RN): Simulação de risco às atividades da Indústria Petrolífera**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, p. 222, 2003.
- BITAR, Omar Yazbek. **NOTA TÉCNICA EXPLICATIVA**: cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações - 1:25.000. São Paulo: Câmara Brasileira do Livro, 2014. 50 p.

Borges, R. F.; Borges, F. A.; Costa, F. P. M.; Nishiyama L. 2008. **Mapeamento do uso do solo e cobertura vegetal da porção de alto curso da bacia do rio Uberabinha – MG.** In: II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias de Geoinformação, Recife.

CÂMARA, G.; CASANOVA, M.A.; HEMERLY, A.S.; MAGALHÃES, G.C.; MEDEIROS, C.M.B. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica.** São José dos Campos: INPE. Campinas: IBM Brasil/ CPqD-Telebrás/Unicamp, 1996. 193p.

CASTRO, I. E. **O problema da escala.** In: CASTRO, I.E.; GOMES, P. C. C.; CORREA, R. L. Geografia: conceitos e temas. 10. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007, p. 117-140.

CEMADEN. **Movimento de massa.** 2016. CAMADEN. Disponível em: <http://www2.cemaden.gov.br/deslizamentos/#:~:text=Movimento%20de%20Massa%2C%20tamb%C3%A9m,potencializado%20pela%20a%C3%A7%C3%A3o%20da%20%C3%A1gua>. Acesso em: 25 fev. 2020.

Censipam (s/d). **“Quantum GIS 1.4.0 - Guia do Usuário: Versão 1.4.0 Enceladus”**, Tradução do Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia, s/d.

CEPED UFSC. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres - Universidade Federal de Santa Catarina. **Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2012: Volume Brasil.** 2.ed. rev. ampl. Florianópolis: CEPED UFSC, 2013. 126 p.: il. color.; 22 cm.

CHRISTOFOLETTI, A. (1999). **Modelagem de Sistemas Ambientais.** Ed. Edgard Blucher, Ltda, São Paulo, p. 3-42.

COMITÊ DO ITAJAÍ. Missão Europa: **Breve caracterização da Bacia Hidrográfica do Itajaí.** Itajaí, 2005.

COOKE, R.U.; DOORNKAMP, J.C. 1990. **Geomorphology in environmental management: a new introduction.** 2aed. New York: Claredon Press, 1990.

COSTA, N. M. C. da; SILVA, J. X. da. Geoprocessamento aplicado à criação de planos de manejo: o caso do Parque Estadual da Pedra Branca-RJ. In: SILVA, J. X. da; ZAIDAN, R. T. **Geoprocessamento & análise ambiental: aplicações.** Rio de Janeiro: Bertrand, 2004.

CONCEIÇÃO, C. L.; SOUZA, J. L. S. **Mudança de escala cartográfica.** Boletim Gaúcho de Geografia, Porto Alegre, v. 27, n. 1., 2001.

COUTINHO, R. Q; SILVA, M. M. - **Apostila de Estabilidade de Taludes. Desenvolvimento de material didático ou instrucional.** Recife - Depto de Eng. Civil - UFPE, 2006.

Congalton, R. e Green, K., 2009. **Avaliando a Precisão de Dados de Detecção Remota: Princípios e Práticas.** Boca Raton, FL: CRC Press.

CORREA, R. L. **Diferenciação sócio-espacial, escala e práticas espaciais.** Revista Cidades, Rio Claro, v. 4, n. 6, p. 62-72, 2007.

DEBORTOLI, N. S.; CAMARINHA, P. I. M.; MARENGO, J. A.; RODRIGUES, R. R. **Na index of Brazil's vulnerability to expected increases in natural flash flooding and landslide disasters in the contexto of climate change.** Natural Hazards, n. 86, p. 557-582, janeiro de 2017.

DIAS, Leonardo Santana Oliveira. **Identificação de Áreas Suscetíveis a Deslizamento de Terra Utilizando Sistema de Informações Geográficas.** 2006. 75 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) – Universidade Federal da Bahia – UFB, Salvador, 2006, 75 f.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos** (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979.

EMBRAPA. **SISTEMA BRASILEIRO DE CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS.** 5. ed. Brasília: Supervisão, 2018. 356 p.

EPAGRI. **Recomendação de cultivares para o Estado de Santa Catarina 1998/99.** Florianópolis, (EPAGRI. Boletim Técnico, 98).

EINSTEIN, H.H. 1988. **Landslides risk assessment procedure.** In: International Symposium on Landslides, 5, Lausanne, 1988. Vol. 2. p. 1075-1090.

FERNANDES, N. F. & AMARAL, C. P. 1996. **Movimentos de massa:** uma abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (org) Geomorfologia e Meio Ambiente. Bertrand, Rio de Janeiro. p. 123-194.

Ferreira, A. B., Santos, C. R., Brito, J. L. S., ROSA, R. 2005. **Análise comparativa do uso e ocupação do solo** na área de influência da Usina Hidrelétrica Capim Branco I a partir de técnicas de geoprocessamento. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiânia.

FARIA, Daniela Girio Marchiori. **DESASTRES NATURAIS:** conhecer para prevenir. São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2009. 196 p.

FERNANDES, N. F. et al. **Condicionantes geomorfológicos dos deslizamentos nas encostas:** avaliação de metodologias e aplicação de modelo de previsão de áreas susceptíveis. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 2, p. 51-71, 2001. ISSN 1.

FRANK, B.; SEVEGNANI, L. **Desastre de 2008 no Vale do Itajaí** – água, gente e política. Blumenau: Agência de Água do Vale do Itajaí, 2009. 192p.

FRAGA, N. C. Clima, **gestão do território e enchentes no Vale do Itajaí-SC.** Terra Livre, v.1, n.20, p. 159-170, 2003.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 5. ed. São Paulo: Atlas, 2002

GUIMARÃES, R. F. et al. **Movimentos de Massa**. In: FLORENZANO, T. G. Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. Cap. 6, p. 159 – 184.

GONÇALVES, C. D. “**Desastres naturais**”. Algumas considerações: vulnerabilidade, risco e resiliência. Territorium, [S.l.], n. 19, p. 5-14, dez. 2012. ISSN 1647-7723.

OLIVEIRA, A.; MONTICELLI, J. **Geologia de Engenharia e Ambiental**, volume 2: Métodos e Técnicas. São Paulo: ABGE Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2018.

GIANNINI, P.C.F. & RICCOMINI, C. **Sedimentos e processos sedimentares**. In: TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T.R.; TOLEDO, M.C.; TAIOLI, F. ed. Decifrando a Terra (capítulo 9). São Paulo, Oficina de Textos. 2000.

HENRIQUE, Hugo Manoel. **MAPA DE RISCO A DESLIZAMENTO E EROSÃO**: do bairro de Rurópolis, município do ipojuca-pe. 2014. 160 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014. Cap. 2.

HIGHLAND, L. M.; BOBROWSKY, P. O **Manual de Deslizamento** - Um Guia para a Compreensão de Deslizamentos. U.S.G.S, Virginia. 2008.

IPT, I. D. P. T.-. **Ocupação de Encostas**. IPT. São Paulo. 1991. (n. 1831).

INMET. **Precipitação acumulada**. Plataforma online. <https://tempo.inmet.gov.br/PrecAcumulada>. 2021

JESUS, Alexandre Cerqueira de; DIAS, Leonardo Santana Oliveira, MIRANDA, Sérgio Barreto de, CAMPOS, Luis Edmundo Prado. **Avaliação da susceptibilidade ao risco de uma área piloto de Salvador**. IV COBRAE - Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas - Salvador-BA, 2005. Disponível em: <http://www.geotecnia.ufba.br/arquivos/ST02_03_123.pdf> Acesso em: 02 de dezembro de 2020.

KOBIYAMA, M.; CHECCHIA, T.; SILVA, R. V.; SCHRÖDER, P. H.; GRANDO, A.; REGINATTO, G. M. P. **Papel da comunidade e da universidade no gerenciamento de desastres naturais**. In: I Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais. Anais... Florianópolis, SC, 2004, p.834-846.

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D. A.; MARCELINO, I. P. V. O; MARCELINO, E. V.; GONÇALVES, E. F.; BRAZETTI, L. L. P.; GOERL, R. F.; LIMA, Renato Eugenio de; ACORDES, Fabiane Aline. **Avaliação preliminar de áreas visitadas atingidas por inundações, fluxos hídricos concentrados e movimentos de massa gravitacionais no município de Presidente Getúlio – Santa Catarina**. Paraná: Sem, 2020. 23 p.

LI, Y.; JIAO, Q.; HU, X.; LI, Z.; LI, B.; ZHANG, J.; JIANG, W. LUO, Y.; BA, RENJI. Detecting the slope movement after the 2018 Baige Landslides based on ground-based and space-borne radar observations. **International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation**, v. 84, 2020.

LIBÓRIO, Matheus Pereira; MARTINUCCI, Oseias da Silva; HADAD, Renato Moreira; SILVA, José Frankneile de Melo. PROCEDIMENTO PARA COMPATIBILIZAR MAPAS EM DIFERENTES ESCALAS E O PROBLEMA DA MUDANÇA DE SUPORTE ESPACIAL. **Caminhos de Geografia**, [S.L.], v. 21, n. 74, p. 126-141, 29 abr. 2020. EDUFU - Editora da Universidade Federal de Uberlândia. <http://dx.doi.org/10.14393/rcg217449943>.

MARINHO, R. R.; PARADELLA, W. R.; RENNÓ, C. D.; OLIVEIRA, C. G. **Aplicação de imagens SAR orbitais em desastres naturais: mapeamento das inundações de 2008 no Vale do Itajaí, SC.** Revista Brasileira de Cartografia, v.64, n.3, p. 317-330, 2012.

MARCELINO, E. V., NUNES, L. H., KOBAYAMA, M. **Mapeamento de risco de desastres naturais do estado de Santa Catarina.** Caminhos da Geografia (UFU), Uberlândia, v.7, n.17, p.72-84, 2006

MARTINS, Marcelo. **Nota Meteorológica (17/12/2020) -Presidente Getúlio registra chuvas intensas num curto intervalo de tempo!** 2020. EPAGRI. Disponível em: <https://ciram.epagri.sc.gov.br/index.php/2020/12/17/presidente-getulio-registra-chuvas-intensas-num-curto-intervalo-de-tempo/>. Acesso em: 02 fev. 2020.

MELAZZO, E. S.; CASTRO, C. A. **A escala cartográfica: noção, conceito ou teoria?** Terra Livre, São Paulo, v. 2, n. 29, 2015.

MICHEL, G.P.; SCHWARZ, H.; ABATTI, B.H.; PAUL, L.R.; SILVA, M.A.; ZANANDREA, F.; SALVADOR, C.G.; CENSI, G.; BIEHL, A.; KOBAYAMA, M. **RELATÓRIO TÉCNICO DOS DESASTRES DE DEZEMBRO DE 2020 NOS MUNICÍPIOS DE PRESIDENTE GETÚLIO, IBIRAMA E RIO DO SUL - SC.** Volume I. Porto Alegre: GPDEN/IPH/UFRGS, 2021. 53 p.

MOLLERI, G. S. F.; RUDORFF, F. M. **Prevenção de Desastres Naturais: Conceitos Básicos.** Curitiba: Ed. Organic Trading, 2006;

NASA. **Manual do Usuário de Dados Científicos Landsat 7.** 2013. Disponível em: <http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov>

NERY, J. T.; BALDO, M. C.; MARTINS, M. L. O. F. **O Comportamento da Precipitação na Bacia do Itajaí.** Acta Scientiarum (UEM), Maringá, v. 22, n.5, p. 1429-1435, 2000.

NUNES, A.L.L.S. **Estabilidades de Taludes Rochosos em Estradas.** Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica da Região Sul, 6º Geosul'2008, ABMS, Florianópolis, Santa Catarina, Anais, p. 1-11.

NUNES, Juliana Faria; ROIG, Henrique Llacer. ANÁLISE E MAPEAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA BACIA DO ALTO DO DESCOBERTO, DF/GO, POR MEIO DE CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA BASEADA EM REGRAS E LÓGICA NEBULOSA. **Revista Árvore**, Viçosa-Mg, v. 39, n. 1, p. 25-36, Não é um mês valido! 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/F4kKVjvr35mrxCrXyNmZ6Kr/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 15 ago. 2021.

ND MAIS: Tristeza e perdas: vítimas contam como sobreviveram à tragédia de Presidente Getúlio. Santa Catarina, 19 dez. 2020. Disponível em: <https://ndmais.com.br/tempo/tristeza-e-perdas-vitimas-contam-como-sobreviveram-a-tragedia-de-presidente-getulio/>. Acesso em: 15 ago. 2021.

NSC TOTAL: Enxurrada deixa ao menos 9 mortos e bombeiros buscam por desaparecidos em Presidente Getúlio. Santa Catarina, 17 dez. 2020. Disponível em: <https://www.nsctotal.com.br/noticias/enxurrada-causa-destruicao-e-mortes-em-presidente-getulio>. Acesso em: 15 ago. 2021.

ND MAIS: Tristeza e perdas: vítimas contam como sobreviveram à tragédia de Presidente Getúlio. Santa Catarina, 17 dez. 2020. Disponível em: FOTOS: temporal da madrugada causa mortes no Alto Vale do Itajaí. Acesso em: 15 ago. 2021.

NSC TOTAL: Enxurrada deixa ao menos 9 mortos e bombeiros buscam por desaparecidos em Presidente Getúlio. Santa Catarina, 17 dez. 2020. Disponível em: <https://www.nsctotal.com.br/noticias/enxurrada-causa-destruicao-e-mortes-em-presidente-getulio>. Acesso em: 20 ago. 2021.

OGURA, Agostinho Tadashi. **Capacitação em Mapeamento e Gerenciamento de Risco.** Florianópolis: Gráfica Copiart, 2020. 122 p.

PACHECO, Marina Garcia. **APLICAÇÃO DO MODELO HIDROLÓGICO SWAT PARA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAJAÍ-AÇU (SC, BRASIL).** 2011. 53 f. Tese (Doutorado) - Curso de Oceanografia, Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar, Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2011.

PELLING, M. **The Vulnerability of Cities: Natural Disasters and Social Resilience.** London: Earthscan, 2003. 256 p.

Pejović, M.; Gospavić, Z.; Milovanović, B. & Arsić, I. (2014). **Solving a surveying problem by using R and QGIS** - Setting out of a land expropriation zone, Genouka, 2(2):12-18.

PELLERIN, Jöel Robert G. Marcel; ABREU, Janete Josina de; TOMAZZOLI, Edison Ramos; SILVA, Everton da; GRÉ, João Carlos Rocha; HIGASHI, Rafael Augusto dos Reis; ESPÍNDOLA, Murilo; CHAFFE, Pedro Luiz Borges; GOERL, Roberto Fabris; DESTRO, João Norberto. **Cartas Geotécnicas de Aptidão à Urbanização frente aos Desastres Naturais.** Presidente Getúlio: Sem, 2020. 72 p.

POTTER, Reinaldo Oscar; CARVALHO, Américo Pereira de; FLORES, Carlos Alberto; BOGNOLA, Itamar. **Embrapa Solos:** boletim de pesquisa e desenvolvimento. 21. ed. Rio de Janeiro: Copyright, 2004. (2).

PREFEITURA MUNICIPAL DE PRESIDENTE GETÚLIO/SC. **Nº 017/2018: REVISÃO DO PLANO DIRETOR FÍSICO TERRITORIAL DE PRESIDENTE GETÚLIO.** Presidente Getúlio: Sem, 2018. Disponível em: <https://www.camarapresidentegetulio.sc.gov.br/proposicoes/Projetos-de-Lei-Complementar/0/1/0/4651>. Acesso em: 20 jul. 2021.

RIFFEL, Eduardo Samuel. **METODOLOGIAS PARA MAPEAMENTO DE SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE MASSA.** 2017. 125 f. Tese (Doutorado) -

Curso de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017. Cap. 3.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. 7. ed. Uberlândia: EDUFU, 2009.

SANTA CATARINA. Fascículo Completo: **Atlas Geográfico de Santa Catarina**. Diversidade da natureza – Fascículo 2. DOI: 105965/978858302078322016. 2016.

Santos, A. L. C.; Santos, F. 2010. **Mapeamento das classes de uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do rio Vaza-Barris, Sergipe**. Revista Multidisciplinar Da Uniesp: Saber Acadêmico, n^o 10 - Dez.

SAITO, S. M.; DIAS, M. C. DE A.; ALVALÁ, R. C. DOS S.; STENNER, C.; FRANCO, C.; RIBEIRO, J. V. M.; SOUZA, P. A. DE; SANTANA, R. A. S. DE M. **População urbana exposta aos riscos de deslizamentos, inundações e enxurradas no Brasil**. Sociedade & Natureza, v. 31, 29 nov. 2019.

SERRATT, B. M; LIMA, M. R; GARCIAS, C. E. et al. **Conhecendo o Solo**. Curitiba – PR. 2002.

SEMEM, Jean; MARCELINO, Carlos Michael. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Presidente Getúlio**. Presidente Getúlio: Cof, 2013. 111 p.

SILVA, F. M. **Geografia Física II: Gênese do solo**. Natal – RN. p. 240, 2009.

SILVA, Daniela Josefa da. **MAPA DE RISCO DE DESLIZAMENTO E EROSÃO EM ENCOSTAS COM OCUPAÇÕES DESORDENADAS NO MUNICÍPIO DE ABREU E LIMA - PE**. 2016. 200 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016. Cap. 2. Disponível em: <https://attenua.ufpe.br/handle/123456789/17287>.

SOARES, F. B.; PIROLI, E. L. **Análise da hipsometria e da declividade da bacia hidrográfica do rio pardo** (São Paulo, Brasil) como subsídio para o planejamento ambiental da área. In: Anais...XVIII SIMPOSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FISICA APLICADA, SBGFA, Fortaleza, Ceará, de 11 a 15 de junho de 2019, 13p.

SOUZA, Celia Regina de Gouveia. **DESASTRES NATURAIS: conhecer para prevenir**. São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2009. 196 p.

SCHEUREN, J.M; POLAIN, O.; BELOW, R.; GUHA-SAPIR, D.; PONSERRE, S. 2008. **Annual Disaster Statistical Review – The Numbers and Trends 2007**. CRED - Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. 2008, Université Catholique de Louvain, Brussels, Belgium. Disponível em: <http://www.emdat.be/Documents/Publications>. Último acesso em agosto de 2021

SHIDAWARA. M. **Flood hazard map distribution**. Urban Water, v.1, p.125-129, 1999.

Stallman, R. (2009). **Viewpoint Why open source misses the point of free software**, Communications of the ACM, 52(6):31-33

SBROGLIA, Regiane Mara; HIGASHI, Rafael Augusto dos Reis; TOMAZZOLI, Edison Ramos; GUIMARÃES, Renato Fontes. **MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS À OCORRÊNCIA DE DESLIZAMENTOS NA MICROBACIA:** do ribeirão baú, ilhota/sc, com o uso de modelagem matemática. Revista Brasileira de Cartografia, Rio de Janeiro, v. 2, n. 68, p. 339-354, fev. 2016.

S.A., Celesc Distribuição. **ESTUDO AMBIENTAL SIMPLIFICADO:** linha de distribuição 138kv salto pilão - presidente getúlio. Florianópolis, 2020. 244 p

TOMINAGA, Lídia Keiko. **AVALIAÇÃO DE METODOLOGIAS DE ANÁLISE DE RISCO A ESCORREGAMENTOS: APLICAÇÃO DE UM ENSAIO EM UBATUBA, SP.** 2007. 220 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia Física, Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

VAN WESTEN, C. J. 2004. **Geo-information tools for landslide risk assessment: an overview of recent developments.** In: LACERDA, EHRLICH, FONTOURA & SAYÃO (eds). Landslide: Evaluation and Stabilization Proceedings of the ninth International Symposium on Landslides. Rio de Janeiro, A A Balkema, 2004. v. 1, p. 39-56.

ZAIDAN, R. T. Geoprocessamento Conceitos e Definições. **Revista de Geografia – PPGeo - UFJF**, Juiz de Fora, v. 7, n. 2, p. 195-201, jul-dez. 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufjf.br/index.php/geografia/article/view/18073>. Acesso em: 10 set. 2021.